



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/12.03.16.00-TDI

PADRÕES E TRAJETÓRIAS DE DEGRADAÇÃO FLORESTAL EM FRONTEIRAS MADEIREIRAS DA AMAZÔNIA

Taise Farias Pinheiro

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Sistema Terrestre, orientada pelos Drs. Maria Isabel Sobral Escada, e Dalton de Morisson Valeriano, aprovada em 17 de dezembro de 2015.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3KMS44B>>

INPE
São José dos Campos
2015

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):

Presidente:

Marciana Leite Ribeiro - Serviço de Informação e Documentação (SID)

Membros:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação Observação da Terra (OBT)

Dr. Amauri Silva Montes - Coordenação Engenharia e Tecnologia Espaciais (ETE)

Dr. André de Castro Milone - Coordenação Ciências Espaciais e Atmosféricas
(CEA)

Dr. Joaquim José Barroso de Castro - Centro de Tecnologias Espaciais (CTE)

Dr. Manoel Alonso Gan - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos
(CPT)

Dr^a Maria do Carmo de Andrade Nono - Conselho de Pós-Graduação

Dr. Plínio Carlos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon - Coordenação de Observação da Terra (OBT)

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Duca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação
(SID)

Yolanda Ribeiro da Silva Souza - Serviço de Informação e Documentação (SID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/12.03.16.00-TDI

PADRÕES E TRAJETÓRIAS DE DEGRADAÇÃO FLORESTAL EM FRONTEIRAS MADEIREIRAS DA AMAZÔNIA

Taise Farias Pinheiro

Tese de Doutorado do Curso de Pós-Graduação em Ciência do Sistema Terrestre, orientada pelos Drs. Maria Isabel Sobral Escada, e Dalton de Morisson Valeriano, aprovada em 17 de dezembro de 2015.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3KMS44B>>

INPE
São José dos Campos
2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Pinheiro, Taise Farias.

P655p Padrões e trajetórias de degradação florestal em fronteiras madeiras da Amazônia / Taise Farias Pinheiro. – São José dos Campos : INPE, 2015.
xxiv + 181 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21b/2015/12.03.16.00-TDI)

Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2015.

Orientadores : Drs. Maria Isabel Sobral Escada, e Dalton de Morisson Valeriano.

1. Fronteiras madeiras. 2. Degradação florestal. 3. Processo.
I.Título.

CDU 630*4(811.3)



Esta obra foi licenciada sob uma Licença [Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/).

Aluno (a): **Taise Farias Pinheiro**

Título: " PADRÕES E TRAJETÓRIAS DE DEGRADAÇÃO FLORESTAL EM FRONTEIRAS MADEIREIRAS DA AMAZÔNIA."

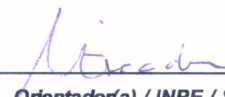
Aprovado (a) pela Banca Examinadora
em cumprimento ao requisito exigido para
obtenção do Título de **Doutor(a)** em
Ciência do Sistema Terrestre

Dr. Camilo Daleles Rennó



Presidente / INPE / SJC Campos - SP

Dra. Maria Isabel Sobral Escada



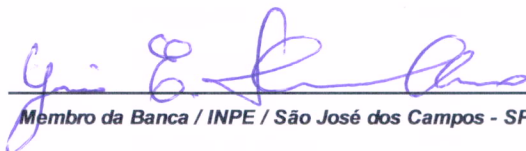
Orientador(a) / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Dalton de Morisson Valeriano



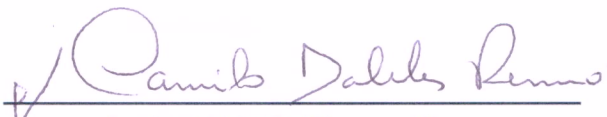
Orientador(a) / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Yosio Edemir Shimabukuro



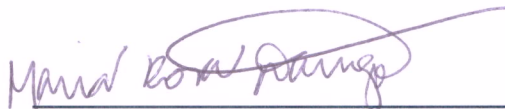
Membro da Banca / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. Paulo Maurício Lima de Alencastro
Graça



Convidado(a) / INPA / Manaus - AM

Dra. Maria Rosa Darrigo



Convidado(a) / - / São Paulo - SP

Este trabalho foi aprovado por:

() maioria simples

(x) unanimidade

São José dos Campos, 17 de dezembro de 2015

Que pensar nos faz sofrer pode até ser verdade. Tanto quanto pode ser verdade que pensar pode ser um prazer imenso. Quem se ocupa em conhecer a si mesmo e ao mundo sabe que fará a experiência de prazer e desprazer nesta viagem. Os gregos tinham a ideia do phármakon, remédio e veneno ao mesmo tempo, para explicar a dialética da vida. Ela se aplica ao conhecimento. Podemos sofrer com ele e, do mesmo modo, alegrarmo-nos ... Queremos resolver tudo pelo conhecimento, mas esquecemos de pensar que o conhecimento é uma saída que deve servir a algo mais, além do progresso da ciência.

Marcia Tiburi

A todos que nunca questionam a importância da educação

AGRADECIMENTOS

Aos meus orientadores Dra. Maria Isabel Sobral Escada e Dr. Dalton Morisson Valeriano pelos ensinamentos nestes anos de doutorado. Obrigada por todo apoio e dedicação a minha formação científica.

Aos professores pela formação científica e acadêmica.

Ao INPE pela singular estrutura. Em especial à Ângela pelo apoio aos alunos.

Ao Projeto LUA e a minha orientadora Dra. Maria Isabel Sobral Escada pela concessão da bolsa de estudos, apoio em participação de conferências internacionais e apoio logístico no trabalho de campo.

Aos meus colegas de Doutorado pela companhia e amizade, em especial à Karinne, Vagner, Alan, à Fê pelo abrigo de sempre, e à Gra pela especial ajuda na finalização da tese, por todo carinho e boas risadas, obrigada amiga!

Ao Programa Ciências sem Fronteiras pela concessão da bolsa de estudos de doutorado sanduíche, período importantíssimo de amadurecimento científico e acadêmico. Também a minha orientadora Dra. Maria Isabel Sobral Escada que apoiou a minha decisão de concorrer à bolsa e realizou todo o contato com o grupo que me recebeu na Alemanha. Um sonho realizado.

A todo grupo do Departamento de Geografia da Universidade Humboldt de Berlim, pela receptividade e maravilhosa acolhida, que me fizeram sentir muito à vontade nos 7 meses de estadia. Este agradecimento é especial ao Dr. Patrick Hostert, pela contribuição a minha formação científica e apoio logístico no trabalho de campo, e também ao Dennis, Florian, Hannes, Letícia, Benjamin, Patrick, Phillip, Christian pela contribuição à tese, mas também pela amizade, companhia e boas dicas.

Ao Dr. Camilo Rennó que faz parte da minha formação acadêmica e científica desde o período de mestrado, como professor e orientador. Obrigada pelo interesse no meu trabalho, e também pelas importantes discussões e sugestões.

Ao meu marido Tiago, meu apoio, meu amigo, meu amor. Como fiz no mestrado, novamente te agradeço pela paciência nesses mais de quatro anos de tese, cheios de lágrimas, sorrisos, satisfação, insônia e avanços. Sei que você é a pessoa que mais entende a importância desta tese na minha vida. Obrigada por todo apoio psicológico, compreensão e equilíbrio.

A toda minha família, e em especial a meus pais, Adalício e Simone, e a meu irmão Simon, pelo apoio e incentivo desde a época que eu decidi ficar um pouquinho longe deles.

A todos aqueles que confiaram em mim e no meu trabalho.

RESUMO

Degradação florestal é a redução gradual e de longo prazo da cobertura florestal devido à exploração de madeira insustentável e fogo florestal. Entre as consequências desse processo está a emissão de carbono para a atmosfera. Embora o número de estudos tem aumentando progressivamente, a degradação florestal ainda não foi apropriadamente avaliada. A premissa desta tese é de que o processo de degradação florestal não é único na Amazônia, mas varia de acordo com as fronteiras de ocupação. Contudo, uma avaliação robusta da degradação requer longos períodos de observação para detectar as mudanças graduais na floresta. Assim, a degradação florestal, i.e., padrões espaciais, trajetórias, duração do processo e extensão, foi caracterizada no contexto de fronteiras das décadas de 70 e 90, utilizando 28 anos (1984-2011) de imagens Landsat, em base anual. O município de Sinop, localizado no estado do Mato Grosso foi utilizado como estudo de caso de uma fronteira consolidada, e Novo Progresso, município localizado no estado do Pará, representou uma fronteira em expansão. Dado o extenso conjunto de dados e as características do padrão de degradação florestal, foram utilizadas técnicas de mineração de dados e de classificação baseadas em células, para a análise de padrões e para a construção de trajetórias. A análise multitemporal mostrou que a extração de madeira afetou uma área superior de floresta do que o fogo floresta, corroborando estudos pretéritos. Esta análise também indicou que a floresta explorada não é imediatamente convertida em corte raso, mas é abandonada e subseqüentemente cortada em 3 anos (50%) em Novo Progresso (PA). O período de transição de floresta para corte raso em Sinop (MT) é mais longo, tipicamente durando 7 anos (50%). Os resultados não indicaram um regime sistemático de fogo florestal e de revisita de madeireiros em Novo Progresso, onde a degradação florestal ocorreu principalmente como resultado de um único evento de extração de madeira. Em Sinop o fogo florestal recorrente foi detectado, mas não é predominante na região, e as florestas são revisitadas por madeireiros para novos ciclos de extração. Em ambas as fronteiras, a degradação florestal foi caracterizada por padrões de baixa a moderada intensidade, e o fogo florestal causou as intensidades mais altas. Embora elevada proporção de floresta degradada foi desmatada (40%), em 60% dos casos a degradação florestal não precedeu o desmatamento total. A duração da trajetória de degradação indicada por esse estudo (3 e 7 anos em Novo Progresso e Sinop, respectivamente) pode ser utilizada para selecionar áreas com alta probabilidade de desmatamento. Adicionalmente, os resultados desta tese mostram que cada tipo de fronteira tem uma contribuição diferente em termos de emissão de carbono para atmosfera. Assim as fronteiras consolidadas são as principais áreas de emissão de carbono devido ao processo de degradação florestal.

PATTERNS AND TRAJECTORIES OF FOREST DEGRADATION ASSOCIATED WITH FRONTIERS OF LOGGING IN THE AMAZON

ABSTRACT

Forest degradation is the long-term and gradual reduction of canopy cover due to forest fire and unsustainable logging. A critical consequence of this process is increased atmospheric carbon emissions. Although this issue is gaining attention, forest degradation has not been properly addressed. The claim here is that this process is not constant throughout Amazonia, but varies according to colonization frontiers. Moreover, the accurate characterization of degradation requires lengthy observation periods to track gradual forest changes. The forest degradation process, i.e., the associated timeframe, spatial patterns, trajectories and extent, was characterized in the context of the Amazon frontiers of the 1970s and 1990s using 28 years (1984–2011) of annual Landsat images. We selected the Novo Progresso municipality, southwestern Pará, Brazil, as a study case of the frontiers of logging expansion and Sinop municipality, north Mato Grosso, Brazil, as a study case of the consolidate frontier. Given the large database and the characteristic patterns associated with logging and burning, we used data mining techniques and cell-approach classification to analyze the spatial patterns of forest degradation and to construct associated trajectories. The multi-temporal analysis showed that selective logging affected a larger amount of forest land than did forest fire, consistent with previous studies. We found that a logged forest is not immediately converted into a clear cut but, rather, is abandoned and subsequently cleared in 3 years (50%) in Novo Progresso. The transition from forest to clearcut in Sinop longer than observed in Novo Progresso, and typically lasts 7 years (50%). The results showed no regime of recurrent forest fires, nor were forests revisited by loggers in Novo Progresso, and forest degradation mostly occurred as a result of a single selective logging event. In Sinop recurrent fires regimes were detected, but are not predominant in the region, and forests are typically revisited by loggers. In both frontiers, forest degradation was typically characterized by low to moderate intensity forest damage. Although a large proportion of degraded forest was deforested (40%), 60% of the degraded forest did not precede complete deforestation. The timeframe of the forest degradation trajectory found in this research (3 and 7 years in Novo Progresso e Sinop, respectively) could be used to selected areas with a high probability of deforestation. Further our results indicate that each frontier type contributes differently in terms of carbon emissions to atmosphere. Our results indicate that consolidated frontiers are the main areas of carbon emission due to forest degradation.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 3.1 – (A) Cicatriz de fogo florestal, em forma circular concêntrica, na composição colorida RGB543; (B) cicatriz de fogo florestal recente e; (C) cicatriz de fogo florestal após 1 ano do evento de fogo.	13
Figura 3.2 - Interrelações entre causas imediatas da degradação florestal	23
Figura 3.3 - Variação anual de quantidade madeira em tora (m ³) extraída da Amazônia (IBGE, 2013) e variação anual do valor de madeira em tora (ITTO, 2013).....	28
Figura 2.1 – Localização da área de estudo (Órbita/Ponto 226/68 do sensor TM/Landsat, ano 2011) no estado do Mato Grosso: Sinop e região (MT).....	42
Figura 2.2 – Localização da área de estudo (Órbita/Ponto 227/65 do sensor TM/Landsat, ano 2011) no estado do Pará: Novo Progresso e região	47
Figura 4.1 – Fluxograma descritivo das principais etapas metodológicas do estudo	55
Figura 4.2 – Fluxograma descritivo do mapeamento anual da degradação florestal.....	56
Figura 4.3 – Curva de reflectância dos pixels puros de referência (Espectro derivado da cena TM/Landsat de código LT52270652005198CUB00, ver Tabela 4.2).....	57
Figura 4.4 – Fluxograma com as principais etapas para a classificação de padrões de degradação florestal com técnica de mineração de dados	61
Figura 4.5 – Ilustração da extração de atributos de células no software de mineração de dados espaciais GeoDMA (<i>Geographic Data Mining Analyst</i>)	65
Figura 4.6 – Localização de dados de campo utilizados para validação de mapeamento da degradação florestal: dados coletados (campo 2014) e dados pretéritos (AUTEFs e Fototeca INPE)	73
Figura 4.7 – Ilustração de áreas de plano de manejo autorizados (da esquerda para direita, de cima para baixo): placa indicativa de plano de manejo; pátio principal para estoque da madeira; etiqueta da árvore informando localização e dados biofísicos; pátio secundário de estoque de madeira; estrada secundária	74
Figura 4.8 – Ilustração de exploração de madeira em áreas não autorizadas .	74
Figura 5.1 - Árvore de decisão para a classificação de padrões espaciais de degradação florestal em Novo Progresso, PA. (As métricas de paisagem são: CA, área da classe (ha); ED, densidade de borda (m/ha); MPS, tamanho médio das manchas (ha). Os padrões espaciais classificados são: LFD1: degradação florestal de intensidade baixa–1; LFD2: degradação florestal de intensidade baixa–2; MFD1: degradação florestal de intensidade moderada–1;	

	MFD2: degradação florestal de intensidade moderada—2; MFD3: degradação florestal de intensidade moderada—3; HDF1: degradação florestal de intensidade alta—1; HDF2: degradação florestal de intensidade alta—2).....	81
Figura 5.2	– Área acumulada (km ²), por período (anos), de padrões espaciais de degradação florestal em Novo Progresso (LFD1: degradação florestal de intensidade baixa—1; LFD2: degradação florestal de intensidade baixa—2; MFD1: degradação florestal de intensidade moderada—1; MFD2: degradação florestal de intensidade moderada—2; MFD3: degradação florestal de intensidade moderada—3; HDF1: degradação florestal de intensidade alta—1; HDF2: degradação florestal de intensidade alta—2).....	83
Figura 5.3	– Extensão (km ²) de trajetórias de degradação florestal, de corte raso e de não mudança (Floresta) em Novo Progresso (PA): período de 1984–2011	85
Figura 5.4	– Trajetórias de mudança de cobertura da terra: Evolução anual entre 1984 e 2011, em Novo Progresso (PA) (barras verticais marcam três períodos: 1984 a 1997; 1998 a 2004; 2005 a 2011). 86	
Figura 5.5	– Destino das florestas para trajetórias de cobertura da terra iniciadas no período 1984 a 1997 em Novo Progresso (PA) (eixo x: o valor 0 representa a Trajetória de Corte Raso; valores de 1 a 28 representam a Trajetória de Degradação para Corte raso, e os diferentes anos indicam o número de anos até o corte raso; e o valor >28 indica a Trajetória de Degradação Persistente.....	88
Figura 5.6	– Destino das florestas para trajetórias de cobertura da terra iniciadas no período 1998 a 2004 em Novo Progresso (PA) (eixo x: o valor 0 representa a Trajetória de Corte Raso; valores de 1 a 28 representam a Trajetória de Degradação para Corte raso, e os diferentes anos indicam o número de anos até o corte raso; e o valor >28 indica a Trajetória de Degradação Persistente.....	89
Figura 5.7	– Extensão (km ²) de floresta degradada e incremento de corte raso em Novo Progresso, Pará (1984–2011).....	90
Figura 5.8	– Destino das florestas para trajetórias de cobertura da terra iniciadas no período 2005 a 2011 em Novo Progresso (PA) (eixo x: o valor 0 representa a Trajetória de Corte Raso; valores de 1 a 28 representam a Trajetória de Degradação para Corte raso, e os diferentes anos indicam o número de anos até o corte raso; e o valor >28 indica a Trajetória de Degradação Persistente.....	91
Figura 5.9	– Trajetórias das células em Novo Progresso (PA), entre 1984 e 2011, representando áreas de degradação florestal e o processo de desmatamento ao longo da rodovia BR-163 e de acordo à designação de uso da terra (áreas protegidas e assentamentos). 92	
Figura 5.10	– Principais transições de cobertura da terra associadas à trajetória de degradação com corte raso em fronteiras madeireiras em expansão: o caso de Novo Progresso, Pará	94

Figura 5.11 – Número de anos entre a degradação florestal inicial e o corte raso da floresta em Novo Progresso (PA) (área com relação à trajetória degradação florestal com corte raso)	96
Figura 5.12 - Árvore de decisão para classificação de padrões espaciais de degradação florestal em Sinop, Mato Grosso. (As métricas de paisagem são: CA, área da classe (ha); ED, densidade de borda (m/ha); NP, número de manchas (NP≥1, sem limite). Os padrões espaciais são: LFD1: degradação florestal de intensidade baixa–1; LFD2: degradação florestal de intensidade baixa–2; MFD1: degradação florestal de intensidade moderada–1; MFD2: degradação florestal de intensidade moderada–2; MFD3: degradação florestal de intensidade moderada–3; HDF1: degradação florestal de intensidade alta–1; HDF2: degradação florestal de intensidade alta–2)	99
Figura 5.13 – Área (Km ²) acumulada, por período, de padrões espaciais de degradação florestal em Sinop (LFD1: degradação florestal de intensidade baixa–1; LFD2: degradação florestal de intensidade baixa–2; MFD1: degradação florestal de intensidade moderada–1; MFD2: degradação florestal de intensidade moderada–2; MFD3: degradação florestal de intensidade moderada–3; HDF1: degradação florestal de intensidade alta–1; HDF2: degradação florestal de intensidade alta, fogo florestal–2).....	102
Figura 5.14 - Produção de madeira em oito microrregiões madeireiras do Estado do Mato Grosso (Fonte: IBGE 2013).....	104
Figura 5.15 – Extensão (km ²) de floresta degradada e corte raso em Sinop, Mato Grosso (1984–2011)	105
Figura 5.16 – Extensão (km ²) de trajetórias de degradação florestal, de corte raso e de não mudança (Floresta) em Sinop (MT): período de 1984–2011	106
Figura 5.17 – Trajetórias de mudança de cobertura da terra: Evolução anual entre 1984 e 2011, em Sinop (MT) (barras verticais marcam três períodos: 1984 a 1997; 1998 a 2004; 2005 a 2011).....	108
Figura 5.18 – Destino das florestas em trajetórias de cobertura da terra iniciadas em diferentes períodos, em Sinop (MT) (eixo x: o valor 0 representa a Trajetória de Corte Raso; valores de 1 a 28 representam a Trajetória de Degradação para Corte raso, e os diferentes anos indicam o número de anos até o corte raso; e o valor >28 indica a Trajetória de Degradação Persistente.....	110
Figura 5.19 – Trajetórias das células em Sinop (MT) entre 1984 e 2011, representando áreas de degradação florestal e o processo de desmatamento ao longo da rodovia BR-163, próximo às cidades e em áreas de manejo florestal (AUTEF)	114
Figura 5.20 – Número de anos entre a degradação florestal inicial e o corte raso da floresta em Sinop (MT) (área com relação à trajetória de degradação florestal para corte raso).....	116

Figura 5.21 – Principais transições de cobertura da terra associadas à trajetória de degradação florestal com corte raso em fronteiras madeireiras consolidadas: o caso de Sinop, Mato Grosso	117
Figura 5.22 – Porcentagem cumulativa da ocorrência de fogo florestal antes e após a detecção de extração de madeira (ano 1 indica degradação inicial associada somente à fogo florestal; ano 2 a 28 indica que houve detecção prévia de extração de madeira antes de fogo florestal).....	118
Figura 6.1– Porcentagem acumulada de desmatamento por corte raso em Sinop (MT) e Novo Progresso (PA).....	121
Figura 6.2 – Taxa de desmatamento anual na Amazônia Legal indicada pelo projeto PRODES	123
Figura 6.3 – Área de extensão de degradação florestal observada em Sinop (MT) e Novo Progresso (PA).....	124
Figura 6.4 – Número de anos entre a degradação florestal inicial e o corte raso da floresta: o caso de Sinop (MT) e Novo Progresso (PA) (área com relação à trajetória degradação florestal com corte raso em cada região de estudo).....	125
Figura 6.5 – Extensão de trajetórias de mudança e não mudança em fronteiras consolidadas e em expansão no período 1984 a 2011: o caso de Sinop (MT) e Novo Progresso (PA).....	126
Figura 6.6 – Porcentagem de trajetória de degradação persistente e de corte raso em Sinop (MT) e Novo Progresso (PA)	127

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 3.1 - Exemplo de conceitos de degradação florestal por categoria de abordagem (em negrito estão os pontos críticos dessas definições)	8
Tabela 3.2 - Conceitos de degradação florestal aplicados para a Amazônia Brasileira	9
Tabela 3.3 - Padrões de degradação florestal observados em campo e via imagem de satélite	14
Tabela 3.4 - Parâmetros biofísicos de floresta intacta e degradada de intensidade leve, moderada e alta, para o leste do estado do Pará	24
Tabela 3.5 - Dispêndios anuais para obtenção de espécies florestais via manejo florestal e método convencional, em Novo Progresso (PA)	30
Tabela 4.1 – Lista de dados utilizados	51
Tabela 4.2 - Lista das imagens TM/Landsat de órbita ponto 227/65 utilizadas no mapeamento da degradação florestal em Novo Progresso, estado do Pará (PA).....	52
Tabela 4.3 - Lista das imagens TM/Landsat de órbita ponto 226/68, utilizadas no mapeamento da degradação florestal em Sinop, estado do Mato Grosso (MT)	53
Tabela 4.4 - Tipologia de padrão de intensidade de degradação florestal para a área de estudo Novo Progresso (PA).....	63
Tabela 4.5 - Tipologia de padrão de intensidade de degradação florestal para a área de estudo Sinop (MT).....	64
Tabela 4.6 – Descrição das principais trajetórias de mudança de cobertura da terra para o período de 1984 a 2011 (t =tempo, t_i = t inicial, t_f = t final)	67
Tabela 5.1 - Avaliação do mapeamento de degradação florestal.....	78
Tabela 5.2 - Matriz de confusão da classificação de padrões espaciais de degradação florestal em Novo Progresso (PA) (LFD1: degradação florestal de intensidade baixa–1; LFD2: degradação florestal de intensidade baixa–2; MFD1: degradação florestal de intensidade moderada–1; MFD2: degradação florestal de intensidade moderada–2; MFD3: degradação florestal de intensidade moderada–3; HDF1: degradação florestal de intensidade alta–1; HDF2: degradação florestal de intensidade alta–2).....	82
Tabela 5.3 – Área de mudança da cobertura florestal, total e por período, devido à degradação florestal e corte raso – Novo Progresso (PA)	87
Tabela 5.4 – Porcentagem da área total de assentamentos e áreas protegidas afetadas por cada trajetória de mudança de cobertura da terra (PDS: Projeto de Desenvolvimento Sustentável; PA: Projeto de	

Assentamento Tradicionais; FLONA: Floresta Nacional; FLOTA: Floresta Estadual; PARNA: Parque Nacional).....	93
Tabela 5.5 - Matriz de confusão da classificação de padrões de degradação florestal em Sinop, Mato Grosso	101
Tabela 5.6 – Área de mudanças da cobertura florestal em cada período e em relação o quanto dessas mudanças corresponderam a degradação e corte raso – Sinop (MT).....	112

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
1	INTRODUÇÃO 1
1.1	Objetivos..... 3
1.2	Organização da tese..... 5
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 7
2.1	Degradação Florestal e conceitos relacionados 7
2.1.1	Conceito de Degradação Florestal..... 7
2.1.2	Conceitos de floresta primária e de desmatamento por corte raso: Implicações para o estudo de degradação florestal 10
2.1.3	Conceito de Padrão de Degradação Florestal 12
2.1.4	Conceito de trajetórias de mudança de cobertura da terra 18
2.1.5	Abandono e regeneração florestal no contexto da degradação florestal..... 21
2.2	Causas de degradação florestal 22
2.2.1	Fatores imediatos associados à degradação florestal: extração de madeira, fogo florestal e fragmentação florestal..... 23
2.2.2	Causas subjacentes da degradação florestal 27
2.2.3	Perspectiva demográfica na análise de mudanças da paisagem 31
2.3	Sensoriamento remoto aplicado à detecção de degradação florestal . 34
2.4	Mineração de dados espaciais no GeoDMA (<i>Geographical Data Mining Analyst</i>) 38
3	ÁREA DE ESTUDO..... 41
3.1	Área de estudo 1 – Sinop (MT): histórico de ocupação, caracterização da vegetação e da paisagem 41
3.2	Área de estudo 2 – Novo Progresso (PA): caracterização da vegetação, breve histórico de ocupação e caracterização da paisagem 46
4	MATERIAL E MÉTODOS..... 51
4.1	Material..... 51
4.1.1	Imagens TM/Landsat 52
4.1.2	Dados de desmatamento 53
4.1.3	Aplicativos..... 54
4.2	Métodos..... 54
4.2.1	Mapeamento anual de degradação florestal 55

4.2.2	Análise interanual de degradação florestal	59
4.3	Do padrão à trajetória	60
4.3.1	Definição da tipologia de padrões de degradação florestal	61
4.3.2	Classificação de padrões de degradação florestal.....	65
4.3.3	Análise de trajetórias de mudança de cobertura da terra.....	67
4.4	Coleta de dados de campo	69
4.4.1	Entrevistas	69
4.4.2	Avaliação do mapeamento da degradação florestal	71
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	75
5.1	Mapeamento de degradação florestal em Novo Progresso (PA) e Sinop (MT).....	75
5.2	Validação de mapeamento de degradação florestal em Novo Progresso (PA) e Sinop (MT)	77
5.3	A degradação florestal nas fronteiras madeireiras em expansão da Amazônia – o caso de Novo Progresso, Pará	79
5.3.1	Classificação de padrões de degradação florestal para Novo Progresso (PA).....	79
5.3.2	Análise de padrões de degradação florestal em Novo Progresso (PA)	82
5.3.3	Análise multitemporal de mudanças de cobertura da terra em Novo Progresso (PA).....	85
5.3.4	Trajetoira de degradação florestal em uma fronteira madeireira em expansão: o caso de Novo Progresso, Pará	93
5.4	A degradação florestal nas antigas fronteiras de ocupação da Amazônia – o caso de Sinop, Mato Grosso.....	98
5.4.1	Classificação de padrões de degradação florestal para Sinop (MT) 98	
5.4.2	Análise de padrões de degradação florestal em Sinop (MT)	101
5.4.3	Análise multitemporal de mudanças de cobertura da terra em Sinop (MT).....	105
5.4.4	Trajetoira de degradação florestal na fronteira madeireira consolidada: o caso de Sinop, Mato Grosso	115
6	AS FRONTEIRAS DE OCUPAÇÃO NA AMAZÔNIA E AS TRAJETÓRIAS DE DEGRADAÇÃO FLORESTAL.....	121
7	CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	131
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	135
	APÊNDICE A - DESCRIÇÃO DOS MÓDULOS DO SISTEMA GeoDMA (GEOGRAPHICAL DATA MINING ANALYST).....	157

APÊNDICE B - PROGRAMA EM LEGAL UTILIZADO NO MAPEAMENTO DE DEGRADAÇÃO FLORESTAL.....	159
APÊNDICE C - EXEMPLO DE DOCUMENTO DE AUTORIZAÇÃO PARA MANEJO FLORESTAL – AUTEF.....	161
APÊNDICE D - MÉTRICAS DE ECOLOGIA DA PAISAGEM	165
APÊNDICE E - CLASSIFICAÇÃO ANUAL EM CÉLULAS DE PADRÕES DE DEGRADAÇÃO FLORESTAL EM NOVO PROGRESSO, PARÁ: 1984 – 2011.....	167
APÊNDICE F - CLASSIFICAÇÃO ANUAL EM CÉLULAS DE PADRÕES DE DEGRADAÇÃO FLORESTAL EM SINOP, MATO GROSSO: 1984 – 2011 .	175

1 INTRODUÇÃO

O desmatamento inclui a remoção rápida e completa da vegetação, conhecida como corte raso, e também alterações de longo prazo da floresta, causadas pela exploração de madeira e fogo florestal, denominadas degradação florestal. A degradação florestal é um processo importante a ser estudado, pois altera a estrutura da floresta (FIGUEIRA et al., 2008), os processos ecológicos responsáveis pela manutenção da floresta (PAULETTO, 2006) e pode agir na modificação do clima regional/global (BETTS; SANDERSON; WOODWARD, 2008).

A influência da degradação florestal nas questões climáticas resultou na criação de um programa internacional, denominado REDD+ (do inglês *Reduced Emission from Deforestation and Degradation*), que compensa países com florestas tropicais a reduzir suas emissões de carbono. A representatividade da degradação florestal no balanço do carbono terrestre é, no entanto, ainda pouco compreendida (MERTZ et al., 2012; PAN et al., 2011), pois as alterações progressivas na estrutura da floresta podem seguir desconhecidas trajetórias, com diferentes efeitos sobre a biomassa florestal.

A relativa complexidade do processo de degradação florestal, quando comparado ao desmatamento por corte raso, é um dos desafios à sua caracterização. Enquanto no desmatamento por corte raso ocorre a remoção de quase toda a biomassa florestal em um curto intervalo de tempo, as perdas de biomassa florestal devido à degradação florestal dependem da intensidade e da persistência de perturbações induzidas pelo homem (JOSEPH; MURTHY; THOMAS, 2010). A degradação florestal é, portanto, mais difícil de caracterizar, e requer maior frequência e longos períodos de observação (LAMBIN, 1999).

Definir degradação florestal também pode ser um desafio na medida em que esse conceito depende de condições biofísicas da floresta, da causa de degradação, e da escala temporal considerada (LUND, 2009; SASAKI; PUTZ, 2009; THOMPSON et al., 2013). Adicionalmente, esse conceito deve ser baseado em formulações operacionais, que permitam o monitoramento sistemático da degradação florestal (SIMULA, 2009). Neste trabalho, adotou-se o conceito operacional de degradação florestal desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). De acordo com o INPE, degradação florestal é o processo gradual e de longo-prazo de redução da cobertura florestal pela atividade de exploração de madeira e pelo fogo florestal (INPE, 2008a).

O sensoriamento remoto oferece vantagens para o monitoramento sistemático da degradação florestal, incluindo a cobertura de áreas inacessíveis, como algumas regiões da Amazônia, e a recuperação de informações sobre histórico de trajetórias de mudanças de cobertura da terra de uma região (HEROLD; SKUTSCH, 2011). Apesar de algumas desvantagens, como a presença de cobertura de nuvens em sensores ópticos e a limitada capacidade em detectar alterações tênues na cobertura florestal (em especial os satélites de média resolução espacial), diversos estudos têm sugerido abordagens para mapear indícios de extração de madeira e o fogo florestal com imagens do sensor TM/Landsat (ASNER et al., 2006; MATRICARDI et al., 2010, 2007; SOUZA; ROBERTS; COCHRANE, 2005).

Os estudos realizados produziram importantes informações sobre a extensão da degradação florestal e também sobre os eventos envolvidos nesse processo, como o fogo florestal e a extração de madeira (GRAÇA, 2006; MATRICARDI et al., 2010, 2005; MONTEIRO; SOUZA JR.; BARRETO, 2003; SOUZA et al., 2003, 2013; WANG; QI; COCHRANE, 2005). Contudo, esse processo se mantém ainda pouco compreendido. Especificamente, os estudos publicados i) não analisam as trajetórias associadas à degradação florestal, que são necessárias, por exemplo, para definir ações de controle do

desmatamento ou para incluir o histórico de mudanças na cobertura florestal em modelos de emissão de carbono (RAMANKUTTY et al., 2007); ii) analisam apenas a degradação florestal que ocorreu nas fronteiras madeireiras consolidadas da década de 70, resultados que não podem ser generalizados para toda a Amazônia; ou iii) analisam um conjunto de regiões com históricos de ocupação distintos, sem discriminá-los, dificultando o entendimento do processo de degradação florestal e de sua heterogeneidade.

Esta tese parte da premissa de que a heterogeneidade de fatores socioeconômicos, políticos, institucionais e ambientais observadas nas fronteiras de ocupação estabelecidas na década de 70 e, as mais recentes, do final da década de 90 (BECKER, 2005) condicionam a extensão, os padrões, as trajetórias e a duração da degradação florestal. Becker (2005) observou que as fronteiras da Amazônia diferem na forma de apropriação da terra, no histórico de uso, nos tipos de conflitos existentes, na dinâmica social e organização de grupos distintos, que transformam a paisagem de acordo com seus interesses. Assim, para uma melhor compreensão do processo de degradação florestal é necessário associar a análise aos diferentes contextos de ocupação da Amazônia.

1.1 Objetivos

Considerando as lacunas de informação apresentadas, o objetivo principal deste estudo é caracterizar os padrões e as trajetórias de degradação florestal em fronteiras madeireiras consolidadas e em expansão, utilizando dados multitemporais do Landsat (TM). Selecionou-se a região de Novo Progresso, Pará, como estudo de caso de uma fronteira em expansão devido à combinação dos seguintes fatores: elevado estoque de madeira, alta taxa de desmatamento e limitada informação sobre degradação florestal. A região de Sinop, Mato Grosso, foi selecionada como estudo de caso de uma fronteira consolidada com um histórico de uso mais longo, representando um importante pólo madeireiro na Amazônia. Ambas as regiões estão localizadas às margens

da rodovia BR 163, que conecta Cuiabá (MT) à Santarém (PA), uma importante rodovia de ligação e escoamento de *commodities*, e que está em fase final de pavimentação.

Para atingir o objetivo geral da tese, as seguintes perguntas científicas foram formuladas:

- a) Qual a extensão da degradação florestal nas fronteiras madeireiras consolidadas e em expansão?
- b) Qual é a intensidade da degradação florestal durante a trajetória de degradação florestal nas fronteiras madeireiras consolidadas e em expansão?
- c) Quais as principais trajetórias de degradação florestal nas fronteiras madeireiras consolidadas e em expansão?
- d) Quais as principais trajetórias de degradação florestal nas fronteiras madeireiras consolidadas e em expansão?
- e) Qual é a duração de trajetórias de degradação florestal nas fronteiras madeireiras consolidadas e em expansão?.

As perguntas científicas foram respondidas seguindo as seguintes etapas: i) Mapeamento de indicadores de extração de madeira e fogo florestal, em base anual, para o período de 1984 a 2011 em Sinop e Novo Progresso, com imagens Landsat (30m de resolução espacial) utilizando técnicas semi-automáticas de classificação de imagens; ii) Definição de padrões de intensidade de degradação florestal para a classificação com uso de técnicas de mineração de dados e métricas estruturais de paisagem; e iii) Descrição e análise das principais trajetórias de degradação florestal nas duas áreas de estudo, estabelecendo diferenças entre elas.

1.2 Organização da tese

Esta tese é apresentada em forma de capítulos. Após o capítulo de introdução, no qual apresentam-se motivação do trabalho, premissas e objetivos, é apresentado o capítulo de fundamentação teórica (Capítulo 2), no qual encontram-se conceitos essenciais e revisão de trabalhos pretéritos relacionados à degradação florestal e também trabalhos relacionados ao método empregado nesta tese.

Em seguida, é apresentado o capítulo com a descrição das áreas de estudo (Capítulo 3). Este capítulo foi subdividido em duas seções, uma para cada área de estudo, Sinop (MT) e Novo Progresso (PA). No capítulo 4, apresentam-se os métodos, subdivididos em: i) material; ii) mapeamento da degradação florestal; iii) classificação de padrões; iv) construção de trajetórias; e v) estudo de campo.

O capítulo com resultados e discussão (Capítulo 5) foi subdividido para cada área de estudo visando a melhor compreensão dos resultados obtidos individualmente, com exceção da apresentação da validação do mapeamento da degradação florestal que é feita para as duas áreas em conjunto. Ainda no Capítulo 5 são apresentadas: i) a validação da classificação de padrões de degradação florestal, realizado pelo software de mineração de dados GeoDMA (*Geographical Data Mining Analyst*); ii) as estimativas de degradação florestal por fogo florestal e atividade madeireira; iii) as trajetórias típicas de mudança de cobertura da terra; e iv) uma análise detalhada da trajetória de degradação florestal. Uma discussão é apresentada sobre a dinâmica temporal e espacial das mudanças de cobertura da terra e o contexto econômico, institucional e social de cada período e de cada área de estudo.

No Capítulo 6 é apresentada a compilação dos resultados obtidos nas duas áreas, no qual enfatizam-se as diferenças obtidas nas trajetórias de mudança da cobertura florestal em cada área de estudo. No final do capítulo 6 discutem-

se as implicações dos resultados para as ações de prevenção ao desmatamento e cálculo de emissões de carbono. Para encerrar a tese, apresenta-se o capítulo de conclusões e considerações finais (Capítulo 7). Nos anexos encontram-se, na seguinte sequência, a descrição dos Sistema de mineração de dados GeoDMA (*Geographical Data Mining Analyst*), o Programa em Legal utilizado no mapeamento de degradação florestal, um exemplo de documento de autorização para manejo florestal (AUTEF), a descrição das métricas da paisagem, e o resultado da classificação anual em células de padrões de degradação florestal em Novo Progresso (PA) e Sinop (MT).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção são descritos conceitos e termos utilizados nesse estudo. Essas definições são feitas do ponto de vista das observações por sensores remotos, principal fonte de dados para o desenvolvimento deste trabalho. Os conceitos e termos nesta seção são: Floresta Primária, Degradação Florestal, Padrão e Trajetória de Degradação Florestal, Desmatamento por Corte Raso, Abandono, Regeneração e Conversão Florestal.

2.1 Degradação Florestal e conceitos relacionados

2.1.1 Conceito de Degradação Florestal

Na literatura, encontram-se diversos conceitos de Degradação Florestal (Lund 2009). Esse conceito varia de acordo com as causas da degradação florestal, bem como com o tipo de vegetação ou objetivo do estudo.

De uma forma geral, os conceitos de degradação florestal se enquadram em uma das categorias apresentadas na Tabela 2.1: i) conceitos gerais que podem ser aplicados em diferentes regiões, mas são geralmente vagos, dando margem às múltiplas interpretações; ii) conceitos específicos que enfatizam a genética, a biodiversidade e a estrutura florestal, ou enfatizam particularidades da degradação florestal, limitando sua aplicação à uma região de estudo ou à um tipo específico de floresta e; iii) conceitos operacionais, que oferecem limiares para os indicadores da degradação florestal, tais como, a perda de cobertura florestal ou biomassa, considerando limiares que podem ser estabelecidos pelos usuários ou extraídos da literatura. Esses últimos são conceitos simplificadores, mas por indicarem limiares, possibilitam que eles sejam aplicados para estabelecer início e final do processo de degradação florestal.

Adicionalmente, os conceitos operacionais indicam qual a intensidade de alteração da vegetação que a caracteriza como floresta degradada, excluindo estágios avançados similares ao de corte raso (remoção completa da floresta).

Uma das limitações deste conceito está na própria definição dos limiares que pode variar dependendo da escala de análise ou tipo de floresta.

Tabela 2.1 - Exemplo de conceitos de degradação florestal por categoria de abordagem (em negrito estão os pontos críticos dessas definições)

Abordagem	Definição	Fonte
Geral	Redução da capacidade da floresta em oferecer bens e serviços ambientais	FAO (2002)
Específica	Mudança deletéria no <i>pool</i> de genes de um táxon nativo devido à adição de genes exóticos .	CNPS (2001)
	Perda de densidade de biomassa, sem mudança na área de cobertura da floresta (isto é, sem redução na cobertura de até 70%)	OLANDER et al. (2008)
Operacional	Perda direta de longo prazo (persistindo por X ou mais anos), induzida pelo homem, de pelo menos Y% do estoque de carbono florestal , desde o tempo T, que não se qualifique como desmatamento ou outra atividade elegível pelo Protocolo de Quioto	IPCC (2003)

A maioria dos estudos sobre degradação florestal na Amazônia brasileira não adota um conceito formal de degradação florestal (ASNER et al., 2005; BARLOW; PERES, 2008; BROADBENT et al., 2008; COCHRANE, 2003; DIDHAM, 1998; HOLDSWORTH; UHL, 1998; KELLER et al., 2004; NEPSTAD; MOREIRA; ALENCAR, 1999). O termo é frequentemente contextualizado a partir da compilação de outros estudos, ou sob a perspectiva dos impactos sobre a floresta, extensão da modificação na paisagem e sinergias entre as causas, que podem ter origem natural ou antrópica.

Nesses estudos, a degradação florestal pode ser analisada de forma isolada em termos de causas, observando-se, por exemplo, os efeitos do fogo florestal (BARLOW; PERES, 2008), da fragmentação (LAURANCE et al., 1997) ou da extração de madeira (PEREIRA et al., 2002), ou pode ser analisada observando os efeitos sinérgicos entre estas causas (MATRICARDI et al.,

2010). Em alguns desses estudos, o termo degradação florestal é substituído por distúrbio florestal (ASNER et al., 2006; NELSON et al., 1994).

A Tabela 2.2 apresenta alguns conceitos de degradação florestal presentes de forma implícita ou citados de forma explícita nos artigos. Os conceitos são em sua maioria gerais ou específicos. O Sistema DEGRAD (Monitoramento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira), por exemplo, utiliza um conceito operacional de degradação florestal. Este sistema de monitoramento da degradação florestal estabelece critérios de área mínima mapeada (6,25 ha) e critérios qualitativos de foto-interpretação, que são utilizados para detectar a degradação na floresta, com base em imagem TM/Landsat (30 m de resolução espacial). O presente estudo adotará o conceito de degradação florestal utilizado pelo Sistema DEGRAD e descrito na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Conceitos de degradação florestal aplicados para a Amazônia Brasileira

Causas	Definição	Fonte	
Natural	Mudanças na estrutura florestal causadas por ventos de alta velocidade	Espírito-Santo et al. (2010)	
Único fator	Perda de biomassa acima do solo, causada pela fragmentação florestal, que não é compensada pelo recrutamento de novas árvores.	Laurance et al. (1997)	
	Abertura do dossel florestal causada pela extração seletiva de madeira	Asner et al. (2006)	
Antrópica	Degradação da estrutura florestal e composição de espécies causada pela exploração de madeira e incêndios rasteiros, criando tipos de cobertura que são intermediários entre floresta intacta e floresta desmatada.	Gerwing (2002)	
	Múltiplos fatores	Distúrbios persistentes no tempo e no espaço devido à extração intensiva de madeira e sucessivos eventos de fogo	Asner et al. (2009)
		Processo de perda da cobertura florestal pelo efeito da exploração de madeira e fogo florestal, de pelo menos 6,25ha da cobertura florestal, que não se qualifique como desflorestamento pelo Sistema PRODES (Monitoramento do Desmatamento da Amazônia Brasileira)	INPE (2008a)

2.1.2 Conceitos de floresta primária e de desmatamento por corte raso: Implicações para o estudo de degradação florestal

Neste estudo, os conceitos de floresta primária e corte raso foram definidos com referência ao Sistema de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite – Sistema PRODES (CÂMARA; VALERIANO; SOARES, 2013; INPE, 2014). Para o PRODES, a floresta primária é definida como áreas de fisionomia florestal que não sofreram alteração antrópica para atividades agropastoris desde o início do monitoramento do desmatamento, que tem como ano base 1988. Portanto, o PRODES inclui na classe de floresta primária, áreas de cobertura florestal afetadas por atividades de exploração madeireira e fogo florestal que não resultam na remoção completa da floresta.

Para o PRODES, o desmatamento por corte raso é definido como a conversão completa de áreas de fisionomia florestal primária por ações antropogênicas, para o desenvolvimento de atividades agropastoris, detectadas a partir de plataformas orbitais (INPE, 2000). O PRODES utiliza o sensor TM/Landsat (30m de resolução espacial) e possui unidade mínima de mapeamento superior a 6,25ha (cerca de 70 pixels do sensor TM/Landsat).

Neste estudo, portanto, considera-se como floresta degradada a cobertura florestal ainda não totalmente removida, decorrente da atividade de exploração madeireira e da ocorrência de fogo florestal. Cicatriz de fogo florestal, trilhas de araste de madeira e pátios de estoque de madeira formam o conjunto de atributos-chave para a identificação da floresta degradada por sensores remotos (INPE, 2015a; MATRICARDI et al., 2012; SOUZA; ROBERTS; COCHRANE, 2005).

Está incluída no conceito de floresta degradada, a floresta sob manejo florestal. Apesar de as técnicas de manejo preveem a recuperação da cobertura florestal, as florestas manejadas apresentam aspectos estruturais e fitossociológicos diferentes daqueles da floresta original (FELDPAUSCH et al., 2005; KELLER et al., 2004), além de altas taxas de mortalidade de árvores (SCHULZE; ZWEEDE, 2006) podendo, portanto, serem consideradas momentaneamente degradadas.

Além disso, a sustentabilidade do manejo florestal não é consenso na literatura especializada. O estudo de Darrigo (2011), por exemplo, indica que com os ciclos de corte (30 anos) e intensidades (30 m³/ha) propostas para os planos de manejo da Amazônia¹ não é possível manter as populações de algumas espécies por mais que três ou quatro ciclos de corte. O estudo de Figueira et al. (2008) também indica que as técnicas e os parâmetros do manejo florestal não garantem a recuperação da biomassa florestal para os próximos ciclos de extração.

Assim, a partir do que foi exposto depreende-se que o uso dos conceitos e das definições adotadas tem as seguintes implicações para este estudo: 1) as áreas de cobertura florestal que nunca foram convertidas, exploradas ou queimadas, de acordo com o mapeamento do PRODES, são consideradas como floresta primária; 2) não são objetos de mapeamento as áreas que não apresentam fisionomias florestais, tais como os campos ou savanas amazônicas; 3) o desflorestamento por corte raso de áreas de tamanho inferior a 6,25 ha e que não se caracteriza como cicatriz de fogo florestal, trilhas de arraste de madeira e pátios de estoque de madeira não foi analisado neste estudo.

¹ Resolução do CONAMA nº 406, de 02 de fevereiro de 2009. Estabelece parâmetros técnicos a serem adotados na elaboração, apresentação, avaliação técnica e execução de Plano de Manejo Florestal Sustentável com fins madeireiros, para florestas nativas no bioma Amazônia.

2.1.3 Conceito de Padrão de Degradação Florestal

Padrão pode ser definido como o reconhecimento de atributos comuns, que podem ser utilizados como referência ou modelo (BORRALHO et al., 2007). Um padrão pode ser aplicado para caracterizar o objeto de estudo, e distingui-lo dos demais (por exemplo, floresta degradada e floresta primária), assim como para procurar repetições, que podem ser aplicadas em um contexto mais amplo.

No estudo de degradação florestal, padrões podem ser reconhecidos com o uso de parâmetros qualitativos e/ou quantitativos, e variam de acordo com o método empregado. Podem ser reconhecidos a partir da observação de aspectos ecológicos e biológicos, utilizando indicadores como, por exemplo, a mudança na composição florística e na riqueza de espécies arbóreas (GERWING, 2002). Esses atributos, no entanto, são menos utilizados nos estudos de degradação florestal via sensores remotos, pois não são efetivamente detectados por satélite de média resolução espacial (PERES; BARLOW; LAURANCE, 2006), principais instrumentos de mapeamento da degradação florestal em larga escala (ASNER et al., 2005; INPE, 2008a).

Os atributos normalmente utilizados para descrever padrões de degradação florestal a partir de sensores remotos são estatísticos (SATO et al., 2011), espaciais (MONTEIRO; LINGNAU; SOUZA JR., 2007) e espectrais (MONTEIRO; SOUZA JR.; BARRETO, 2003). Nesses estudos, analisaram-se características espectrais, bem como aspectos de forma e arranjo espacial, tais como tamanho, densidade, proporção e organização espacial de trilhas de arraste e cicatriz de fogo florestal. A detecção pode ser feita manualmente, com uso de técnicas de classificação de imagens, e/ou com apoio de métricas de paisagem, que medem os atributos de forma e estrutura dos elementos que compõe a paisagem.

Em imagens de satélite de média resolução espacial, as clareiras abertas na floresta pela atividade madeireira para o estabelecimento de pátios de estocagem de madeira, apresentam um padrão espacial característico. São pequenas manchas retangulares, isoladas ou conectadas pelas estradas (GRAÇA, 2006). Apresentam também padrão espectral², em que, na composição colorida RGB das bandas espectrais 3, 4 e 5 do sensor TM/Landsat, caracteriza-se por uma coloração rósea, com textura rugosa, distinto do padrão róseo mais homogêneo e liso das pastagens e cultivos agrícolas anuais (SANTOS et al., 2001). O padrão de cicatriz de fogo florestal se apresenta, em geral, na forma de faixas circulares concêntricas, de padrão espectral róseo, intercalado por faixas de vegetação de coloração verde (composição colorida RGB, das bandas espectrais 3, 4 e 5 do sensor TM/Landsat) (GRAÇA, 2006; VASCONCELOS et al., 2013) (Figura 2.1).

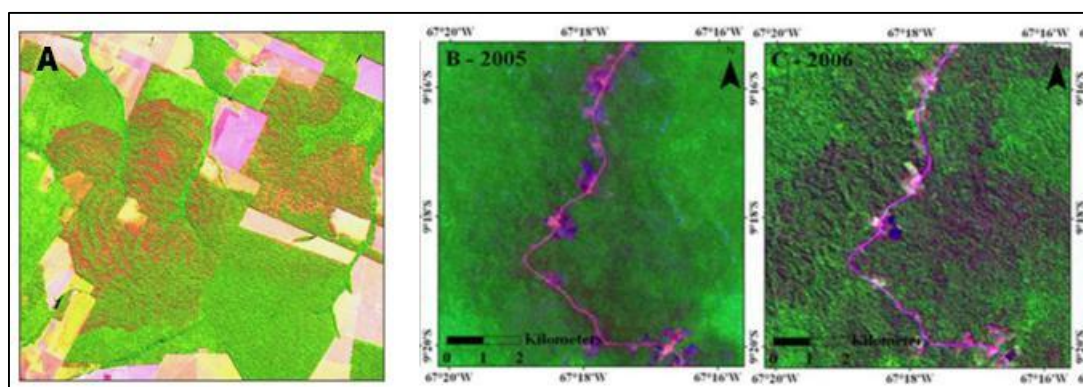


Figura 2.1 – (A) Cicatriz de fogo florestal, em forma circular concêntrica, na composição colorida RGB543; (B) cicatriz de fogo florestal recente e; (C) cicatriz de fogo florestal após 1 ano do evento de fogo.
 Fonte: A) Graça (2006); B e C) Vasconcelos et al. (2013)

No estudo de degradação florestal, além da análise de padrões para detecção de atividade de extração de madeira (ASNER et al., 2005) e cicatrizes de fogo em floresta (PEREIRA; SETZER, 1993; VASCONCELOS et al., 2013), a

² Termo relacionado à reflexão da energia incidente dos alvos da superfície terrestre, que, por sua vez, tem relação com suas características bio-físico-químicas ao longo de determinadas faixas do espectro eletromagnético (STEFFEN, 2010)

análise de padrões tem sido utilizada para diferenciar métodos de exploração de madeira (SOUZA; ROBERTS; COCHRANE, 2005), identificar a idade da extração de madeira (MONTEIRO; SOUZA JR.; BARRETO, 2003), qualificar planos de manejo (MONTEIRO; SOUZA, 2012) e diferenciar intensidade de degradação florestal (ASNER et al., 2006; MATRICARDI et al., 2010; PINHEIRO; ESCADA, 2013; SOUZA et al., 2003).

A Tabela 2.3 apresenta alguns padrões de degradação florestal observados por imagens satélite e em estudo de campo. Observa-se, por exemplo, que os padrões de extração de madeira convencional e manejado apresentam características comuns como presença de estradas e pátios de estoque de madeira (ver na Tabela 2.3 o estudo de Asner et al. (2004)). No entanto, observa-se uma organização espacial distinta desses elementos nos dois métodos de exploração. Enquanto na exploração manejada, estabelece-se um espaçamento fixo entre os pátios, estradas principais paralelas e, estradas secundárias em número menor possível, no método convencional percebem-se a presença de estradas tortuosas, não paralelas e pátios com espaçamentos desiguais.

Tabela 2.3 - Padrões de degradação florestal observados em campo e via imagem de satélite


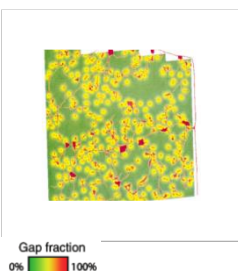
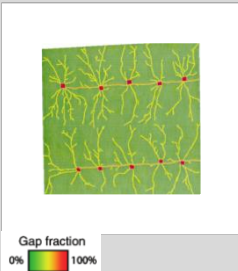
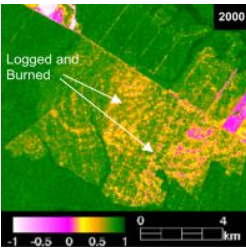
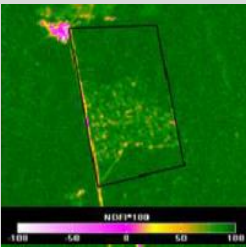
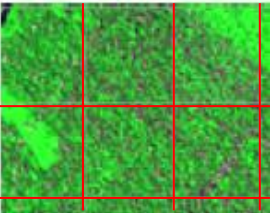
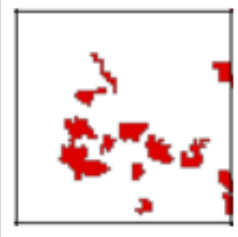
Padrão	Descrição	Fonte de dados	Área de estudo	Fonte
	Extração de madeira, não manejado, demonstrando estradas primárias, secundárias e terciárias, e clareiras.	Padrão identificado por levantamento de dados em campo	Paragominas, nordeste do estado do Pará	UHL; VIEIRA (1989)
	Padrão de exploração madeireira convencional, sem manejo.	Padrão identificado por levantamento de dados em campo, combinado com análise de abertura de dossel para estimativa de dano colateral da atividade de exploração madeireira	Paragominas, nordeste do estado do Pará	ASNER et al. (2004)

Tabela 3.3 - continuação

	<p>Padrão de exploração madeira planejado com técnicas de manejo florestal sustentável</p>	<p>Padrão identificado por levantamento de dados em campo, combinado com análise de abertura de dossel para estimativa de dano colateral da atividade de exploração madeira</p>	<p>Paragominas, nordeste do estado do Pará</p>	<p>ASNER et al., (2004)</p>
	<p>Padrão de floresta submetida à exploração não manejada, seguido de fogo.</p>	<p>Imagem índice de vegetação classificada com base em imagem TM/Landsat (30m de resolução espacial). Técnica de identificação de padrões combina atributos espaciais e índice espectral</p>	<p>Município de Sinop, noroeste estado do Mato Grosso</p>	<p>SOUZA; ROBERTS; COCHRANE (2005)</p>
	<p>Padrão de manejo florestal, mas de baixa qualidade</p>	<p>Imagem índice de vegetação classificada com base em imagem do sensor TM/Landsat (30m de resolução espacial). Técnica de identificação de padrões por índice espectral NDFI</p>	<p>Estados do Pará, Mato Grosso e Amazonas</p>	<p>MONTEIRO; SOUZA (2012)</p>
	<p>Padrão de corte seletivo em estágio avançado.</p>	<p>Imagens do sensor TM/Landsat (30m de resolução espacial). Técnica de classificação de padrões utiliza mineração de dados espaciais. Padrão estabelecido em grade de células de 1x1km²</p>	<p>Município de Sinop, noroeste estado do Mato Grosso</p>	<p>SATO et al. (2011)</p>
	<p>Padrão de exploração madeira convencional de intensidade moderada</p>	<p>Imagem temática classificada utilizando como base imagem do sensor TM/Landsat (30m de resolução espacial). Técnica de classificação de padrões utiliza mineração de dados espaciais. Padrão estabelecido em grade de células de 1x1km</p>	<p>Município de São Félix do Xingu, estado do Pará</p>	<p>PINHEIRO; ESCADA (2013)</p>

O estudo de Monteiro e Souza Jr. (2010) avaliou a execução do método de manejo florestal nos estados do Pará, Mato Grosso e Amazonas, atribuindo-lhes baixa, média e boa qualidade, com base no índice de vegetação NDFI (do

inglês *Normalized Difference Fraction Index*). O NDFI é um índice composto por imagens fração derivados do modelo linear de mistura espectral (MLME), que por sua vez é amplamente utilizado na detecção de degradação florestal por evidenciar pátios de estoque, estradas madeireiras e cicatriz de fogo florestal (GRAÇA, 2006; INPE, 2008a; MATRICARDI et al., 2012; SOUZA; BARRETO, 2000). Os elementos utilizados na qualificação da execução de operações de manejo foram: densidade de pátios, distância entre pátios e estradas secundárias (no manejo florestal esta distância deve ser a menor possível, e é planejada de acordo à localização das árvores alvo de exploração), distribuição espacial de pátios e estradas.

No entanto, outros fatores podem influenciar o padrão observado, tais como: o relevo, que pode influenciar o arranjo espacial das estradas e pátios, tornando-os mais irregulares; a densidade da madeira de árvores alvo de exploração, que pode influenciar a intensidade do dano colateral às árvores não exploradas; e o estágio de exploração. O estudo de Asner et al. (2004), por exemplo, realizado com observações de campo, indica que os danos à floresta (abertura de dossel) na fase de estabelecimento de infraestrutura de apoio ao manejo é menor que os danos causados durante as operações, e que esses danos se tornam menos visíveis ao longo do tempo. Nessas situações descritas, pode não ser trivial a distinção entre método convencional e manejado, ou qualificar a execução do manejo florestal via sensoriamento remoto.

A combinação de aspectos espectrais e espaciais pode ser uma vantagem no reconhecimento de padrões de degradação florestal. Souza Jr. et al. (2005) utilizaram um algoritmo de classificação contextual (CCA, do inglês *Contextual Classification Algorithm*) em combinação com o índice espectral denominado NDFI (do inglês *Normalized Difference Fraction Index*) para detectar a atividade de exploração madeireira e fogo florestal.

No estudo de Souza Jr. et al. (2005), os pátios são detectados nas imagens índice NDFI e servem como pontos de referência, a partir dos quais criam-se *buffers* para detectar a área total afetada pela atividade de exploração florestal. As regiões de danos crescem até que todos os pixels vizinhos sejam classificados como floresta intacta. Como resultado do estudo, a imagem é classificada nos seguintes padrões: “exploração seguida de queima”, “exploração manejada” e “exploração convencional”. Uma abordagem similar de utilização de *buffers* para delimitação da área afetada pela atividade madeireira foi empregada por Matricardi et al. (2007).

Mais recentemente, a abordagem de reconhecimento de padrões de degradação florestal utilizando células foi empregada, de forma exploratória, por Sato et al. (2011) e Pinheiro e Escada (2013). Nesta abordagem, os padrões são definidos por regiões, i.e. uma grade regular de células que engloba um conjunto de polígonos indicativos da degradação florestal. A principal vantagem dessa forma de representação de padrões é que ela permite a descrição da estrutura da paisagem por meio de métricas. A abordagem por célula agrupa atributos distintos, tais como, área, forma, arranjo espacial e propriedades espectrais. O ponto crítico dessa abordagem é a definição da resolução espacial da célula, que, de acordo com Saito et al., (2011), deve considerar a escala dos padrões observados.

A abordagem por células torna-se bastante útil na análise de padrões de degradação florestal, pois não se limita aos polígonos indicativos de degradação, mas engloba uma área de provável dano, mas de pouca visibilidade na imagem de satélite. A extração de madeira causa um efeito colateral nas árvores não exploradas durante as operações para a extração das espécies-alvo, sendo estimado um dano em 20 árvores para cada árvore explorada (JOHNS; BARRETO; UHL, 1996).

Adicionalmente, a célula, de tamanho fixo, pode ser a base para a construção de trajetórias de mudança de cobertura da terra, com a vantagem de se manter a mesma unidade de análise ao longo do tempo. Da mesma forma, mantém-se a unidade de análise espacial, permitindo comparações entre diferentes regiões.

No presente estudo, será empregada a abordagem de células para a análise de degradação florestal em termos de padrões de intensidade de degradação florestal, e, então, para a construção de trajetórias de mudança de cobertura florestal. A seção 4.3 descreve detalhadamente os métodos de identificação e análise desses padrões.

2.1.4 Conceito de trajetórias de mudança de cobertura da terra

O termo trajetória, no contexto de mudanças de cobertura da terra, refere-se às sucessivas transições de padrões de cobertura da terra observadas ao longo do tempo (MERTENS; LAMBIN, 2000). Essas transições podem ser motivadas por atividades humanas, como a expansão da agropecuária, ou por modificações naturais da vegetação, como a regeneração florestal.

As trajetórias possuem dimensões temporal e descritiva (AZEREDO et al., em revisão). A dimensão temporal relaciona-se ao instante inicial, instante final, e ao passo de tempo de análise, propriedades que compõe a janela temporal da trajetória. Lambin (1999) sugere que a janela temporal para a análise de trajetórias da degradação florestal seja da ordem de anos ou décadas, já que no desmatamento por degradação florestal a vegetação é modificada de forma lenta e progressiva. O passo de tempo para a análise das trajetórias de degradação florestal deve ser, ao menos anual, devido à rápida regeneração e ao desaparecimento dos indícios de atividade de exploração de madeira (ASNER et al., 2006; MATRICARDI et al., 2010).

A dimensão descritiva refere-se ao comportamento das trajetórias ao longo do tempo, indicada pela sequência de estados (padrões de cobertura da terra) admitidos pela célula durante a trajetória. A rapidez de mudança do padrão dentro da janela temporal é denominada *Intensidade* (AZEREDO et al., em revisão). Em geral, a rapidez de mudança da cobertura da terra e a sequência de estados são influenciadas pelo contexto sócio-econômico, disponibilidade de recursos florestais e aspectos institucionais (BECKER, 2001).

As trajetórias podem ser classificadas de acordo com os estados admitidos pelas células durante a janela temporal e também pelo tipo de mudança detectado no seu instante final. Com base nessas informações, as trajetórias podem ser agrupadas utilizando o contexto e o objetivo da pesquisa em questão.

Por outro lado, esse agrupamento de trajetórias pode ser feito por técnicas de mineração de dados. Nessa técnica, o algoritmo analisa e extrai propriedades similares de trajetórias, o que representa uma vantagem quando se trata de análise de grande volume de dados em séries temporais. No entanto, algoritmos que permitam essa alternativa de análise de trajetórias de mudanças de cobertura da terra são ainda escassos, sendo o trabalho de Azeredo et al. (em revisão) pioneiro nessa área de pesquisa.

Entre os estudos de trajetórias de mudança de cobertura da terra na Amazônia, destaca-se o trabalho de Gavlak (2011), que estabeleceu uma tipologia de padrões de ocupação humana, com base em células, para o Distrito Florestal Sustentável da BR-163. Em seguida, utilizou essa tipologia para construir trajetórias de mudança de cobertura da terra e relacioná-las à dinâmica da fronteira de ocupação na região. As trajetórias foram agrupadas em dois grupos principais, trajetórias de expansão e de consolidação, utilizando-se para o agrupamento, o critério de presença de determinados padrões de ocupação, seu início e fim.

A análise de trajetórias de degradação florestal, no entanto, ainda é escassa na literatura. Nessa linha de estudo de mudanças de cobertura florestal após eventos de fogo florestal e exploração de madeira destacam-se os trabalhos de Matricardi et al. (2005), Asner et al. (2006) e Matricardi et al. (2010).

No estudo de Matricardi et al. (2005) foi utilizada uma série temporal de 11 anos (1992-2002) de imagens do sensor TM/Landsat, em base anual, para detectar e monitorar a atividade de exploração madeireira em Sinop (MT). O estudo indica que o principal destino das florestas exploradas não é a conversão da floresta, pois a conversão ocorreu em 17% dos casos. Adicionalmente, esse estudo enfatiza que os indicativos de atividade madeireira desaparecem das imagens rapidamente, em média, entre 1 a 3 anos.

Em um segundo estudo, na mesma região, a série temporal foi ampliada para 13 anos (1992-2004) de imagens do sensor TM/Landsat, no qual a análise de fogo florestal foi incluída (MATRICARDI et al., 2010). Os principais resultados obtidos foram que: i) 19% das florestas exploradas, 4% das florestas queimadas e 1% das florestas exploradas/queimadas são convertidas em corte raso; ii) florestas exploradas podem ser sistematicamente acometidas por novos ciclos de exploração, e iii) florestas queimadas podem sofrer recorrentes eventos de fogo florestal. Contudo, em ambos os estudos não há efetivamente a análise de trajetórias de degradação florestal, com detalhamento de número de ciclos de extração, condição da floresta após a exploração de madeira ou fogo florestal, tempo de abandono, nem estimativa da dimensão temporal da trajetória de degradação florestal.

O estudo de Asner et al. (2006) foi desenvolvido com base em uma série temporal de 5 anos (1999-2004) de imagens do sensor TM/Landsat para os estados do Acre, Rondônia, Mato Grosso e Pará. Este estudo analisou a condição da floresta e o seu destino após a atividade de exploração de madeira. Os principais resultados obtidos pelos autores foram que: i) 76% das

áreas detectadas como exploração madeireira foram associadas à alta intensidade de degradação florestal; ii) a probabilidade de conversão de florestas exploradas é 4 vezes maior em comparação com as florestas não exploradas; iii) 32% das florestas exploradas foram convertidas em corte raso no prazo de 4 anos, podendo variar entre os estados analisados.

Como nos estudos de Matricardi, o estudo de Asner et al. (2006) não analisa efetivamente as trajetórias de degradação florestal, o papel do fogo florestal ao longo da trajetória de degradação florestal, e as particularidades regionais de cada área de estudo, em termos de histórico de ocupação. Uma estimativa de dimensão temporal da trajetória de degradação florestal é realizada para cada estado, mas não se leva em consideração importantes diferenças intra-regionais.

Estes trabalhos apresentam análises de curto prazo, no máximo para pouco mais de uma década, deixando algumas lacunas. Essa tese é um estudo de longo prazo, compreendendo 28 anos, que permite observar trajetórias de degradação de forma mais completa, contribuindo para um melhor entendimento dos padrões e trajetórias de degradação florestal, considerando histórico de ocupação e a idade de duas distintas regiões de fronteira madeireira.

2.1.5 Abandono e regeneração florestal no contexto da degradação florestal

Neste estudo, a regeneração florestal é definida como a transição de uma cobertura da terra associada à floresta degradada para uma cobertura de floresta. Ressalta-se que a regeneração florestal observada com imagem de satélite detecta apenas o retorno de um padrão espectral relacionado à floresta, o que não significa que a vegetação *in situ* tenha recuperado a condição ecológica e biológica existente antes da exploração madeireira ou da ocorrência de fogo florestal.

Quando ocorre regeneração florestal, considera-se que houve abandono da atividade antrópica causadora da degradação florestal, de forma que a degradação florestal, neste caso, não ocorre de forma progressiva. O abandono é interrompido se detectados, novamente, indícios de atividades de extração de madeira (trilhas de arraste de madeira, pátios de estoque de madeira, por exemplo) ou fogo florestal (cicatriz de fogo florestal). Neste caso, considera-se que houve revisita de madeireiros ou recorrência de fogo florestal.

2.2 Causas de degradação florestal

As causas da degradação florestal podem ser divididas em naturais e antrópicas. A distinção entre ambas as causas de degradação florestal via sensores remotos tem sido realizada a partir da análise de parâmetros espectrais e espaciais. A degradação florestal de causa antrópica é, em geral, reconhecida pelas formas geométricas de pátios e trilhas de arraste da atividade madeireira, e/ou pela forma cônica da cicatriz de fogo florestal (PEREIRA; SETZER, 1993; SOUZA; ROBERTS; COCHRANE, 2005).

A degradação florestal de causa natural, em geral, afeta a copa das árvores e não expõem o solo da floresta, que fica coberto pela vegetação danificada, dificultando sua detecção (NELSON et al., 1994). As causas naturais da degradação florestal podem estar relacionadas a eventos extremos de precipitação, que provocam a saturação hídrica de solos de platôs de terra firme que, por sua vez, causam a mortalidade de árvores adaptadas a solos bem drenados (NELSON, 2006). Também podem estar relacionadas a eventos de queda de árvores, provocados pela movimentação brusca de massas de ar que atingem a superfície do terreno, denominado *blowdown* (NELSON et al., 1994).

Segundo Nelson (1995), as causas naturais acarretam menos impactos ambientais, em termos de extensão, do que causas de origem antrópica. Além disso, as causas naturais podem ter ocorrência limitada à algumas regiões da

Amazônia, como, por exemplo, o fenômeno *blowdown* que tem maior frequência de ocorrência na faixa entre 58°00'W e 66°49'W, devido aos altos índices de precipitação daquela região (ESPÍRITO-SANTO et al., 2010).

Considerando estes aspectos, neste trabalho foi considerada apenas a degradação florestal de origem antrópica, relacionada com eventos de exploração de madeira e fogo florestal. Os fatores que causam a degradação florestal de origem antrópica foram divididos por Geist e Lambin (2002) em duas categorias: fatores imediatos e subjacentes. Essas duas categorias serão detalhadas a seguir.

2.2.1 Fatores imediatos associados à degradação florestal: extração de madeira, fogo florestal e fragmentação florestal

A exploração madeireira, o fogo florestal e a fragmentação florestal são considerados fatores imediatos da degradação florestal, pois causam diretamente as alterações na cobertura florestal (GEIST; LAMBIN, 2002). Como ilustrada na Figura 2.2, esses fatores podem agir isoladamente ou em sinergia, envolvendo também outros processos, como abandono da extração de madeira, regeneração da floresta e práticas de manejo de pasto e agrícola.

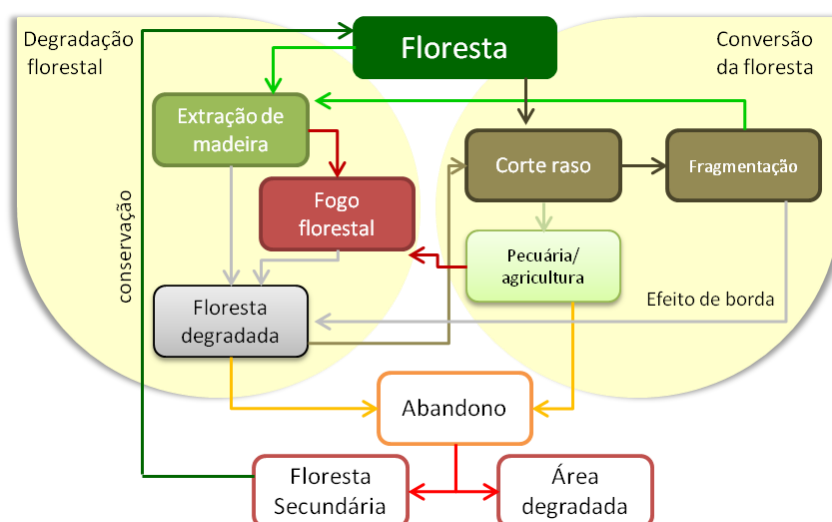


Figura 2.2 - Interrelações entre causas imediatas da degradação florestal
 Fonte: adaptada de Ismail e Kamarudin (2011)

A atividade de exploração de madeira adota princípios para a seleção de espécies (econômicos e/ou técnicos) e um conjunto de operações para a retirada de árvores da floresta (planejados ou não planejados), que alteram o estado da floresta primária. Como consequência dessa intervenção, diversos efeitos são observados na estrutura da floresta.

A Tabela 2.4 apresenta uma compilação de estudos sobre a alteração de parâmetros biofísicos da floresta, após a atividade de extração de madeira. Observa-se que quanto maior o volume de madeira (m³) extraído, mais alterada se tornará a vegetação com relação à vegetação original. Em situações de alta intensidade de extração de madeira metade da biomassa foi encontrada em relação à quantidade esperada para uma floresta primária (GERWING; VIDAL, 2002; JOHNS; BARRETO; UHL, 1996).

Tabela 2.4 - Parâmetros biofísicos de floresta intacta e degradada de intensidade leve, moderada e alta, para o leste do estado do Pará

Parâmetros biofísicos	Floresta intacta	Intensidade leve (25-34m³)	Intensidade moderada (35-50m³)	Intensidade alta (> 50m³)
Biomassa árvores dap > 10cm (t/ha) ^{1,7}	258-300	-	198	148
Necromassa Fina diâmetro < 2cm (t/ha) ²	5,9	-	6,2	-
Necromassa Grossa: diâmetro>10cm(t/ha) ³	33-52,9	73,7	68-107,5	140
Cipós (nº /ha) ⁴	3150	-	4970	1967
Pioneiras DAP ≥ 10 (nº ind) ⁵	9	-	45	14
Clareiras (m ²) ⁶	150-184	166	278-355	473

Fonte: ^{1,4,5}GERWING; VIDAL (2002), GRAÇA (2006); ²FIORINI (2012); ³FIORINI (2012), GERWING; VIDAL (2002), KELLER et al. (2004); ⁵FELDPAUSCH et al. (2005), KELLER et al. (2004); ⁶JOHNS; BARRETO; UHL (1996), SCHULZE; ZWEEDE (2006); ⁷(JOHNS; BARRETO; UHL (1996), SCHULZE; ZWEEDE (2006)

A Tabela 2.4 também indica que, nas florestas exploradas, observa-se o aumento da intensidade da luz solar na camada inferior da floresta devido ao aumento de área de clareira (JOHNS; BARRETO; UHL, 1996; SCHULZE; ZWEEDE, 2006). Esse fator em combinação com o aumento de necromassa, que pode ser até três vezes maior em florestas exploradas (GERWING, 2002;

KELLER et al., 2004), pode tornar a floresta mais susceptível ao fogo (HOLDSWORTH; UHL, 1997).

As operações madeireiras também causam morte e danos às árvores não exploradas (JOHNS; BARRETO; UHL, 1996). Nesse processo, as árvores mortas e a necromassa se decompõem, causando emissão de carbono para a atmosfera (FIORINI, 2012). Alterações na composição de espécies da flora também são observadas, com aumento de espécies pioneiras (GERWING, 2002) e extinções locais devido à sobre-exploração de espécies de maior valor econômico (UHL; VIEIRA, 1989).

Alterações similares na vegetação ocorrem devido à fragmentação florestal, que se caracteriza pela perda de habitat e isolamento do fragmento florestal, após o desmatamento (FAHRIG, 2003). Portanto, a área florestal, antes contínua, é dividida em manchas, criando zonas de contato conhecidas como borda florestal. Dessa transição abrupta de coberturas da terra surge o efeito de borda, fenômeno caracterizado pela alteração microclimática na borda de fragmentos florestais, tais como aumento de incidência de vento, temperatura e luminosidade e redução da umidade (LAURANCE et al., 1998).

Entre as consequências da perda de habitat e isolamento do fragmento florestal estão a vulnerabilidade às extinções locais (FAHRIG, 2003) e inibição de deslocamento de espécies-chave para os processos ecológicos, tais como polinizadores e dispersores de sementes, afetando o sucesso reprodutivo das plantas (HADLEY; BETTS, 2012).

As consequências do efeito de borda são o aumento da mortalidade de árvores, causando maior emissão de carbono para a atmosfera (LAURANCE et al., 1998; NASCIMENTO; LAURANCE, 2004); redução da biomassa florestal, pois a mortalidade de árvores é preferencial entre indivíduos de grande porte (LAURANCE et al., 1997, 1998); alteração da composição florística do fragmento, já que a espécies pioneiras e exóticas têm vantagens competitivas

sobre espécies nativas (TABARELLI; SILVA; GASCON, 2004); e alteração da qualidade e quantidade da serapilheira e, portanto, alteração da ciclagem de nutrientes (KELLER et al., 2004; NASCIMENTO; LAURANCE, 2006; SIZER; TANNER; KOSSMANN, 2000); aumento da susceptibilidade da floresta ao fogo florestal (ALVARADO et al., 2004). Estes efeitos tendem a ser mais evidentes quanto menor e mais recortado for o fragmento florestal (FAHRIG, 2003).

O fogo em florestas tropicais, em geral, está associado às atividades antrópicas (SÁ et al., 2007; VASCONCELOS et al., 2013). Na Amazônia, o fogo é comumente utilizado para a preparação da terra, renovação de pastos e eliminação de resíduos agrícolas (NEPSTAD et al., 1999). Eventualmente, durante a queima de suas áreas, o produtor pode perder o controle, e o fogo pode se alastrar sobre a vegetação (MENDONÇA et al., 2004). O fogo florestal pode ser também intencional, e é utilizado como uma forma de apropriação da terra (MENDONÇA et al., 2004).

As consequências do fogo florestal são: emissão de carbono devido à queima da floresta e decomposição da biomassa remanescente (VASCONCELOS et al., 2013); inibição do processo de regeneração florestal devido à destruição do banco de sementes e da alta mortalidade de plântulas, o que torna seus efeitos mais duradouros (BARLOW; PERES, 2008); simplificação estrutural da vegetação (menor estratificação vertical e menor acúmulo de biomassa) e também florística (menor riqueza de espécies, mais espécies pioneiras) (BARLOW; PERES, 2008).

A sinergia entre a atividade de exploração de madeira, a fragmentação florestal e o fogo está na associação entre o ambiente mais seco na borda de fragmentos, nas florestas exploradas e o uso de fogo nos sistemas agropecuários adjacentes, o que torna maior a possibilidade de fogo recorrente e de danos à floresta (COCHRANE, 2003; UHL; VIEIRA, 1989). A degradação florestal também se espalha na paisagem na medida em que a fragmentação florestal aumenta e novas estradas são construídas para a exploração de

madeira facilitando o acesso de madeireiros e caçadores às porções remotas de floresta (COCHRANE et al., 2005; PERES, 2001).

2.2.2 Causas subjacentes da degradação florestal

Os fatores subjacentes da degradação florestal são aqueles que influenciam a ocorrência e a intensidade dos fatores imediatos (GEIST; LAMBIN, 2002). Esses fatores pode ser de origem política, econômica, institucional, tecnológica, cultural e/ou demográfica. Fatores subjacentes e imediatos se relacionam e essas relações serão discutidas, a seguir, no contexto da consolidação e expansão da atividade madeireira na Amazônia.

A política de integração do governo brasileiro para a Amazônia, que se intensificou na década de 70, foi um marco também em relação as mudanças da paisagem na região (BECKER, 2001). A abertura de estradas ajudou na expansão das atividades de extração de madeira, antes limitada às várzeas, em direção aos eixos de desenvolvimento (BARROS; UHL, 1995). A extração de madeira é uma atividade comum nas regiões de fronteira agropecuária na Amazônia e está intimamente relacionada com os processos de avanço da fronteira (ROS-TONEN, 2007).

Historicamente, a expansão da atividade madeireira na Amazônia tem sido afetada pela demanda por madeira no mercado internacional, devido ao esgotamento desse recurso na Ásia, e principalmente nacional, devido à limitação desse recurso no sul/sudeste do Brasil (VERÍSSIMO et al., 2002). Adicionalmente, a expansão da exploração de madeira na região é relacionada ao alto preço da madeira e aos períodos econômicos favoráveis (LENTINI; VERÍSSIMO; PEREIRA, 2005; SFB; AMAZON, 2010).

O consumo de madeira em tora na Amazônia Legal, por exemplo, decresceu de 28,3 milhões de m³ para 14,2 milhões de m³ entre 1998 a 2009, sendo uma das razões apontadas para essa redução de consumo, a crise econômica que se instalou globalmente no ano de 2008 (SFB; AMAZON, 2010). Contudo,

considerando que 80% do mercado consumidor da madeira é nacional (ADEODATO et al., 2011), e que o IBGE indicou a queda de produção de madeira em tora na Amazônia em 2008 (IBGE, 2013), mesmo com a tendência ao aumento do preço da madeira no mercado internacional (ITTO, 2013) (Figura 2.3), é provável que outros fatores expliquem esse decréscimo, tais como o fortalecimento de ações institucionais de comando e controle do desmatamento (VALERIANO et al., 2012b).

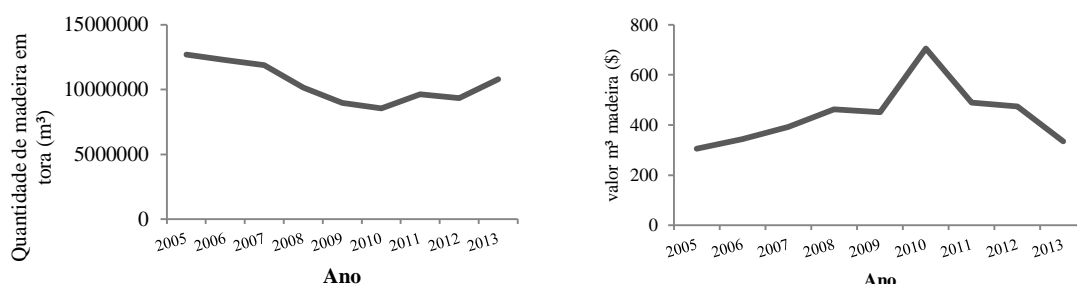


Figura 2.3 - Variação anual de quantidade madeira em tora (m³) extraída da Amazônia (IBGE, 2013) e variação anual do valor de madeira em tora (ITTO, 2013)

A retração da atividade madeireira tem sido também relacionada ao maior emprego de tecnologia na indústria de processamento de madeira (GERWING et al., 2000; LENTINI; VERÍSSIMO; PEREIRA, 2005) e em operações de extração de madeira da floresta, como a adoção de manejo florestal sustentável (VIDAL et al., 1997). A lógica dessa relação é que a melhoria de eficiência no processamento de madeira e na extração de árvores gera economia de matéria-prima, maior rendimento e menor pressão sobre os recursos florestais. Estudos indicam que o rendimento da madeira nas serrarias da Amazônia varia, em geral, entre 35-45%, e ainda é considerado tipicamente pouco eficiente (FILHA, 2002; IBAMA, 2011; LENTINI et al., 2005; RIVERO; ALMEIDA, 2008).

O rendimento da indústria de madeira, por sua vez, pode variar de acordo com o perfil do mercado consumidor. O processamento para o mercado externo, por exemplo, tende a reduzir o rendimento, uma vez que as exigências de

qualidade desse mercado permitem apenas pequenos defeitos na madeira processada (GERWING et al., 2000; MATSUNAGA, 2005). Por outro lado, o mercado externo demanda madeira com origem em planos de manejos e/ou madeira certificada³ (IBAMA, 2011; RIVERO; ALMEIDA, 2008; SABOGAL et al., 2006), que seguem técnicas que reduzem os danos à floresta e promovem sua recuperação para futuros ciclos de extração. Isto ilustra como questões culturais associadas ao perfil do mercado consumidor podem influenciar a dinâmica de atividade de madeira.

O emprego desta tecnologia de extração e de processamento de madeira tem relação com questões culturais, institucionais e econômicas (PUTZ; DYKSTRA; HEINRICH, 2000; RIVERO; ALMEIDA, 2008; SABOGAL et al., 2006; STONE, 1998). Os estudos indicam que a implantação de exploração legalizada e sustentável apresenta relação com a percepção do madeireiro sobre os benefícios do manejo florestal, com o nível de capacitação em técnicas de manejo, com a disponibilidade de tecnologia (equipamentos), e também com o maior nível de controle governamental e com a maior segurança fundiária.

Rivero e Almeida (2008) analisaram a influência do ambiente institucional sobre a tomada de decisão dos madeireiros. A conclusão do estudo é que, dado um ambiente de incerteza da capacidade do Estado em fiscalizar e punir a exploração ilegal de madeira, é pouco provável que o madeireiro adote a estratégia de exploração com práticas de manejo e ciclos longos de exploração. A explicação é que, se o preço de mercado da madeira é parcialmente determinado pelos custos de produção, alto no caso de adoção de manejo florestal, a escolha de estratégias não sustentáveis possibilita uma chance alta de ganhos, considerando esse ambiente de baixo risco de punição.

³ A certificação de manejo florestal e/ou da cadeia de custódia da produção florestal constitui um selo de qualidade que deve garantir que a madeira utilizada em determinado produto é oriunda de um processo produtivo manejado de forma ecologicamente adequada, socialmente justa e economicamente viável, e no cumprimento de todas as leis vigentes.

A Tabela 2.5 ilustra o custo total da extração de madeira com plano de manejo florestal sustentável (PMFS) e sem manejo florestal (convencional), tomando como exemplo Novo Progresso (PA). O preço final da madeira sem manejo (mercado local) para algumas espécies comerciais é de 7 a 30% menor do que o preço da madeira com manejo florestal. Novo Progresso é um exemplo de região onde há ainda falta de segurança em relação à propriedade e posse das terras e escassez de terras legalizadas para o manejo florestal, o que limita o investimento em práticas sustentáveis.

Tabela 2.5 - Dispendios anuais para obtenção de espécies florestais via manejo florestal e método convencional, em Novo Progresso (PA)

Espécie	Volume (m³)	PMFS (R\$/m³)	Custo total da madeira em tora do PMFS (R\$)	Mercado local (R\$/m³)	Custo total da madeira em tora paralelo (R\$)
mogno	11.250,76	188,03	2.115.480,40	160,00	1.800.121,60
cedro	14.533,09	88,03	1.279.347,90	75,00	1.089.981,75
andiroba	11.009,23	80,53	886.573,29	60,00	660.553,80
angelim vermelho	11.407,65	86,78	989.955,87	60,00	684.459,00
freijó	4.593,20	80,53	369.890,40	60,00	275.592,00
ipê	7.962,24	86,78	690.963,19	80,00	636.979,20
jatobá	11.128,96	86,78	965.771,15	65,00	723.382,40
maçaranduba	3.781,91	86,78	328.194,15	60,00	226.914,60
total	75.667,04		7.626.176,35		6.097.984,35

Fonte: MATSUNAGA (2005)

A degradação florestal devido ao fogo florestal, por sua vez, poderia ser reduzida com a disseminação de tecnologia para manejo de pastos, para a construção e manutenção de aceiros⁴ e locais de captação de água⁵. Da mesma forma, o fortalecimento de instituições ambientais poderia reduzir a incidência de fogo florestal, disponibilizando mais fiscalização no período proibitivo de uso de fogo na Amazônia, que coincide com o período de estiagem na região.

⁴ São faixas ao longo das cercas, divisas ou da área a ser queimada, cuja vegetação deve ser completamente removida da superfície do solo, com a finalidade de prevenir a passagem do fogo para fora da área delimitada. A legislação ambiental prevê as normas técnicas para sua construção. Cabe ao produtor fazer a manutenção anual dos aceiros naturais que podem ser estradas ou cursos d'água ou construir aceiros artificiais.

⁵ Medida de combate ao fogo que facilita o acesso à água, visto que muitas áreas ficam distantes da sede da propriedade ou de rios/lagos

Como mencionado, na Amazônia, o fogo é um instrumento facilitador e redutor de custos no processo de desmatamento, e também para a eliminação de plantas invasoras e aumento de fertilidade do solo na reforma de pastos. Paradoxalmente, o fogo pode oferecer apenas benefícios de curto prazo, além de prejuízos ao patrimônio (destruição de benfeitorias, cultivos perenes, recursos madeireiros), se o produtor perde o controle sobre a queimada.

O fogo pode destruir a microfauna que mantém as propriedades físico-químicas do solo (OLIVEIRA; FRANKLIN, 1993), e as cinzas depositadas como nutrientes do solo podem ser lixiviadas, sofrer escoamento superficial e perdas para a atmosfera, o que em última análise, pode levar à redução da fertilidade do solo e degradação de pastagem (DIAZ et al., 2002; SÁ et al., 2007; SAMPAIO et al., 2003). Além disso, embora o fogo possa reduzir a infestação de pragas, por inviabilizar os ovos depositados no solo, ele não pode evitar a reinfestação advinda de área vizinha não tratada (DIAS FILHO, 1987).

Observa-se a disseminação de tecnologia em práticas de manejo de pastagens promovida pela EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) e pelo IMAZON (Instituto do Homem e Meio Ambiente na Amazônia) (EMBRAPA, 2015; IMAZON, 2011), em especial nos municípios de Paragominas (PA) e mais recentemente em Novo Progresso (PA). Entre os resultados dos cursos está o aumento da produtividade da pecuária com intensificação do sistema de produção, e a redução de dependência do fogo para manutenção de pastagens.

2.2.3 Perspectiva demográfica na análise de mudanças da paisagem

Por fim, esta seção abordará a perspectiva demográfica, que, em última análise, representa o agente de modificação da paisagem. Especificamente, essa seção mostra que há diferentes perspectivas sobre a relação entre densidade populacional e avanço da degradação ambiental, e que não há consenso na literatura especializada.

Enquanto alguns estudos afirmam que há essa relação direta de aumento populacional e avanço da degradação ambiental (CROPPER; GRIFFITHS, 1994), outros estudos apontam a dinâmica populacional da área de estudo e/ou o perfil da população migrante como fatores preponderantes para a intensidade e extensão da degradação do ambiente (BRONDIZIO et al., 2002; DINIZ, 2002; PERZ, 2001; PFAFF, 1999; SOARES; DAL'ASTA; AMARAL, 2014).

Pfaff (1999), em um estudo na escala de município, utilizou um modelo econométrico para avaliar esta relação entre população e degradação ambiental. As principais conclusões do estudo são: i) o número absoluto populacional não é o principal problema, mas sim a dinâmica espacial e temporal da população; e ii) o uso da terra é diretamente relacionado à maximização do lucro, e, portanto, é influenciado por fatores que afetam o custo de transporte, tais como a distância ao mercado consumidor.

Perz (1991), em um estudo na escala de propriedade, utilizou um modelo que relaciona o ciclo de vida dos domicílios e as mudanças de uso da terra na fronteira agrícola, procurando estabelecer relações entre características demográficas e a predisposição do indivíduo a adotar determinado meio de sobrevivência. A conclusão do estudo é que a etapa do ciclo de vida em que se encontra o domicílio (número de adultos, número de crianças, idade do chefe de família, duração da residência) é fundamental para a estratégia de uso da terra adotada.

Essa ideia de ciclo do domicílio e estratégias de uso da terra foi ilustrada pelo modelo conceitual desenvolvido por Brondízio et al (2002). De acordo com esse modelo, as famílias recém-chegadas na fronteira se dedicam tipicamente à conversão da floresta e à agricultura de subsistência. À medida que o domicílio e a fronteira se desenvolvem, as famílias adotam a estratégia de criação de gado. Por fim, no momento em que se estabelecem, tendem a diversificar para culturas perenes, que necessitam de maior força de trabalho, já disponível no domicílio nesta etapa. Com base nessa tipologia, o estudo

analisou trajetórias de mudança de cobertura da terra, à medida que a fronteira de ocupação se torna consolidada.

A tipologia utilizada por Brondízio et al (2002) não menciona o estágio do domicílio ou da fronteira para a adoção da atividade madeireira. No entanto, a maior parte da extração madeireira na fronteira de ocupação entre as décadas de 70 e 90 era proveniente de áreas que seriam desmatadas para fins agrícolas, ou seja, a madeira era um subproduto e não a atividade principal (PICOLI, 2004; ROS-TONEN, 2007). Este padrão é ainda observado (ROS-TONEN, 2007).

Como descrito por Ros-tonen (2007):

... O típico madeireiro das florestas de terra firme era o dono de um caminhão de transporte de madeira e, na maioria das vezes, era também proprietário de um pequeno lote de terra onde além da exploração de madeira se ocupava do cultivo da terra... Estavam envolvidos tanto na extração, quanto no transporte da madeira, geralmente com ajuda de três pessoas, a saber, um motosserrista e dois ajudantes ou braçais que abriam a picada – um atalho estreito aberto no mato a golpes de facão – e carregavam as toras para o caminhão. O equipamento era simples: um caminhão, uma motosserra e um machado. As áreas de exploração pertenciam geralmente ao próprio madeireiro ou aos colonos que moravam ao longo das estradas e vendiam as árvores. Os fazendeiros ou os grandes proprietários de terra geralmente contratavam trabalhadores para fazer esse trabalho, investindo muitas vezes também numa serraria móvel (transportável) para serrar as toras. Outros fazendeiros faziam negócios diretamente com uma serraria ou madeireira para desmatar a área sem a interferência de um madeireiro. Acordos entre madeireiros e fazendeiros não eram comuns, ao contrário de negociações entre os colonos (pequenos proprietários) e os madeireiros (ROS-TONEN, 2007).

Percebe-se, portanto, que a degradação florestal pode ter causas diversas, incluindo fatores de macro escala, como a situação econômica ou políticas ambientais em escala nacional, e fatores de micro escala, como aqueles associados à força que depende do próprio produtor ou de sua experiência prévia (SYDENSTRICKER-NETO, 2002). Neste sentido, a combinação de

fatores resultará no padrão e na trajetória de mudança de cobertura da terra observados.

2.3 Sensoriamento remoto aplicado à detecção de degradação florestal

Detecção refere-se à capacidade de sensores remotos em distinguir alvos com base em suas características espectrais e/ou espaciais (SOUZA JR., 2007). Nesta seção, apresenta-se uma discussão sobre sensores remotos aplicados à detecção de degradação florestal, e sobre as técnicas de realce de imagens de sensoriamento remoto que facilitam a detecção de indicadores de degradação florestal, tais como trilhas de arraste e pátios de estoque de madeira, característicos de áreas de exploração madeireira.

Entre os sensores orbitais, existem aqueles de alta, média e baixa resolução espacial. A atividade madeireira é de relativamente fácil detecção em imagens de alta resolução espacial (pixel de 1-4 m). O estudo desenvolvido por Souza & Roberts (2005), por exemplo, empregou a técnica de fusão de imagem IKONOS pancromática (1 m) com imagens multi-espectrais (4 m) para realçar e identificar estradas, clareiras e aberturas no dossel de florestas exploradas. Contudo, há limitações no uso de imagens de alta resolução, tais como: i) o alto custo de aquisição, que podem ser possivelmente superados com o desenvolvimento de câmaras como a HRC/CBERS, de distribuição livre, como demonstrado por Pantoja et al. (2011); ii) é necessário um número elevado de imagens de alta resolução espacial e por consequência de mais procedimentos operacionais para mapear uma mesma extensão de degradação florestal de uma imagem de moderada resolução; e iii) são imagens mais recentes não sendo possível recuperar as mudanças históricas ocorridas na paisagem.

O sensor de alta resolução temporal, como o MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectrometer, 250 m de resolução espacial*), tem sido empregado em um dos sistemas de monitoramento da cobertura florestal da Amazônia, o Sistema DETER (Sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Real).

Esse sistema emite alertas diários, que são indicadores de desmatamento por corte raso e de degradação florestal, informações essenciais para o controle do desmatamento. A limitação deste sensor é a sua baixa resolução espacial, que limita a detecção de degradação florestal de baixa intensidade (INPE, 2008b, 2008c).

Sensores de média resolução espacial como os da série LANDSAT (TM e ETM) têm sido amplamente utilizados para a detecção e análise da degradação florestal por fogo florestal e exploração madeireira, em larga escala (ASNER et al., 2004, 2009; MATRICARDI et al., 2010, 2005, 2007; MONTEIRO et al., 2011; SANTOS et al., 2001; SOUZA et al., 2013; WANG; QI; COCHRANE, 2005). Com esse objetivo de mapeamento sistemático e em larga escala, estes sensores apresentam melhor custo-benefício considerando fatores como custo, resolução espacial, temporal e ampla cobertura.

As principais limitações do uso de imagens de média resolução espacial são: i) após 2-3 anos da exploração florestal, a vegetação se regenera tornando sua detecção na imagem mais difícil (MATRICARDI et al., 2007; SOUZA; ROBERTS; COCHRANE, 2005); ii) a detecção de características espaciais associadas à abertura do dossel na escala sub-pixel. Esse último caso é geralmente associado à extração não-mecanizada, em que não são construídas trilhas e pátios, ou às pequenas clareiras e árvores danificadas pela queda de árvores alvo de exploração (SOUZA; ROBERTS; COCHRANE, 2005).

Diversas técnicas utilizando imagens de sensores de média resolução já foram testadas para a detecção de atividade madeireira e fogo florestal. As técnicas de mapeamento empregadas englobam métodos manuais de interpretação visual (SANTOS et al., 2001; STONE; LEFEBVRE, 1998), mas, recentemente, a maior parte dos estudos emprega métodos mais automatizados (ASNER et al., 2009; SOUZA; ROBERTS; COCHRANE, 2005; SOUZA et al., 2013).

Os métodos manuais são dependentes da experiência do intérprete e demandam tempo (MATRICARDI et al., 2005). Métodos totalmente automáticos para detecção e análise de degradação florestal ainda são limitados, pois necessitam de algum nível de interferência do intérprete. Matricardi et al. (2005) comparou os três métodos, manual, automático e semi-automático, e encontraram que as técnicas semi-automáticas podem ser sete vezes mais precisas que o método manual e quase três vezes mais precisas que o método totalmente automático.

O método desenvolvido por Asner et al. (2009), por exemplo, realiza todas as etapas até a detecção de degradação florestal de forma automática, mas necessita de um procedimento dependente do intérprete para distinguir extração de madeira (pátios, trilhas e estradas) de fogo florestal (cicatriz de fogo florestal). Nesse caso, pode ainda haver problemas na classificação devido à confusão de degradação florestal com afloramentos rochosos. Souza Jr. et al. (2005) combinaram atributos espaciais e espectrais para distinguir extração de madeira de fogo florestal, mas com uma metodologia baseada em softwares privados, que limita o uso apenas para quem tem a licença, e é dependente de intérprete na fase de seleção de pixels puros para gerar o Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME).

O MLME é uma das técnicas mais difundidas para detecção de exploração madeireira e fogo florestal (ANDERSON et al., 2005; ASNER et al., 2004; MONTEIRO; SOUZA JR.; BARRETO, 2003; SOUZA; BARRETO, 2000; SOUZA; ROBERTS; COCHRANE, 2005; SOUZA et al., 2003, 2013). Estes trabalhos partem do princípio que, com base na resposta espectral de alvos puros (*endmembers*), é possível ressaltar as feições dos alvos desejados, facilitando sua detecção e monitoramento.

Essa técnica consiste em decompor as bandas originais do sensor em imagens sintéticas relacionadas a três componentes principais: solo, vegetação e água/sombra. A componente vegetação pode ser subdividida em duas

componentes, vegetação verde e vegetação não-fotossintética (associada à vegetação morta). Essas componentes já foram utilizadas para estimar danos ao dossel da floresta após a extração de madeira (ASNER et al., 2002) e quantificar níveis de degradação após fogo florestal (COCHRANE; SOUZA JR., 1998).

Os componentes puros de solo e sombra do MLME têm sido utilizados pelo projeto PRODES digital desde 2001, para detectar e monitorar o desmatamento por corte raso na região Amazônica, devido ao alto contraste entre vegetação e solo exposto (CÂMARA; VALERIANO; SOARES, 2013). Graça (2006) encontrou que o nível de abertura de dossel, um indicador de degradação florestal, foi fortemente correlacionado à fração solo derivada do MLME, demonstrando que essa fração tem grande potencial para ser utilizado como indicador do nível de degradação florestal. Outros estudos também utilizam a fração solo para a detecção de degradação florestal (MALDONADO; GRAÇA; SANTOS, 2009; MONTEIRO; SOUZA JR.; BARRETO, 2003).

Trabalhos pretéritos indicam que as imagens-fração oferecem melhores resultados quando combinadas, gerando índices de vegetação, do que quando utilizadas isoladamente (SOUZA; ROBERTS; COCHRANE, 2005). A lógica é que os índices combinam a maior parte da informação espectral que é relevante para identificar e mapear a degradação florestal, quando comparado com as bandas isoladas.

Com base nessa lógica e com ampla experiência no monitoramento da cobertura florestal da Amazônia, os Sistemas DEGRAD (Detecção da Degradação Florestal) e DETEX (Detecção da Exploração Seletiva de Madeira) utilizam um índice espectral composto, com base em imagens-fração solo e vegetação, para detectar e monitorar a degradação florestal (fogo florestal e extração de madeira) e corte seletivo de madeira, respectivamente. Considerando que as áreas de degradação floresta têm alta resposta espectral na imagem-fração solo e baixa resposta espectral na imagem-fração

vegetação, a razão entre essas duas imagens tem grande potencial para realçar as áreas degradadas, sendo esta a técnica utilizada para gerar as estimativas oficiais de degradação florestal na Amazônia.

Neste trabalho, também será utilizado o índice espectral, aplicado nos sistemas DEGRA e DETEX, para o mapeamento da degradação florestal. Este procedimento será descrito na seção 4.2.1.

2.4 Mineração de dados espaciais no GeoDMA (*Geographical Data Mining Analyst*)

O *Geographical Data Mining Analyst* (GeoDMA) é um aplicativo de mineração de dados que utiliza técnicas de aprendizado por máquina para extrair padrões, oferecendo informações que sejam compreensíveis aos usuários dos dados (KORTING et al., 2008). A extração desses padrões é baseada em métricas oriundas da ecologia da paisagem. Essa técnica de mineração de dados é especialmente útil na análise de bancos de dados geográficos, provenientes de dados de sensoriamento remoto, que podem conter extenso volume de dados acima da capacidade humana de interpretação.

O GeoDMA apresenta vantagens em relação aos outros algoritmos de mineração de dados pois utiliza diferentes formatos de dados de entrada, é um software livre, de código fonte aberto, e possibilita realizar todas as fases de manipulação de dados de sensoriamento remoto, incluindo segmentação, extração e seleção de atributos, treinamento, classificação e análise exploratória dos dados (APÊNDICE A.1).

O GeoDMA funciona como um plugin para o aplicativo TerraView, que manipula e visualiza dados armazenados em bancos de dados geográficos, e é implementado na Linguagem C++, baseado na biblioteca TerraLib (INPE, 2010). Os dados de entrada do GeoDMA podem ser dados matriciais, vetoriais (segmentos resultantes da segmentação ou polígonos classificados) e também grade celular. O GeoDMA foi desenvolvido baseando-se no protótipo e

metodologia propostos por Silva et al. (2008). Neste trabalho, Silva et al. (2008) relacionaram padrões espaço-temporais com um conjunto de diferentes atores sociais.

Posteriormente, o GeoDMA foi utilizado no reconhecimento de padrões de desmatamento associados a tipos de ocupação humana na Amazônia (SAITO, 2011); na análise de relações entre a dinâmica da cobertura da terra em regiões com diferentes estágios de ocupação da fronteira agropecuária (GAVLAK, 2011); e também na análise de evolução do arranjo espacial urbano e de terras agrícolas (DAL'ASTA et al., 2011), obtendo resultados satisfatórios para a caracterização das dinâmicas regionais.

O uso do GeoDMA na análise de padrões e trajetórias de degradação florestal ainda é pouco explorado. SATO et al., (2011), em um estudo preliminar, obtiveram resultados satisfatórios na detecção e qualificação de áreas sob regime de corte seletivo na Amazônia, em células de 1x1km, através de técnicas de mineração de dados do GeoDMA. Nesse estudo, no entanto, não foi realizada a análise de trajetórias. Pinheiro e Escada (2013), em uma análise mais abrangente, obtiveram resultados satisfatórios para a análise de padrões associados à intensidade de degradação florestal, em células de 1x1km. Com base nessas células, foram criadas e analisadas as trajetórias da degradação florestal na região de São Félix do Xingu, Pará.

3 ÁREA DE ESTUDO

Este estudo foi desenvolvido em duas fronteiras madeireiras da Amazônia. A primeira área de estudo está localizada na região centro norte do estado do Mato Grosso (MT), no município de Sinop, indicado pela órbita/ponto 226/68, que inclui também os municípios Santa Carmem, Cláudia, União do Sul, Feliz Natal, Marcelândia, Itaúba e Nova Santa Helena. A segunda área de estudo é o município de Novo Progresso, localizado no sudoeste do estado do Pará (PA), indicado pela órbita/ponto 227/65, da grade TM/Landsat, que abrange também parte do município de Altamira (PA). A descrição dessas áreas é feita a seguir.

3.1 Área de estudo 1 – Sinop (MT): histórico de ocupação, caracterização da vegetação e da paisagem

O município de Sinop abrange uma área de cerca de 4.000,000 km², com uma população de 113.099 habitantes (IBGE, 2010a) (Figura 3.1). A vegetação é tipicamente Floresta de Transição, que consiste na zona de contato entre a Floresta Ombrófila Densa e a Floresta Estacional. A floresta de transição apresenta biomassa média de 326 Mg/ha, cuja densidade de árvores e diversidade de espécies é menor que a encontrada na floresta densa. Em termos geomoforológicos encontra-se na Bacia do Alto Xingu, com relevo característico do Planalto Residual do Norte de Mato Grosso e Planalto dos Parecis (LACERDA-FILHO, 2004). O clima é tropical úmido, com curto período de seca que se estende de maio a agosto. A precipitação média anual é elevada, variando entre 1800 a 2200 mm, com maior intensidade nos meses de janeiro, fevereiro e março, e temperatura média anual de 24° C (INMET, 2015).

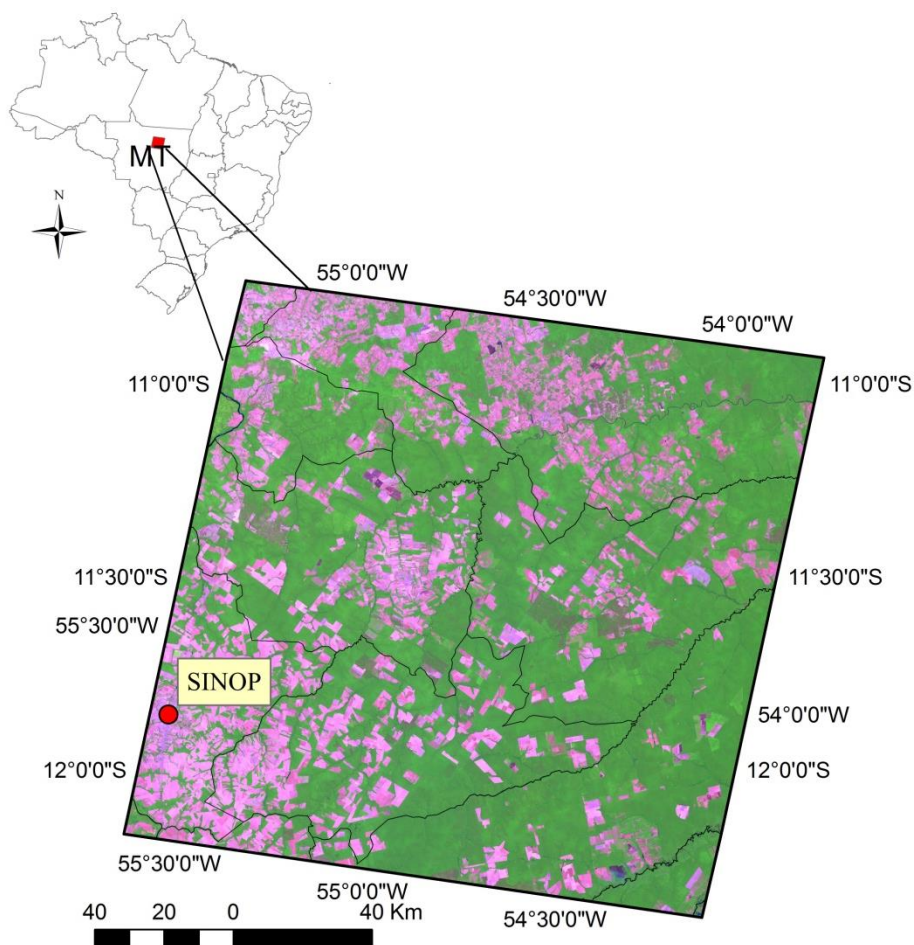


Figura 3.1 – Localização da área de estudo (Órbita/Ponto 226/68 do sensor TM/Landsat, ano 2011) no estado do Mato Grosso: Sinop e região (MT)

O surgimento e povoamento dessa área de estudo foram associados à abertura da rodovia BR-163 e aos projetos de colonização e agropecuários⁶, com atuação de empresas privadas do Sul e Sudeste do país, em parceria com o governo (TEIXEIRA, 2006). Sinop e os municípios em seu entorno resultaram do processo de Colonização Dirigida, que é um modelo de colonização comercial adotado pelo governo, caracterizada pela venda de terras a empresas colonizadoras (TEIXEIRA, 2006). Como descrito no Plano de

⁶ O governo visava promover a ocupação do que chamavam de “vazios demográficos” por meio de absorção dos excedentes populacionais que faziam pressão no centro-sul do país e no nordeste, encaminhando-os para áreas que produziam matérias-primas e gêneros alimentícios a baixo custo.

Desenvolvimento Regional Sustentável para a Área de Influência da Rodovia BR-163 Cuiabá/Santarém:

O Estado de Mato Grosso ocupou posição privilegiada no processo de ocupação da Amazônia, pois foi contemplado com recursos de praticamente todos os programas governamentais. Por isso, constituiu-se em área preferencial da implantação de projetos de colonização privada do País. Calcula-se que mais de 90% dos projetos particulares de colonização, em nível nacional, foram implantados nesse estado nesse período. Seus compradores vieram principalmente do Centro-Sul do País... A frente de expansão era composta basicamente...de empresários do Centro-Sul e de grupos transnacionais. (Brasil 2005b), pág. 14.

Com a orientação da empresa Colonizadora Sinop S.A (Sociedade Imobiliária Noroeste do Paraná), foi criada na atual região de Sinop, a Gleba Celeste com cerca de 500.000 ha. A empresa controlava a venda de lotes, e realizava a publicidade para atrair compradores, principalmente proprietários rurais capitalizados e investidores do Sul do país (CUNHA, 2011). Nesta área, foram estabelecidas estradas vicinais, centros comunitários, escolas e parte da infraestrutura necessária ao desenvolvimento de municípios (BRASIL, 2005; SOUZA, 2012). Esses núcleos urbanos são atualmente conhecidos como Sinop, Vera, Santa Carmem e Cláudia. Sinop emancipou-se no ano de 1980, Cláudia e Vera no ano de 1990 e Santa Carmem nos anos 2000 (RAVACHE, 2013).

Durante o processo de colonização da Amazônia, que se fortaleceu a partir de 1970, os aportes financeiros se concentraram na região entre o norte do estado do Mato Grosso até a divisa entre os estados do Maranhão e Pará (MARGARIT, 2012). Nessa região iniciou-se a produção de *commodities* cuja meta era ingressar no mercado internacional com preço e qualidade competitivos (RAVACHE, 2013). Como resultado:

A região Centro-Norte do Estado de Mato Grosso formou-se como uma região tipicamente caracterizada pela presença de grandes projetos agropecuários, por áreas de posseiros regularizadas ou não pelo INCRA, por projetos privados de colonização... Nela se impôs a lógica da articulação entre as empresas de colonização particulares e os colonos, de um lado, e do outro, a expansão das empresas agropecuárias... A terra ocupada pelos índios e/ou pelos posseiros, foi tomada pelos latifundiários para formar as fazendas, em um processo de obtenção da terra estribado na “grilagem legalizada” (Brasil 2005b), pág 15.

O desenvolvimento da região também foi indiretamente beneficiado pela atividade garimpeira, pois Sinop era rota para regiões de garimpo como Paranaíta, Alta Floresta e Peixoto de Azevedo (RAVACHE, 2013). Os recursos extraídos do garimpo em cidades vizinhas ajudaram a financiar o desenvolvimento de Sinop, com a vantagem de não ser afetada por problemas sociais e ambientais tipicamente associados à atividade garimpeira, tais como violência, disseminação de doenças e degradação ambiental.

O perfil típico do migrante em Sinop na década de 80 foi do tipo familiar, inseridos predominantemente na atividade agropecuária, na indústria de madeira e na prestação de serviços (CUNHA, 2011). Com esse perfil de população, o trabalho realizado na região foi convertido em investimento para o desenvolvimento de atividades econômicas, a exemplo da indústria madeireira que ampliou sua área de atuação para o beneficiamento da madeira e indústria de móveis (CUNHA, 2011).

Em Sinop, a expansão da atividade madeireira ocorreu articulada aos processos de colonização dirigida e de expansão das empresas agropecuárias (BRASIL, 2005). Assim, a expansão da atividade madeireira na década de 70 em Sinop teve uma relação com a redução dos estoques madeireiros nos estados do Sul, Espírito Santo e Bahia, e uma relação com os incentivos governamentais aos projetos agropecuários.

“...o grande projeto para a região (Amazônica) não foi traçado para madeiras, elas contemplam uma primeira fase da investida capitalista regional, que acontece através do aproveitamento econômico das árvores, para em seguida realizarem a entrada das monoculturas da agropecuária.” (Picoli 2004), pág 16

Na década de 90, a indústria agropecuária começou a se desassociar da atividade madeireira em Sinop e região, por algumas razões (Brasil 2005b): 1) o empreendedor agropecuário começa a se capitalizar e se estabelecer, dependendo cada vez menos da venda da madeira para financiar sua atividade; 2) ao mesmo tempo em que a indústria madeireira se estabelece, e precisa de fontes mais seguras de matéria-prima florestal. Associado a esses dois fatores, a partir da década de 90, foi criada uma legislação mais específica para a exploração da madeira, incluindo a exigência legal do manejo florestal ⁷.

O histórico de atividade madeireira nessa região de estudo é de mais de 30 anos, com a intensificação da instalação da indústria madeireira na década de 1980 (PICOLI, 2004), caracterizando a região como uma antiga fronteira madeireira (PEREIRA et al., 2010). Com esse histórico, muitas madeiras migraram principalmente para o noroeste do Mato Grosso, sul do Amazonas e sudoeste paraense, com destaque para Novo Progresso e Castelo dos Sonhos (BRASIL, 2005; PICOLI, 2004; RIBEIRO, 2008).

⁷ Sequência Cronológica da criação de leis/decretos/instruções normativas regulamentando a exploração da madeira (não incluído a legislação específica para mogno, virola e araucária):

- Decreto nº 1.282, de 19 de outubro de 1994 - dispõe sobre a exploração das florestas das florestas primitivas e demais formas de vegetação arbórea na Amazônia, regulamentando os artigos 15, 19, 20 e 21 da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 (Código Florestal);
- Portaria IBAMA nº 48, de 10 de julho de 1995 - regulamenta o Decreto nº 1.282/94, disciplinando a exploração florestal na bacia amazônica;
- Portaria IBAMA nº 48, de 10 de julho de 1995 - regulamenta o Decreto nº 1.282/94, disciplinando a exploração florestal na bacia amazônica;
- Decreto nº 2.788, de 28 de setembro de 1998 - altera os artigos 1º, 2º, 3º, 5º e 6º do Decreto nº 1.282/94, dando-lhes novas redações;
- Instrução Normativa nº 4-MMA, de 28 de dezembro de 1998 - regulamenta o manejo florestal comunitário, fixando seus critérios e parâmetros para a bacia amazônica;
- Instrução Normativa nº 5-MMA, de 28 de dezembro de 1998 - regulamenta o manejo florestal simplificado nas pequenas e médias propriedades rurais na região amazônica;
- Instrução Normativa nº 6-MMA, de 28 de dezembro de 1998 - regulamenta o manejo florestal em escala empresarial na bacia amazônica;
- Instrução Normativa nº 4-MMA, de 4 de março de 2002, regulamenta os planos de manejo florestal sustentável de uso múltiplo em escala empresarial, pequena escala, comunitário e em floresta de palmeiras;
- Instrução Normativa nº 17-MMA, de 27 de fevereiro de 2004 - dispõe sobre a exportação de produtos e sub-produtos madeireiros oriundos de florestas naturais e plantadas, nativas e exóticas;

Contudo, a região ainda é um dos principais pólos madeireiros da Amazônia, e Sinop é considerada a Capital da Madeira devido à agregação de valor ao produto florestal, melhoria da tecnologia empregada na remoção de árvores e no processamento da madeira (PEREIRA et al., 2010). Atualmente, nos municípios de Vera, Santa Carmem e Cláudia ainda predominam, basicamente, a atividade de extração de madeira, enquanto que Sinop, beneficiada pela proximidade com a BR-163, desenvolveu também um parque industrial, e aprimorou a prestação de serviços (TEIXEIRA, 2006).

A paisagem da área de estudo é caracterizada por um mosaico de áreas urbanas, áreas de floresta e terras agrícolas. Em 2008, a área de estudo apresentava 4.000 km² de agricultura anual e 3.300 km² de pastos produtivos (INPE; EMBRAPA, 2010). A região possui elevada produtividade agroindustrial, devido ao cultivo de soja, milho, arroz e algodão, e também devido à modernização da pecuária (BRASIL, 2005).

3.2 Área de estudo 2 – Novo Progresso (PA): caracterização da vegetação, breve histórico de ocupação e caracterização da paisagem

O município de Novo Progresso, localizado no sudoeste do estado do Pará (PA), abrange uma área de mais de 38.000 km² (IBGE, 2010b) (Figura 3.2). A vegetação natural é caracterizada predominantemente pela formação Floresta Ombrófila Densa, com árvores que podem atingir 50m de altura e biomassa média de 281 Mg ha⁻¹, podendo ser encontradas, em menor proporção, savanas amazônicas (BRASIL, 2008; VIEIRA et al., 2004). Em termos geológicos predominam as unidades litológicas do proterozóico, caracterizado por terrenos irregulares (VASQUEZ, 2008). O clima é quente e úmido, com precipitação anual variando entre 1800 a 2800 mm, e estações definidas como chuvosa (janeiro a julho) e seca (agosto a dezembro).

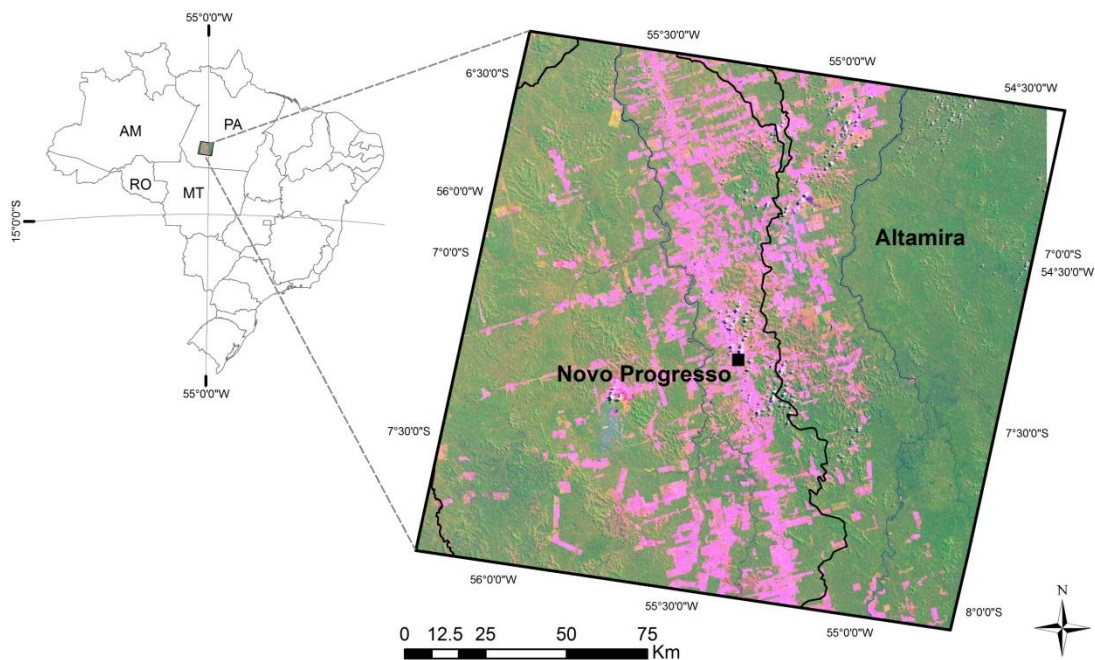


Figura 3.2 – Localização da área de estudo (Órbita/Ponto 227/65 do sensor TM/Landsat, ano 2011) no estado do Pará: Novo Progresso e região

Aproximadamente 70% (18.858 km²) da área de estudo são destinadas à terra indígena e às unidades de conservação, estando também na área de influência do Distrito Florestal Sustentável da BR-163 (DSF-163). O DFS-BR 163 é o primeiro distrito florestal criado na Amazônia como um projeto piloto para a implantação de um programa de desenvolvimento com base florestal (BRASIL, 2006a). Entre os objetivos deste programa está a concessão de terras públicas para projetos de manejo florestal sustentável.

Assim como Sinop, no estado do Mato Grosso, Novo Progresso teve seu surgimento associado aos projetos de colonização do governo e à abertura dos eixos rodoviários, especialmente a construção da rodovia BR-163. No entanto, em Novo Progresso, assim como em toda a porção sudoeste do Pará, na área de influência da BR-163, observou-se na década de 70 e 80 um fenômeno tipicamente associado à colonização espontânea (IPAM, 2006; PINHEIRO, 2010). O processo de ocupação em Novo Progresso foi caracterizado principalmente pela ocupação ilegal de terras por pequenos produtores

agrícolas, que praticam uma agricultura de subsistência, ou garimpeiros dos aluviões de ouro. A colonização espontânea ainda é a principal forma de ocupação das terras da União na região (IPAM, 2006).

A atividade garimpeira na região teve início nos anos 50, com a extração manual em depósitos de ouro aluvial (MARGARIT, 2012). Com a introdução de novas técnicas, como a dragagem de rios e o desmonte hidráulico, a produção aumentou significativamente, transformando o sudoeste do Pará em grande centro de produção de ouro e também de atração populacional (BEZERRA; VERÍSSIMO; UHL, 1996). A partir da década de 80, os fluxos migratórios se intensificaram devido às atividades extrativistas do ouro (ORAVEC, 1998), culminando na emancipação do município em 1991 (OLIVEIRA, 2011).

Embora a riqueza produzida na mineração artesanal de ouro seja alta, essa atividade não foi decisiva para o desenvolvimento econômico e social em Novo Progresso. Segundo Bezerra et al. (1996), a mineração artesanal é tipicamente uma atividade de baixa capacidade de fixação populacional, pois as populações movem-se para novas áreas à medida que os garimpos são exauridos. No caso de Novo Progresso, Bezerra et al (1996) afirmam que parte do capital da atividade foi enviado para as regiões de origem dos garimpeiros, ou utilizado para financiar a conversão de floresta em pastos ou áreas agrícolas.

A partir de meados dos anos 90, observa-se em Novo Progresso um aumento populacional, 15.568 habitantes em 1996 (IBGE, 1996) para 24.948 habitantes em 2000 (IBGE, 2000), e aumento progressivo de madeiras (GAVLAK, 2011). A causa deste novo ciclo migratório está relacionada à especulação em antecipação à pavimentação da rodovia BR-163, a expansão da soja, enquanto as causas da expansão da atividade madeireira incluem a disponibilidade de madeira em terras devolutas e a existência de espécies florestais de elevado valor comercial (VERÍSSIMO; LIMA; LENTINI, 2002). Assim como outras regiões da Amazônia, como o noroeste do Estado de Mato Grosso e o sudeste

do Estado do Amazonas, Novo Progresso é classificado como uma fronteira madeireira em expansão, com menos de 20 anos de história de exploração, representando um importante polo madeireiro da Amazônia (PEREIRA et al., 2010).

Dados oficiais indicam que Novo Progresso encontra-se na 11^a posição entre os municípios da Amazônia Legal líderes em desmatamento por corte raso para o ano de 2014, sendo considerada região prioritária de ações de fiscalização e prevenção ao desmatamento. Embora o IBAMA (Instituto Brasileiro Meio Ambiente) tenha base permanente nessa localidade desde 2007, há dificuldade na aplicação das penas previstas e controle do desmatamento, devido a dificuldade em se detectar o responsável pela infração ambiental. Aproximadamente 15% (5723 km²) das florestas do município foram convertidas para outros tipos de cobertura do solo até 2014 (INPE, 2014), principalmente para a criação de gado (INPE; EMBRAPA, 2010), sendo esta a principal atividade econômica desenvolvida na região (IBGE, 2010b).

Segundo o IPAM (2006), as políticas ambientais governamentais recentes foram importantes para induzir a mobilização do setor madeireiro à adequação às leis em Novo progresso. Contudo, a madeira extraída é predominantemente ilegal, tem pouco valor agregado, baixa mão-de-obra especializada e tem sido utilizada para acumular capital sem investimento nos seus sistemas produtivos (IPAM, 2006). Esses fatores dão um caráter transitório e insustentável à atividade.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

A Tabela 4.1 apresenta a lista de dados utilizados neste trabalho, indicando tipo, ano e fonte. A seguir encontra-se uma descrição das imagens utilizadas, da aquisição e tratamento dos dados de desmatamento, e, na seção 4.4, o método de coleta de dados de campo.

Tabela 4.1 – Lista de dados utilizados

Dados	Tipo	Ano	Fonte
Imagens Landsat TM/ETM+ (226/68; 22765)	matricial	1984-2011	Catálogo de imagens do Serviço Geológico Americano (USGS, <i>United States Geologic Survey</i>), nível de correção: Level 1 Terrain, ortorretificadas, exatidão superior a 0,8 pixel
Dados temáticos de desmatamento por corte raso	Vetor - polígono	1984-2011	Projeto PRODES: período 2000-2011 Interpretação utilizando mesma metodologia PRODES: período 1984 - 1999
Limites municipais	Vetor - polígono	2010	IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística)
Hidrografia	Vetor - linha	2003	Departamento Nacional de Águas e Energia e Projeto PRODES
Unidades de Conservação	Vetor - polígono	2015	Instituto Chico Mendes (ICMBio)
Terras Indígenas	Vetor - polígono	2010	Fundação Nacional do Índio (FUNAI)
Assentamentos Humanos e sustentáveis	Vetor - polígono	1990, 2000	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA)
Localização de planos de manejo florestal sustentável	Vetor – pontos e polígonos	2007-2014	Banco de dados da Secretaria de Meio Ambiente (SEMA)
Localização de degradação florestal	Vetor - pontos	2014	Coleta em campo

4.1.1 Imagens TM/Landsat

Foram utilizadas séries temporais de imagens TM/Landsat da órbita/ponto 227/65 para o mapeamento da degradação florestal em Novo Progresso (PA) (Tabela 4.2) e da órbita/ponto 226/68 para o mapeamento da degradação florestal de Sinop (MT) (Tabela 4.3). A análise temporal compreendeu o período de 1984 a 2011. As imagens TM/Landsat foram adquiridas no banco de imagens do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, *United States of Geological Survey*) (USGS, 2015). As imagens são obtidas previamente ortorretificadas e radiometricamente corrigidas.

Foram selecionados imagens dos meses de junho a setembro, pois durante este período (estação seca) a probabilidade de aquisição de imagens com baixa cobertura de nuvens é maior na região. Nos casos de ausência de imagens com baixa cobertura de nuvens, utilizaram-se um conjunto de imagens para a detecção da degradação florestal.

Tabela 4.2 - Lista das imagens TM/Landsat de órbita ponto 227/65 utilizadas no mapeamento da degradação florestal em Novo Progresso, estado do Pará (PA)

Código da cena	Data	Código da cena	Data
LT52270651984189CUB00	07/07/1984	LT52270651998211CUB00	30/07/1998
LT52270651985223CUB00	11/08/1985	LE72270651999206CUB00	25/07/1999
LT52270651986178CUB02	27/06/1986	LT52270652000249CUB00	05/09/2000
LT52270651987133CUB00	13/05/1987	LE72270652001227EDC00	15/08/2001
LT52270651988184CUB00	02/07/1988	LE72270652002182PFS00	01/07/2002
LT52270651989170CUB00	19/06/1989	LT52270652003193CUB00	12/07/2003
LT52270651990253CUB00	10/09/1990	LT52270652004180CUB00	28/06/2004
LT52270651991224CUB00	12/08/1991	LT52270652005198CUB00	17/07/2005
LT52270651992211CUB02	07/29/1992	LT52270652006217CUB00	08/05/2006
LT52270651993213CUB00	08/01/1993	LT52270652007172CUB00	21/06/2007
LT52270651994216CUB00	04/08/1994	LT52270652008207CUB00	25/07/2008
LT52270651995187CUB00	06/07/1995	LT52270652009193CUB00	12/07/2009
LT52270651996222CUB00	09/08/1996	LT52270652010212CUB01	31/07/2010
LT52270651997176CUB02	25/06/1997	LT52270652011215CUB00	03/08/2011

Tabela 4.3 - Lista das imagens TM/Landsat de órbita ponto 226/68, utilizadas no mapeamento da degradação florestal em Sinop, estado do Mato Grosso (MT)

Código da cena	Data	Código da cena	Data
LT52260681984198CUB01	16/07/1984	LT52260681998188CUB00	07/07/1998
LT52260681984102CUB00	11/04/1984	LT52260681999223CUB00	11/08/1999
LT52260681984230CUB00	17/08/1984	LT52260682000146CUB00	25/05/2000
LT52260681985200CUB00	19/07/1985	LE72260682001220PFS00	04/05/2001
LT52260681986219XXX03	08/07/1986	LE72260682002191CUB00	10/07/2002
LT52260681987206CUB00	25/07/1987	LT52260682003186CUB00	05/07/2003
LT52260681988193CUB00	11/07/1988	LT52260682004253CUB01	09/09/2004
LT52260681989259CUB00	16/09/1989	LT52260682005191CUB00	10/07/2005
LT52260681990278CUB00	10/05/1990	LT52260682005159CUB02	08/06/2005
LT52260681991233CUB00	21/08/1991	LT52260682006226CUB00	14/08/2006
LT52260681992204CUB01	22/07/1992	LT52260682007213CUB01	01/08/2007
LT52260681993238CUB00	26/08/1993	LT52260682008200CUB01	18/07/2008
LT52260681994193CUB00	12/07/1994	LT52260682009186COA01	05/07/2009
LT52260681995228CUB00	16/08/1995	LT52260682010173CUB01	22/06/2010
LT52260681996183CUB01	01/07/1996	LT52260682011224COA01	12/08/2011
LT52260681997217CUB00	05/08/1997		

4.1.2 Dados de desmatamento

O mapeamento anual do desmatamento por corte raso, fornecido pelo Sistema de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES) (INPE, 2014), foi utilizado para excluir as áreas desmatadas (a unidade mínima de mapeamento do PRODES é 6,25 ha), as áreas de não-floresta (savanas e campos) e os corpos d'água. Este dado está disponível a partir do ano 2000.

Para os anos anteriores a 2000, para os quais não há dados atualizados do PRODES, foram criados os mapas de desmatamento, utilizando a metodologia PRODES descrita em Câmara et al. (2013). Para manter a consistência entre ambos os conjuntos de dados, utilizou-se a máscara de floresta PRODES do ano de 2000. Dessa forma, todo o mapeamento da degradação florestal produzido neste estudo foi restrito a área de floresta, de acordo com a definição PRODES.

4.1.3 Aplicativos

Para armazenamento e análise de dados espaciais, utilizaram-se os sistemas SPRING 5.2 (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) (CÂMARA et al., 1996) e TerraView 4.1.0 (INPE, 2010). Para a mineração de dados espaciais, utilizou-se o sistema *Geographic Data Mining Analyst*, GeoDMA (KORTING et al., 2008).

4.2 Métodos

Este estudo foi conduzido seguindo as etapas principais apresentadas na Figura 4.1. O estudo iniciou-se com o mapeamento anual de indícios de degradação florestal (i.e., cicatriz de fogo florestal, trilhas de arraste de madeira), que foram validados com dados de campo. Em seguida, esse mapeamento foi agregado em células de 1 km², e utilizados para a análise interanual da degradação florestal. O mapeamento de degradação florestal também foi utilizado para identificar os padrões de degradação florestal utilizados na fase de mineração de dados espaciais. A mineração de dados inclui as seguintes subetapas: extração de métricas da paisagem, treinamento e classificação anual de padrões de degradação florestal. Ao final da fase de mineração de dados, realizou-se a validação da classificação de padrões de degradação florestal. Com base na classificação anual de padrões, construíram-se as trajetórias de degradação florestal. Essas etapas descritas serão detalhadas nas seções seguintes.

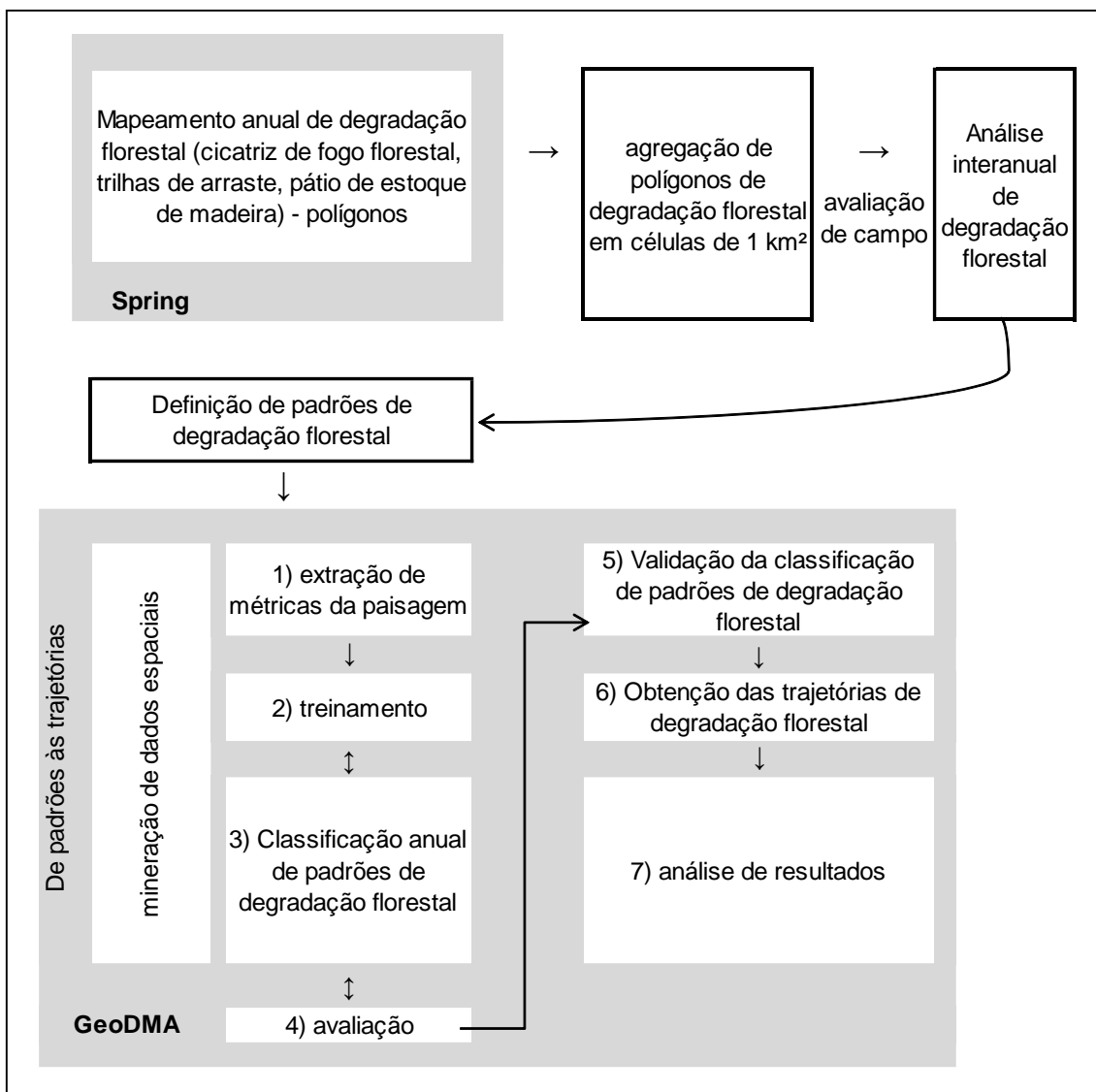


Figura 4.1 – Fluxograma descritivo das principais etapas metodológicas do estudo

4.2.1 Mapeamento anual de degradação florestal

Como descrito anteriormente, o presente estudo adota o conceito de degradação florestal utilizado pelo Sistema DEGRAD, que considera “O processo de perda da cobertura florestal pelo efeito da exploração madeireira e fogo florestal, de pelo menos 6,25ha da cobertura florestal, que não se qualifique como desflorestamento pelo Sistema PRODES”. O mapeamento da degradação florestal foi realizado seguindo as etapas demonstradas na Figura 4.2. Cada subetapa apresentada no fluxograma será detalhada a seguir.

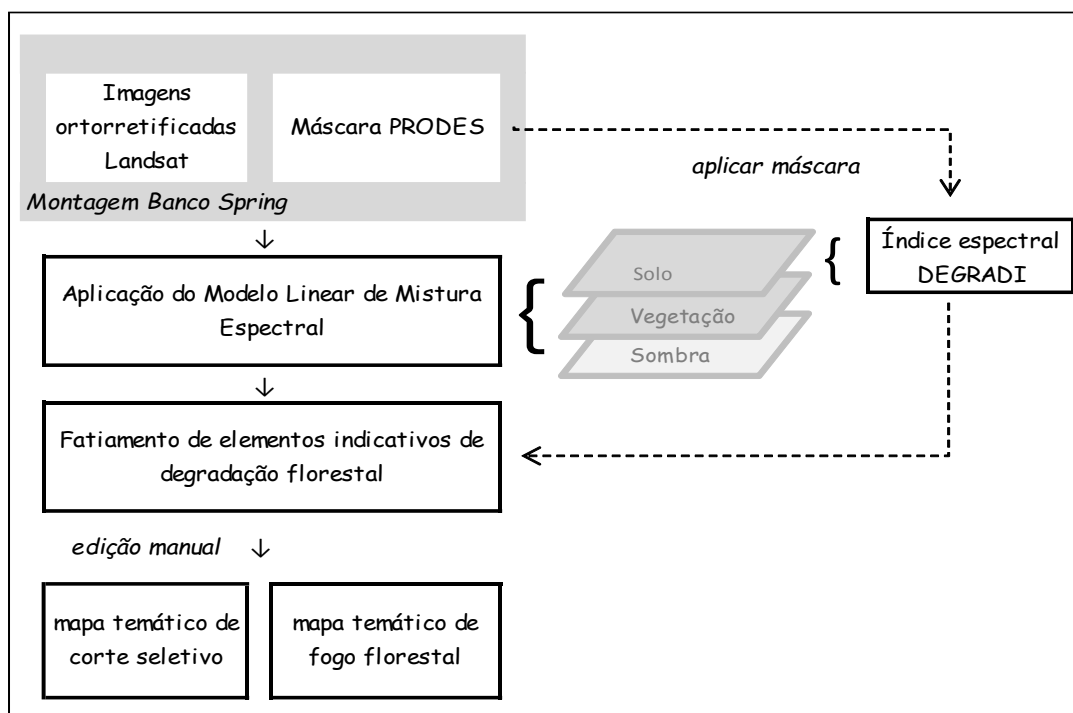


Figura 4.2 – Fluxograma descritivo do mapeamento anual da degradação florestal

O Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) foi aplicado para decompor as bandas originais do sensor TM/Landsat em imagens fração solo, vegetação e água/sombra. O MLME estima a abundância dos componentes solo, vegetação e água/sombra dentro de cada pixel utilizando as assinaturas espectrais dos protótipos denominados pixels puros ou *endmembers* (SHIMABUKURO; SMITH, 1991). O MLME foi criado utilizando o sistema SPRING 5.1.8 (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) (CÂMARA et al., 1996) e pode ser descrito por:

$$r_i \equiv a * vege_i + b * solo_i + c * sombra_i + e_i \quad (4.1)$$

onde r_i é a resposta do pixel na banda i da imagem; a , b e c são proporções de vegetação, solo e sombra/água que compõem o pixel; $vege_i$, $solo_i$ e $sombra_i$ correspondem às respostas espectrais de cada uma das componentes citadas; e e_i é o erro de estimação intrínseco para cada banda i .

Três bandas do sensor TM/Landsat foram utilizadas no MLME: vermelho (banda 3; 0,63-0,69 μm), infravermelho próximo (banda 4; 0,76-0,90 μm) e infravermelho médio (banda 5; 1,55-1,75 μm). Os três componentes básicos (água/sombra, vegetação e solo) podem ser espectralmente separados usando essas três bandas (GLFC, 2014). Os pixels puros foram coletados diretamente na imagem e suas assinaturas espectrais foram comparadas às curvas de reflectância espectral típicas dos três componentes básicos (Figura 4.3). Esse processo foi repetido para cada imagem. Os pixels representativos de solo, vegetação e á

gua/sombra foram coletados em estradas, em pastagens fotossinteticamente ativas/cultivos agrícolas e corpos d'água sem sedimentos, respectivamente (ANDERSON et al., 2005; SOUZA; ROBERTS; COCHRANE, 2005).

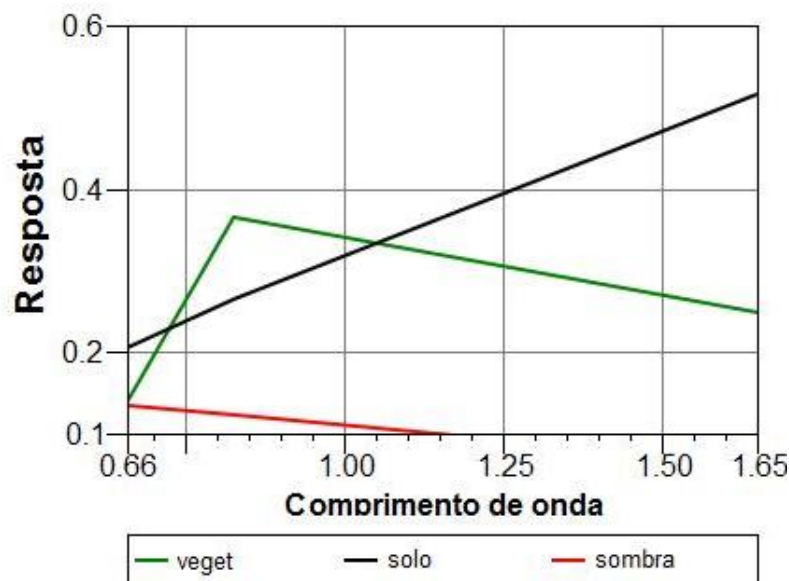


Figura 4.3 – Curva de reflectância dos pixels puros de referência (Espectro derivado da cena TM/Landsat de código LT52270652005198CUB00, ver Tabela 4.2)

Posteriormente, um índice espectral sensível à degradação florestal causada por extração de madeira e fogo florestal foi calculado utilizando a relação entre as imagens-fração solo e vegetação resultantes do MLME. Este índice, denominado DEGRADI (Índice de Degradação), é utilizado no monitoramento

da degradação florestal na Amazônia (INPE, 2008a), e é baseado no pressuposto de que o alto contraste espectral entre as imagens-fração solo e vegetação destaca os principais descritores da extração seletiva de madeira e do fogo florestal facilitando sua detecção. O índice DEGRADI é descrito por:

$$DEGRADI = G * \frac{IS}{IV} + Off \quad (4.2)$$

onde DEGRADI é o Índice Espectral de Degradação Florestal, G é o ganho, IS é a imagem fração solo, IV é a imagem fração vegetação, e Off é o offset (O ganho e offset valores foram aplicados de forma interativa para maximizar a visibilidade dos elementos na imagem).

Com base nas imagens resultantes do índice espectral DEGRADI, uma técnica semiautomática foi aplicada para o mapeamento anual da degradação florestal. Foram utilizados as trilhas de arraste, pátios de estoque de madeira como indicadores de atividade de extração de madeira e cicatriz de fogo como indicador de fogo florestal. Primeiramente, esses indicadores foram mapeadas utilizando a técnica de fatiamento implementada na linguagem LEGAL (APÊNDICE B) do SPRING (CÂMARA et al., 1996). Essa técnica identifica o intervalo de valores correspondente ao alvo de interesse, transformando-o em uma imagem temática classificada. O intervalo de valores de nível de cinza foi ajustado, empiricamente, para cada ano (imagem). Como resultado, obteve-se o mapeamento temático, na forma de polígonos, que representam a ocorrência de fogo florestal e floresta explorada por corte de madeira.

Para obter o resultado final, realizou-se a interpretação visual do mapeamento temático para distinguir floresta explorada e floresta queimada, pois essas classes não são espectralmente separáveis. Utilizaram-se as características espaciais das cicatrizes de fogo florestal, em geral faixas brilhantes de aspecto cônico, para identificar as florestas queimadas (GRAÇA, 2006; VASCONCELOS et al., 2013). Estas faixas se formam com a propagação do fogo na vegetação em chamas para a vegetação que ainda não queimou (ALMEIDA; MACAU, 2011).

4.2.2 Análise interanual de degradação florestal

A extensão de área de degradação florestal apresentada neste trabalho é calculada em células e não em polígonos. Considerando que há um efeito colateral das árvores exploradas sobre as árvores não exploradas (JOHNS; BARRETO; UHL, 1996), parte-se da premissa que a área de célula representa melhor a floresta afetada pela degradação, do que os polígonos que somente indicam a degradação visível na imagem TM/Landsat.

Para a análise interanual de extensão (Km²) de degradação florestal seguiu-se o método proposto por Matricardi et al. (2005). De acordo com esse método, a extensão anual de degradação florestal considera apenas a área de degradação florestal que não foi detectada em mapeamentos de anos anteriores. Por exemplo, para o cálculo de extensão de degradação florestal do ano de 1985, realizou-se a operação de união com o dado de degradação florestal de 1984. A extensão de degradação florestal de 1985 foi, portanto, calculada pelo número de células de degradação florestal que não foi detectada em 1984.

Esse princípio foi aplicado sequencialmente para todos os anos de análise, até 2011 e, assim, as áreas degradadas que tinham sido previamente detectadas no ano anterior foram consideradas apenas uma vez no cálculo da extensão da degradação (com exceção de 1984, para o qual não está disponível dados dos

anos anteriores). Esse método visou evitar superestimativas da área de degradação florestal devido à revisita/recorrência de eventos associados à degradação florestal em um mesmo local.

Como explicado anteriormente, a revisita ou recorrência de degradação florestal foi definida como a floresta explorada ou queimada que regenerou o suficiente para se tornar indetectável nos anos seguintes até que ocorra uma nova detecção a partir do surgimento de evidências de atividade madeireira ou fogo florestal. A extensão total da degradação florestal durante o período de análise (1984-2011) consistiu, portanto, na união do dado anual de degradação florestal, operação que desconsidera sobreposições.

4.3 Do padrão à trajetória

Um dos principais objetivos desse estudo foi a detecção de padrões de degradação florestal e a análise das trajetórias associadas. Dado o extenso conjunto de dados de imagens, utilizou-se o sistema de mineração de dados espaciais GeoDMA (*Geographic Data Mining Analyst*) (KORTING et al., 2008). O processo de mineração de dados no GeoDMA é apresentado na Figura 4.4. Em linhas gerais, o GeoDMA utiliza amostras (células) de padrões previamente definidos, para gerar uma árvore de decisão com as métricas que melhor discriminam esses padrões. Essa árvore de decisão é, então, utilizada para classificar o conjunto de células nos diferentes padrões. Esse processo é detalhado a seguir.

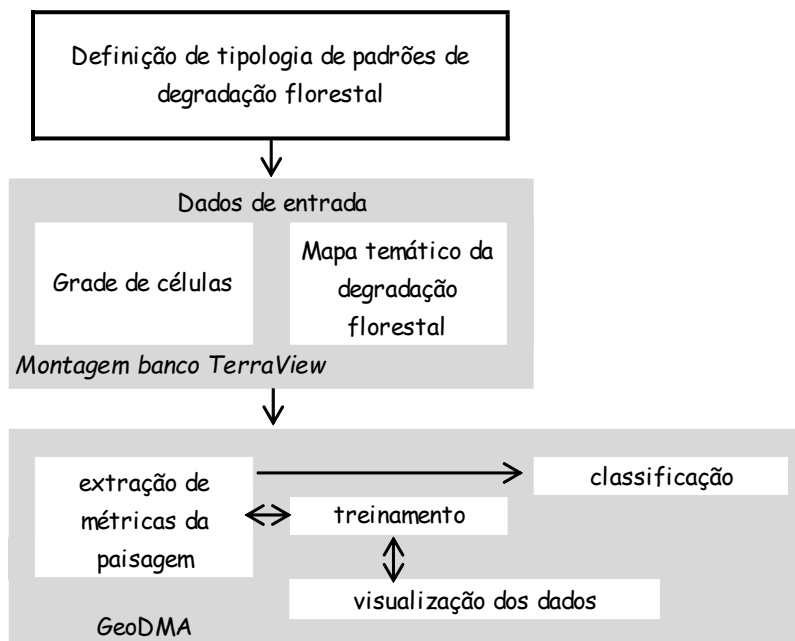


Figura 4.4 – Fluxograma com as principais etapas para a classificação de padrões de degradação florestal com técnica de mineração de dados

4.3.1 Definição da tipologia de padrões de degradação florestal

A primeira fase da classificação consiste na criação de uma tipologia espacial de padrões para cada área de estudo. Nesse estudo, foi proposta uma tipologia de padrões associada à intensidade de degradação florestal. A tipologia de padrões de intensidade de degradação florestal foi definida com base no mapeamento de degradação florestal entre 1984-2011 para Sinop (MT) e Novo Progresso (PA). Na tipologia, os padrões de degradação florestal foram associados aos principais processos que promoveram as alterações na cobertura florestal.

Nesse estudo, os padrões foram definidos em células. A representação por células foi escolhida por ser mais adequada para representar esse fenômeno, pois os efeitos do fogo e da exploração madeireira que causam a degradação florestal, extrapolam a área detectada pelas imagens de satélite provocando danos colaterais na floresta que vão além das árvores selecionadas para corte e/ou das áreas queimadas.

A resolução espacial de 1x1 km da célula foi estabelecida empiricamente, considerando os seguintes parâmetros: a área média dos pátios de estocagem (380 m², máximo: 750 m², mínimo: 120 m²) e a distância média entre eles (460 m, máximo: 989 m, mínimo: 230 m) (PANTOJA; VALERIANO; SOARES, 2011); o tamanho típico das unidades de manejo florestal (*i.e.* a subdivisão da floresta manejada em lotes para facilitar o manejo florestal), que é de 1x1 km (SABOGAL et al., 2000); e o resultado de estudos anteriores que utilizaram a célula de 1x1 km para a análise de padrão de degradação florestal, que mostrou ser adequado para a representação de padrões de degradação florestal (PINHEIRO; ESCADA, 2013; SATO et al., 2011).

Os padrões de degradação florestal observados em Novo Progresso (PA) e em Sinop (MT) podem ser observados na Tabela 4.4 e Tabela 4.5, respectivamente. Neste trabalho, analisaram-se apenas os principais padrões de degradação florestal, e portanto, não foi estabelecido um padrão para fogo florestal em Novo Progresso, que teve pequena área de ocorrência. Embora os padrões definidos para Novo Progresso e Sinop sejam semelhantes em termos espaciais, os processos que causaram tais padrões são distintos. Por essa razão, mantiveram-se tipologias distintas para cada área de estudo.

A intensidade de degradação florestal foi arbitrariamente escalonada para valores que variaram entre 0 e 1. O aumento do índice de degradação florestal indica aumento de degradação devido aos efeitos da área. Valores próximos de 0, portanto, indicam baixos níveis de degradação da floresta, enquanto aqueles mais próximos de 1 indicam altos níveis de degradação da floresta, onde 0 é a floresta sem degradação e 1 é corte raso. Esse escalonamento em valores quantitativos visou apenas facilitar a manipulação e análise de degradação florestal.

Tabela 4.4 - Tipologia de padrão de intensidade de degradação florestal para a área de estudo Novo Progresso (PA)

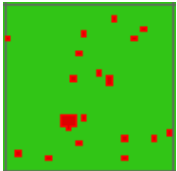
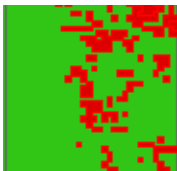
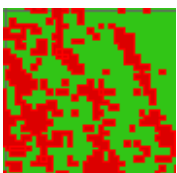
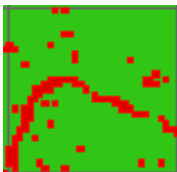
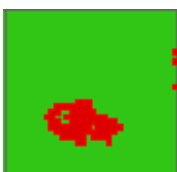

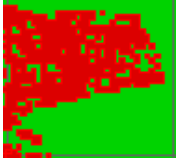
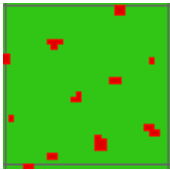
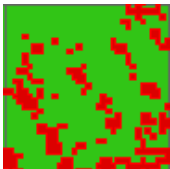
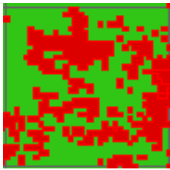
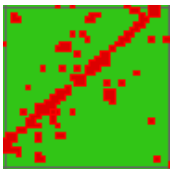
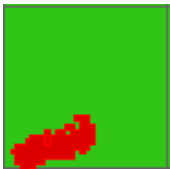
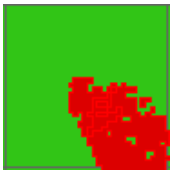
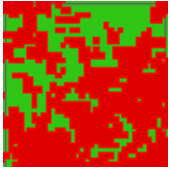
Padrão espacial	Classe de intensidade de degradação florestal	Descrição do padrão espacial	Descrição da classe	Intensidade de degradação florestal
	Degradação florestal por extração de madeira de intensidade baixa (LFD1)	Pequenas e isoladas manchas de degradação florestal	Extração de madeira altamente seletiva (1-2 espécies são extraídas).	0,2
	Degradação florestal por extração de madeira de intensidade moderada (MFD1)	Manchas de degradação florestal de densidade moderada e tamanho médio	Extração de madeira em modo extensivo (5 a 10 espécies são extraídas).	0,4
	Degradação florestal por extração de madeira de intensidade alta (HFD1)	Manchas grandes de degradação florestal	Extração de madeira em modo extensivo (>20 espécies são extraídas).	0,7
	Degradação florestal por extração de madeira de intensidade moderada (MFD3)	Pequenas e médias manchas de degradação florestal, de formato circular, pontual e linear	Associado com os padrões IFD1 e MFD1. Estradas são criadas para acessar as espécies de interesse. Configuração das estradas, pátios indica deficiência de planejamento da atividade de extração	0,5
	Degradação florestal por extração de madeira de intensidade baixa (LFD2): Extração convencional	Pequena mancha de floresta degradada	Espécies de valor comercial podem ser extraídas e comercializadas. Fogo florestal pode estar associado. Em geral, este padrão culmina no corte raso da floresta	0,3
	Degradação florestal por extração de madeira de intensidade moderada (MFD2): Extração convencional	Mancha de floresta degradada de tamanho médio	Espécies de valor comercial podem ser extraídas e comercializadas. Fogo florestal pode estar associado. Em geral, este padrão culmina no corte raso da floresta	0,6
	Degradação florestal por extração de madeira de intensidade alta (HFD2): Extração convencional	Mancha de floresta degradada de tamanho grande	Espécies de valor comercial podem ser extraídas e comercializadas. Fogo florestal pode estar associado. Em geral, este padrão culmina no corte raso da floresta	0,9

Tabela 4.5 - Tipologia de padrão de intensidade de degradação florestal para a área de estudo Sinop (MT)

Padrão espacial	Classe de intensidade de degradação florestal	Descrição do padrão espacial	Descrição da classe	Índice de degradação florestal
	Degradação florestal por extração de madeira de intensidade baixa (LFD1)	Pequenas e isoladas manchas de degradação florestal	Início de operações de extração de madeira. Pátios de estoque de madeira, em formato circular e pontual, dispostos sistematicamente na paisagem, podem ser observados.	0,2
	Degradação florestal por extração de madeira de intensidade moderada (MFD1)	Manchas de degradação florestal de densidade moderada e tamanho médio	Operações de extração de madeira em andamento. Primeiras árvores foram derrubadas	0,4
	Degradação florestal por extração de madeira de intensidade alta (HFD1)	Manchas grandes de degradação florestal	Fim das operação de extração de madeira. Desbaste de todas as árvores de interesse comercial foi realizado	0,7
	Degradação florestal por extração de madeira de intensidade moderada (MFD3)	Pequenas e médias manchas de degradação florestal, de formato circular, pontual e linear	Associado com os padrões IFD1 e MFD1. Estradas são criadas para acessar as espécies de interesse. Configuração das estradas, pátios indica planejamento da atividade de extração	0,5
	Degradação florestal por extração de madeira de intensidade baixa (LFD2): Extração convencional	Pequena mancha de floresta degradada	Espécies de valor comercial podem ser extraídas e comercializadas. Fogo florestal pode estar associado. Em geral, este padrão culmina no corte raso da floresta	0,3
	Degradação florestal por extração de madeira de intensidade moderada (MFD2): Extração convencional	Mancha de floresta degradada de tamanho médio	Espécies de valor comercial podem ser extraídas e comercializadas. Fogo florestal pode estar associado. Em geral, este padrão culmina no corte raso da floresta	0,6
	Degradação florestal por fogo florestal (HFD2)	Faixas de floresta degradada e solo exposto causado por fogo intercalado com floresta não queimada	Padrão de fogo florestal. Espécies de valor comercial podem ser extraídas antes do fogo. Em geral, este padrão culmina no corte raso da floresta	0,9

4.3.2 Classificação de padrões de degradação florestal

Após a definição da tipologia de padrões, a etapa seguinte da classificação consiste na extração de atributos, etapa na qual as métricas da paisagem são calculadas para cada célula (Figura 4.5). Como mencionado anteriormente, os dados de entrada do GeoDMA foram os polígonos de classes indicativas de degradação florestal (pátios de estoque de madeira, estradas principais e secundárias, trilhas de arraste), agregados em células, possibilitando reconhecer padrões associados à intensidade de degradação florestal, através de um conjunto de métricas da paisagem.

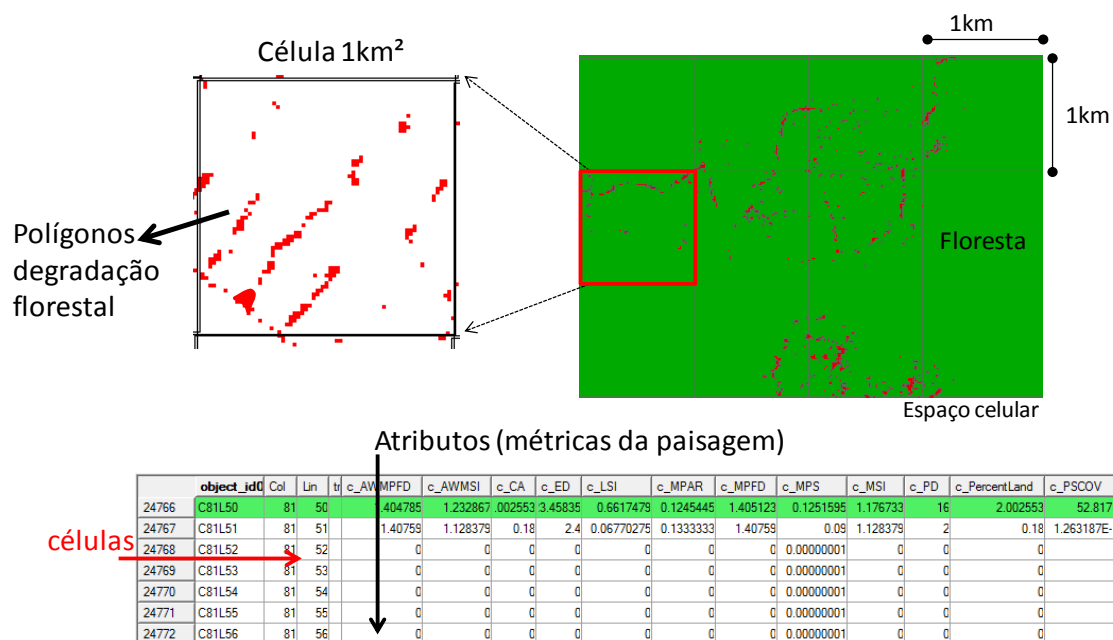


Figura 4.5 – Ilustração da extração de atributos de células no software de mineração de dados espaciais GeoDMA (*Geographic Data Mining Analyst*)

Em seguida foi criado um conjunto de treinamento para cada área de estudo, selecionando células de referência para os padrões espaciais previamente estabelecidos. Na etapa de classificação, é realizada a mineração do banco de dados por meio de um classificador por árvores de decisão, que associa o conjunto de referência aos padrões espaciais identificados nas imagens, baseado no algoritmo C4.5 (QUINLAN, 1993).

Após a classificação dos padrões de degradação florestal, a máscara PRODES com polígonos de desmatamento por corte raso foi incorporada à célula. Considerou-se como padrão de corte raso, todas as células que apresentavam ao menos 15% de área desmatada, o que representa uma área de 150.000 m². Para áreas menores que esse limiar manteve-se as coberturas da terra predominantes (i.e., floresta ou padrões de degradação florestal), conforme resultado da classificação.

Para a avaliação da classificação dos padrões de degradação florestal, selecionaram-se aleatoriamente amostras de células, para cada padrão (50 amostras em Novo Progresso e 100 amostras em Sinop). Todavia, aqueles padrões que ocorreram com menor frequência no conjunto de dados tiveram um número menor de amostras (ver seção 5.3.1 e 5.4.1, para a classificação de padrões em Novo Progresso e Sinop, respectivamente). Esse conjunto de amostras foi classificada por um foto intérprete independente (i.e., uma segunda pessoa), com base no arranjo espacial e nos atributos descritos na tipologia de degradação. Esses dados foram utilizados posteriormente na construção de uma matriz de confusão, que possibilitou estimar exatidão total, erros de comissão, omissão (CONGALTON; GREEN, 1999).

A matriz de confusão é frequentemente utilizada para descrever o desempenho de uma classificação, e expressa a concordância entre duas classificações distintas (CONGALTON; GREEN, 1999). A exatidão global, indicada pela diagonal principal da matriz de confusão, representa a proporção de amostras (células) corretamente classificadas.

Por fim, ressalta-se que o padrão HFD2, que representa o fogo florestal na área de estudo de Sinop (Tabela 4.5), não foi utilizado no processo de mineração de dados. Como HFD2 representa um padrão importante para a análise das trajetórias de degradação florestal, por indicar a ocorrência de fogo florestal, esse padrão foi classificado manualmente, de acordo com o mapeamento espectral do fogo florestal. Este procedimento foi adotado pois o

padrão espacial do fogo florestal é muito semelhante aos padrões de degradação avançada causados pela extração de madeira, e portanto o aplicativo GeoDMA não foi capaz de discriminá-los.

4.3.3 Análise de trajetórias de mudança de cobertura da terra

Para avaliar as trajetórias de mudanças, as células foram agrupadas em diferentes trajetórias de mudança da cobertura da terra, observando as sucessivas transições entre padrões de cobertura da terra (i.e., floresta, diferentes intensidades de degradação florestal e corte raso) no período de 1984 a 2011. Todas as possíveis trajetórias foram reunidas em cinco tipos de trajetórias principais, descritos na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 – Descrição das principais trajetórias de mudança de cobertura da terra para o período de 1984 a 2011 (t=tempo, t_i =t inicial, t_f =t final)

Trajetórias	Transições de cobertura da terra			Descrição
	t_i	$t_i+n \dots$	$\dots t_f$	
Persistência da floresta	Floresta	Floresta	Floresta	Floresta inalterada desde 1984
Degradação persistente	Floresta	Degradação florestal	Degradação florestal	Floresta não é convertida em corte raso depois de eventos de exploração de madeira ou fogo florestal; indica persistência da degradação florestal.
Degradação com corte raso	Floresta	Degradação florestal	Corte raso	Evento único ou múltiplos eventos de extração de madeira e/ou fogo florestal, seguido de corte raso
Corte raso	Floresta	Corte raso	Corte raso	Conversão da floresta em corte raso no prazo de 1 ano ou menos.
Desmatamento até 1984	Corte raso	Corte raso	Corte raso	Se $t=1984$, representa o desmatamento detectado até 1984

O agrupamento de trajetórias nesses cinco tipos visou responder às principais perguntas desse estudo, os quais são: 1) analisar a intensidade de degradação florestal durante a trajetória de degradação florestal; 2) identificar quais as principais trajetórias de mudança de cobertura da terra; 3) identificar quais as

principais trajetórias de degradação florestal; 4) e identificar qual é a duração de trajetórias de degradação florestal nas fronteiras madeireiras consolidadas e em expansão.

O escopo do trabalho é a análise de trajetórias de degradação florestal. Assim, a partir do momento em que uma área é classificada como desmatada por corte raso, não é feita a qualificação da cobertura e/ou uso que se desenvolveu nessa área, mesmo que tenha havido um processo de regeneração. Portanto, quando ocorre a remoção completa da cobertura florestal, considera-se que a trajetória de degradação atingiu seu último estágio e que não há retorno para condição de floresta, qualquer que seja o estado.

O termo “janela temporal” refere-se ao período da série temporal com início no ano de 1984 e fim no ano de 2011. O termo “duração de trajetórias de degradação florestal” refere-se ao tempo entre a detecção do primeiro evento de degradação até a conversão da floresta em corte raso, no caso da trajetória de degradação que convergem para corte raso (Trajetória de degradação com corte raso); e para aquelas trajetórias de degradação florestal que não convergem para corte raso (Trajetória de degradação persistente) o termo refere-se ao tempo entre a detecção do primeiro evento de degradação até o final da janela temporal. Assim, expressões como “duração da trajetória”, “persistência da floresta”, “persistência da degradação florestal”, “sem conversão”, são relativas à janela temporal de observação do estudo (1984-2011). Outros termos relacionados, como abandono e revisita, estão descritos na seção 2.1.5.

Adicionalmente, caracterizaram-se as principais transições de cobertura da terra associadas às trajetórias de degradação florestal. Para essa caracterização, agruparam-se os padrões de intensidade de degradação florestal apresentado na Tabela 4.4 e Tabela 4.5 em categorias principais, definidas de acordo com o padrão de degradação nas imagens, como intensidade baixa (0,2 – 0,3), intensidade moderada (0,4 – 0,6) e intensidade

alta (0,7 – 0,9). Esse procedimento reduziu o número de possibilidades de transições de cobertura da terra, simplificando as análises e possibilitando identificar as principais trajetórias de interesse. Em seguida, as principais transições de cobertura da terra associadas à trajetória de degradação florestal foram agrupadas em alguns tipos, tais como: i) abandono de área após a degradação e antes da conversão; ii) conversão direta após a degradação florestal; iii) número de ciclos de extração de madeira e; iv) ocorrência de eventos de fogo florestal, antes da conversão.

4.4 Coleta de dados de campo

O trabalho de campo no Mato Grosso e no Pará foi realizado em duas etapas. A primeira coleta de dados foi realizada em 2012 teve o objetivo coletar dados a partir de entrevistas com informantes-chave tendo como base um roteiro elaborado previamente. A entrevista com informantes é uma forma de aproximação ao objeto de estudo (ALBERTI, 2004). Esses informantes foram escolhidos devido à sua inserção na comunidade e/ou à sua relação com o problema em questão, fornecendo informações sobre os processos socioeconômicos subjacentes aos padrões e trajetórias de desmatamento.

A segunda coleta de dados foi realizada em 2014, e teve como objetivo principal verificar os dados de mapeamento de degradação florestal. Essas atividades são detalhadas nas seções seguintes.

4.4.1 Entrevistas

No estado do Mato Grosso, as entrevistas foram realizadas no Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais (IBAMA), na Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SEMA), no Instituto de Defesa Agropecuária do Estado de Mato Grosso (INDEA), e na Indústria Madeireira Coimal (Comércio e Indústria de Madeira Ltda). Foram entrevistados funcionários da Superintendência do IBAMA em Cuiabá (MT) e da Gerência Executiva do IBAMA, em Sinop (MT), responsáveis pela fiscalização do desmatamento. Na

SEMA de Cuiabá (MT) foram entrevistados os responsáveis pela Gerência de Exploração de Manejo Florestal e de Créditos de Recursos Florestais, que aprovam e fiscalizam áreas de manejo florestal e de exploração florestal.

O estado do Mato Grosso apresenta uma particularidade na gestão florestal em relação aos demais estados da Amazônia Legal, devido à atividade de Identificação da Madeira realizada pelo INDEA. Essa atividade consta na verificação de incongruências entre as espécies autorizadas na Guia Florestal de Transporte de Produtos Florestais⁸, emitida pela SEMA, e as espécies identificadas na carga transportada. No INDEA de Cuiabá, a entrevista foi realizada com os responsáveis pela Fiscalização dos Recursos Naturais Renováveis, que coordenam os servidores que desenvolvem a atividade de identificação de madeira.

Entrevistas também foram conduzidas na Indústria Madeireira Coimal, com sede no município de Sinop (MT) e Plano de Manejo Florestal autorizado no município de Santa Carmem (MT) (Lat:11 59'19", Long:54 44'57"). A fazenda possui área de cerca de 15.000 hectares, dividida em Unidades de Produção Anual (UPAs), com manejo iniciado no ano de 1997. Todas as UPAs exploradas encontram-se no primeiro ciclo de corte. Durante seis anos foi desenvolvido na fazenda um projeto modelo de execução e treinamento em manejo florestal, através da parceria entre Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (Senai/MT) e o Projeto Promanejo do IBAMA.

As entrevistas foram conduzidas com o engenheiro florestal responsável pelo planejamento e gerenciamento do plano de manejo, com o líder de equipe técnica responsável pela coordenação das atividades em campo e com a equipe de corte responsável pela execução das atividades de campo. A

⁸ Guia Florestal de Transporte de Produtos Florestais é o instrumento de controle obrigatório a ser utilizado por pessoas físicas e jurídicas na entrega, remessa, transporte, recebimento e estocagem ou armazenamento de matérias-primas, produtos e subprodutos florestais, madeireiros e não madeireiros, desde o local de extração ou beneficiamento até o seu destino final (Lei Complementar nº 233, de 21 de dezembro de 2005, sobre a Política Florestal do estado do Mato Grosso)

execução das atividades de corte também foi observada em campo, tais como abertura de estradas secundárias e mapeamento de árvores.

No estado do Pará, foram entrevistados o gerente executivo do IBAMA, responsável pela fiscalização do desmatamento, e o gerente de Exploração de Manejo Florestal e de Créditos de Recursos Florestais da SEMA, que gerencia as áreas de manejo florestal, ambos situado em Belém. Em Novo Progresso, as entrevistas foram conduzidas com o chefe de ações de fiscalização do IBAMA; com o ex-secretário de meio ambiente, que também é empresário da madeira na região; com o gerente da Associação dos Produtores Rurais de Novo Progresso (PRONOP); com membros da cooperativa de produtores de gado; e com membros da comunidade local (pesquisadores, moradores antigos).

Com base nas entrevistas foram obtidas informações sobre histórico de ocupação, etapas do desmatamento, atores envolvidos, desenvolvimento regional da indústria madeireira, processo para autorização de planos de manejo, espécies de árvores comercializáveis, execução de planos de manejo, e ações de prevenção do desmatamento realizado pelas entidades ambientais.

4.4.2 Avaliação do mapeamento da degradação florestal

A avaliação do mapeamento da degradação florestal foi realizada com dados de campo. A coleta de dados foi realizada entre 01–08 de agosto de 2014. A verificação do mapeamento da degradação foi conduzida por via terrestre e por sobrevoo de helicóptero (Figura 4.6). O sobrevoo é frequentemente utilizado para verificação de dados de desmatamento por corte raso e degradação florestal pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), por oferecer uma visão sinóptica da paisagem (INPE, 2015b).

Dados de degradação florestal para o mesmo período da verificação em campo foram produzidos, utilizando os mesmos indicadores espaciais e espectrais usados para detectar a degradação da floresta entre 1984–2011 (ver seção

4.1.2). Os indicadores de degradação florestal (exemplo, trilhas de arraste, pátios de estoque de madeira) podem ter regeneração rápida, podendo desaparecer em 1 ano (MATRICARDI et al., 2005), o que dificulta a utilização do mapeamento dos anos anteriores a 2014 para a avaliação. O mapeamento da degradação florestal para 2014 foi criado apenas com o propósito de verificação em campo, e, portanto, não foi utilizado nas demais análises.

Adicionalmente, foram utilizados, para a avaliação do mapeamento de degradação florestal, dados de AUTEFs, que são as autorizações para a exploração florestal emitidas pela SEMA (Secretaria de Meio Ambiente). A AUTEF especifica a unidade de produção anual (UPA), dentro dos limites especificados no Plano Operacional Anual⁹, onde é permitida a extração de madeira. No documento, consta o ano de exploração, a validade da autorização e a localização da área (APÊNDICE C), sendo um indicativo da atividade de extração de madeira. As AUTEFs são provenientes de diversos anos, a partir do ano de 2007.

As áreas das AUTEFs ativas (i.e., que possuem ano de autorização para exploração referente a 2014), assim como demais áreas de extração de madeira selecionadas com base no mapeamento de 2014, foram visitadas em campo para observação das atividades, e para registro das coordenadas GPS dos pátios de estoque de madeira, trilhas de arraste e clareiras provocadas por queda de árvores (Figura 4.7 e Figura 4.8). Dados de campo coletados pelo INPE em 2008, e disponíveis na Fototeca (INPE, 2015b), também foram utilizados para avaliar o mapeamento da degradação florestal. Estes dados são registros fotográficos geolocalizados da cobertura da terra. Assim, um total de 160 pontos de campo foram utilizados para calcular a matriz de confusão (CONGALTON; GREEN, 1999), erros de omissão e comissão.

⁹ Plano Operacional Anual (POA) indica como uma unidade de produção anual deve ser operada, incluindo um inventário florestal especificando o número de árvores a serem derrubadas, a sua localização e as espécies, e os metros cúbicos estimados de madeira em cada árvore. O POA deve ser submetido à Secretaria de Meio Ambiente (SEMA), para aprovação.

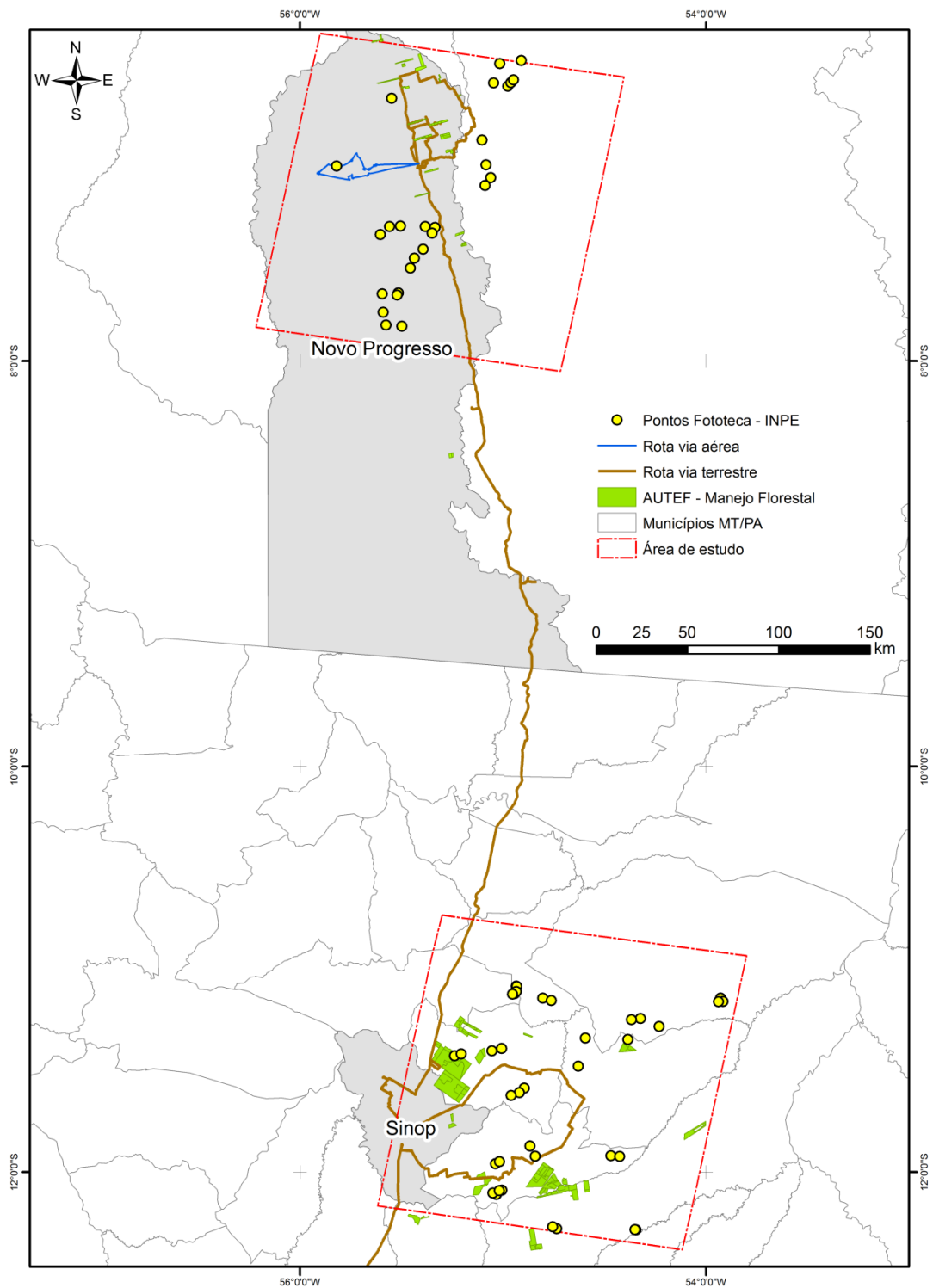


Figura 4.6 – Localização de dados de campo utilizados para validação de mapeamento da degradação florestal: dados coletados (campo 2014) e dados pretéritos (AUTEFs e Fototeca INPE)



Figura 4.7 – Ilustração de áreas de plano de manejo autorizados (da esquerda para direita, de cima para baixo): placa indicativa de plano de manejo; pátio principal para estoque da madeira; etiqueta da árvore informando localização e dados biofísicos; pátio secundário de estoque de madeira; estrada secundária



Figura 4.8 – Ilustração de exploração de madeira em áreas não autorizadas

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Mapeamento de degradação florestal em Novo Progresso (PA) e Sinop (MT)

Com base na análise multitemporal das imagens, observou-se que a extração de madeira é o fator mais importante para a degradação da floresta em Novo Progresso, Pará (PA). Mapearam-se aproximadamente 6800 km² de floresta explorada (7476 km² considerando as revisitas) e 8 km² de floresta degradada devido ao fogo florestal, durante o período de observação de 28 anos (1984–2011). Desses 8 km², 7km² ocorreu no ano de 1999, e 1km² ainda pôde ser observado no ano seguinte.

A pequena extensão de fogo florestal mapeada em Novo Progresso (PA) pode ser parcialmente atribuída ao método de observação anual empregado nesse estudo. Considerando que a cicatriz de fogo florestal pode tornar-se pouco visível em imagens Landsat após 1 ano de sua ocorrência (MATRICARDI et al., 2010), a observação anual pode subestimar a extensão de ocorrência de fogo florestal. Além disso, imagens Landsat possuem limitações técnicas na detecção de cicatriz de fogo florestal associada à baixa intensidade (VASCONCELOS et al., 2013), e, portanto, é provável que a floresta degradada procedente de tais áreas não tenha sido inteiramente detectada.

Por outro lado, as observações realizadas em campo indicam que o fogo em Novo Progresso (PA) é tipicamente associado à prática de corte e queima, que é comumente utilizado em toda região Amazônica (MORTON et al., 2008). Segundo as entrevistas com representantes do IBAMA, em Novo Progresso concentram-se os casos de grilagem de terras utilizadas para a pecuária extensiva, em que a queimada é utilizado por ser um método rápido de conversão da floresta para a apropriação ilegal de terras.

Essa observação também foi verificada comparando-se o mapeamento de degradação florestal (produzido neste estudo) com observações feita por

sobrevoo de helicóptero (realizado pela OBT/INPE) na região de Novo Progresso em setembro/2008 (Missão DETER/Novo Progresso disponível na Fototeca INPE). O DETER foi desenvolvido como um sistema de suporte à fiscalização, e mapeia o corte raso da floresta e a degradação florestal devido ao fogo florestal e à extração de madeira (INPE, 2015c). Como resultado dessa análise, verificou-se que todos os pontos indicativos de ocorrência de fogo (n=26 pontos) estavam localizados em área de desmatamento que foram confirmados como corte raso pelo Projeto PRODES. Uma vez que a floresta é convertida para corte raso, a área é incluída no mapeamento do PRODES e não é objeto de análise do presente estudo.

Assim como em Novo Progresso (PA), a extração de exploração madeireira em Sinop (MT) foi também a mais importante causa de degradação florestal, com uma área total de 17.672 km² (35.761 km² considerando revisitas a uma mesma área) mapeados durante o período de observação de 28 anos. Contudo, em Sinop mapeou-se uma área de 4580 km² de floresta degradada devido ao fogo florestal, muito superior aos 8 km² observados em Novo Progresso.

O estudo de Venturieiire et al. (2013), desenvolvido entre 2008–2010 no Mato Grosso, indica que o fogo é comumente utilizado para a limpeza de pastos, mas não está associado à limpeza de áreas agrícolas. Entrevistas em campo também corroboram esse resultado, pois indicam que os produtores consideram que o uso de fogo em áreas agrícolas ocasiona perdas de produtividade. A origem do fogo florestal na região estaria associada, portanto, à expansão da pecuária e agricultura, e também ao fogo intencional e não intencional advindos da limpeza de pastagens.

Da mesma forma como ocorre com Novo Progresso, uma parte das áreas de ocorrência de fogo florestal em Sinop foi mapeada pelo PRODES como corte raso. Dos 36 pontos de fogo florestal verificados no sobrevoo realizado pela OBT/INPE na região de Sinop (MT) com objetivo de verificar pontos de

desmatamento apontados pelo sistema DETER (INPE, 2015b), 58% foram mapeados como corte raso pelo PRODES e 42% foram mapeados no presente estudo como degradação florestal.

Percebe-se, portanto, que o fogo florestal de alta intensidade, e que efetivamente pode ser detectado na imagem Landsat, causou maior área de degradação florestal em Sinop do que em Novo Progresso. Contudo, a extensão do fogo de baixa intensidade ainda precisa ser melhor analisada nas duas fronteiras madeireiras, já que no presente estudo não foi possível detectar sua ocorrência e dinâmica.

5.2 Validação de mapeamento de degradação florestal em Novo Progresso (PA) e Sinop (MT)

O mapeamento de degradação florestal, derivado de imagens Landsat, foi avaliada com dados coletados em campo (ano 2014), dados da Fototeca INPE (ano 2008) e dados de AUTEFs (a partir de 2007), totalizando 160 pontos. O erro de omissão foi predominantemente associado aos erros de classificação da extração seletiva de madeira como floresta primária. Esse erro foi estimado em 6% (Tabela 5.1). Esses erros ocorreram, principalmente, dentro de áreas de manejo florestal sustentável e foram associados ao dano colateral às árvores não exploradas durante às operações, tais como, o corte de árvores, a construção de pátios de estoque de madeira e estradas. Resultados semelhantes foram relatados em estudos anteriores (MATRICARDI et al., 2007). Estima-se que para cada árvore que é extraída, outras 20 árvores serão danificadas, mesmo em operações planejadas (JOHNS; BARRETO; UHL, 1996). No entanto, os danos na floresta são de baixa intensidade (JOHNS; BARRETO; UHL, 1996), que podem ser observados em campo, mas são pouco visíveis em imagens TM/Landsat.

Os pátios para estoque de madeira (clareiras na floresta onde a madeira é armazenada temporariamente), as trilhas de arraste, estradas principais e

secundárias, no entanto, efetivamente favoreceram a detecção de exploração seletiva de madeira, como também mostrado em estudos anteriores (MATRICARDI et al., 2005; MONTEIRO; SOUZA JR.; BARRETO, 2003). Utilizando esses indicadores de atividade de extração de madeira, a detecção de floresta explorada foi precisa, sem erros de comissão.

Tabela 5.1 - Avaliação do mapeamento de degradação florestal

Classificação espectral	Referência (dados de campo)				Exatidão global
	floresta explorada	floresta	fogo florestal	total	
floresta explorada	105	0	0	105	95%
floresta	7	33	0	40	
fogo florestal	0	0	15	15	
Total	112	33	15	160	
Erro de omissão	6	0	0	-	
Erro de comissão	0	17	0	-	

5.3 A degradação florestal nas fronteiras madeireiras em expansão da Amazônia – o caso de Novo Progresso, Pará

Esta seção apresenta os resultados da análise de padrões e trajetórias de degradação florestal para Novo Progresso (PA) (PINHEIRO et al., no prelo). A seção 5.3.1 apresenta o resultado da classificação de padrões de degradação florestal para Novo Progresso, realizada no GeoDMA, incluindo a validação da classificação. A seção 5.3.2 apresenta a análise de padrões de degradação florestal em Novo Progresso, detalhando frequência e distribuição temporal dos padrões. A seção 5.3.3 apresenta a análise multitemporal de mudanças de cobertura da terra em Novo Progresso, detalhando a frequência de trajetórias de trajetórias de corte raso em relação às trajetórias de degradação florestal, e a dinâmica ao longo da série temporal. A seção 5.3.4 finaliza os resultados sobre a degradação florestal em Novo Progresso, apresentando as principais trajetórias de degradação florestal na área de estudo.

5.3.1 Classificação de padrões de degradação florestal para Novo Progresso (PA)

Para a classificação de padrões de degradação florestal em Novo Progresso utilizaram-se 113 amostras de padrões de degradação florestal, adquiridas em anos diferentes, para treinar o classificador por árvore de decisão (Floresta: 32, HFD1: 7, HFD2: 13, IFD1: 21, IFD2: 13; MFD1: 12, MFD2: 8, MFD3: 7). O algoritmo C4.5 gerou, automaticamente, uma árvore de decisão a partir da seleção de três métricas e cinco níveis (Figura 5.1) (Ver APÊNDICE D para a formulação das métricas).

A métrica área de classe (CA, do inglês *Class Area*), que representa a soma de área (ha) de degradação florestal dentro da célula, distinguiu células com áreas de degradação florestal menor daquelas células com área de degradação maior. Assim; no primeiro nível da árvore de decisão tem-se a separação do padrão de floresta, no terceiro nível tem-se a separação do padrão de

degradação de intensidade baixa (i.e., LFD1, com menos área de degradação) do padrão de degradação de intensidade moderada (MFD1). Por fim, no quarto nível, a métrica de área separa os padrões de intensidade moderada (MDF2 e MDF3) de padrões de intensidade alta (HFD1 e HFD2).

A métrica tamanho médio de manchas (MPS, do inglês *Mean Patch Size*), que representa a soma das áreas (m²) de degradação florestal dentro da célula, dividido pelo número de manchas de degradação, distinguiu células com distintos tamanhos médios de manchas de degradação florestal. Esta métrica diferenciou, principalmente, os padrões de degradação florestal que visam a extração de espécies específicas (LFD1, MFD1) de padrões mais associados à extração convencional e uso de fogo (IFD2, MFD2, HFD2).

A métrica de densidade de borda (ED, do inglês *Edge Density*), que representa a soma de todas as bordas (m) de todas as manchas de degradação florestal dentro da célula, dividida pelo total de área da célula (m²), distinguiu os padrões de degradação florestal de intensidade alta (HFD1 e HFD2). Ambos os padrões demonstram grande área de degradação, com o diferencial que no padrão HFD2 há maior densidade de borda.

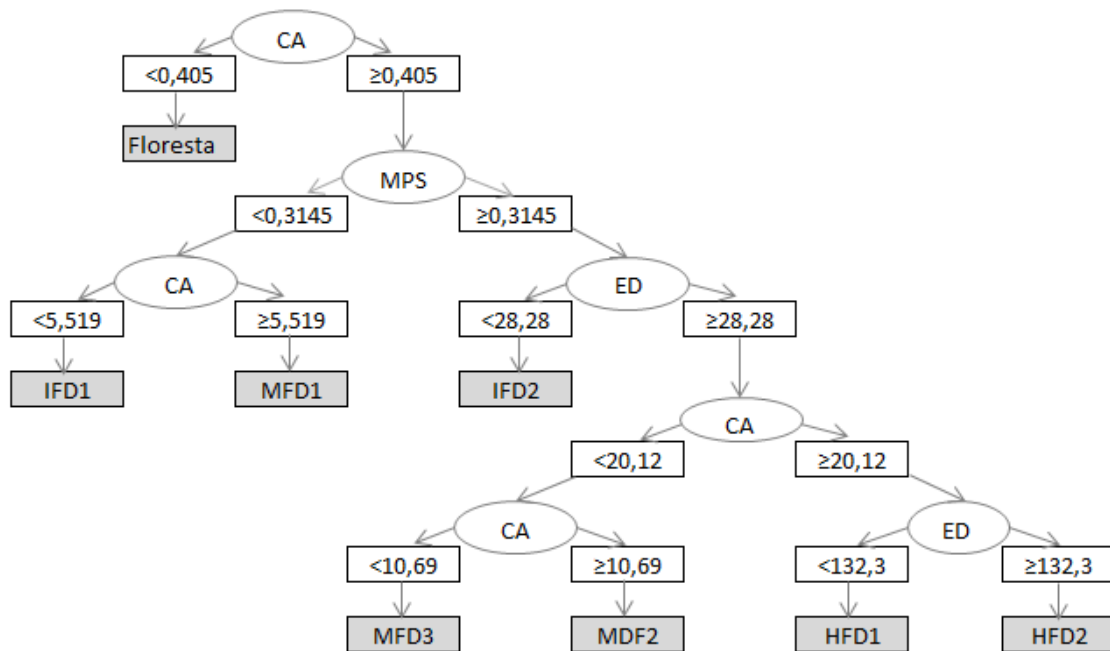


Figura 5.1 - Árvore de decisão para a classificação de padrões espaciais de degradação florestal em Novo Progresso, PA. (As métricas de paisagem são: CA, área da classe (ha); ED, densidade de borda (m/ha); MPS, tamanho médio das manchas (ha). Os padrões espaciais classificados são: LFD1: degradação florestal de intensidade baixa-1; LFD2: degradação florestal de intensidade baixa-2; MFD1: degradação florestal de intensidade moderada-1; MFD2: degradação florestal de intensidade moderada-2; MFD3: degradação florestal de intensidade moderada-3; HDF1: degradação florestal de intensidade alta-1; HDF2: degradação florestal de intensidade alta-2)

A matriz de confusão, gerada para a avaliação, apresenta o resultado da classificação (classificação automática gerada pelo GeoDMA) nas colunas e o resultado da validação (foto intérprete independente) nas linhas (Tabela 5.2). A avaliação foi realizada com cerca de 50 amostras de células para cada padrão. A exatidão global entre as duas classificações foi estimada em 82%. Os erros indicados pela matriz de confusão foram principalmente associados à classificação incorreta das classes MFD3 como MFD1, MFD2, LFD1 ou LFD2.

Estes erros de classificação eram esperados pois i) MFD3 é associado à infraestrutura de áreas de extração de madeira (ou seja, pátios de estoque de madeira, estradas principais e secundárias), que causa ampla degradação na vegetação, similar ao padrão espacial encontrado em LFD2 e MFD2; e ii) MFD3 também apresenta características espaciais similares à LFD1 e MFD1, como a construção de estradas madeireiras para acesso às árvores na floresta.

Tabela 5.2 - Matriz de confusão da classificação de padrões espaciais de degradação florestal em Novo Progresso (PA) (LFD1: degradação florestal de intensidade baixa-1; LFD2: degradação florestal de intensidade baixa-2; MFD1: degradação florestal de intensidade moderada-1; MFD2: degradação florestal de intensidade moderada-2; MFD3: degradação florestal de intensidade moderada-3; HDF1: degradação florestal de intensidade alta-1; HDF2: degradação florestal de intensidade alta-2)

Padrão espacial	Classificação estrutural (referência)									Total	Erro de Omissão (%)
	MDF3	MDF2	MDF1	LFD2	LFD1	HFD2	HFD1	FLORESTA			
Validação	MDF3	34	4	4	6	2	0	0	0	50	32
	MDF2	6	23	0	0	0	3	1	0	33	22,7
	MDF1	1	9	41	0	0	2	0	0	53	22,6
	LFD2	8	1	2	40	1	0	0	0	52	23,1
	LFD1	1	0	2	3	47	0	0	0	53	11,3
	HFD2	0	0	0	0	0	38	10	0	48	20,8
	HFD1	0	2	0	0	0	4	35	0	41	9,8
	FLORESTA	0	0	0	0	0	0	0	50	50	0
	Total	50	50	49	49	50	47	46	50		
Erro de Omissão (%)	32	32	16,3	18,4	6	19,1	23,9	0			

Exatidão Global = 82%

5.3.2 Análise de padrões de degradação florestal em Novo Progresso (PA)

A distribuição temporal de padrões de degradação em Novo Progresso (PA) é apresentada na Figura 5.2 (para visualizar os mapas anuais de degradação florestal ver APÊNDICE E). Esta figura apresenta a área de ocorrência acumulada, para cada padrão de degradação florestal, de acordo com três períodos importantes em termos de tendência à mudança de cobertura da terra.

A Figura 5.2 indica que a degradação florestal foi tipicamente associada à extração de madeira altamente seletiva (LFD1) durante toda a série temporal (1984–1997). Este padrão está associado à extração de poucas espécies, em geral de 1-2 espécies. Embora a região tenha se tornado um importante pólo madeireiro, o alto custo de transporte ainda limita a extração de maior número de espécies, pois somente aquelas espécies de alto valor comercial são viáveis para exploração. Este é um padrão tipicamente observado em fronteiras madeiras menos desenvolvidas (VERÍSSIMO et al., 2008). Consequentemente, observa-se que os padrões associados à extração de madeira de intensidade moderada (MFD1) a alta (HFD1) se mantêm pouco expressivos na região de estudo.

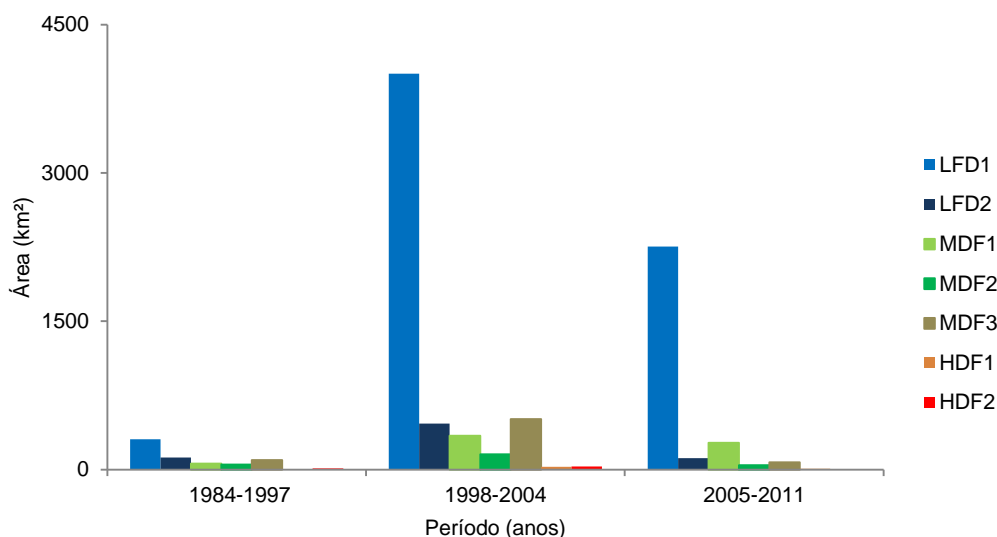


Figura 5.2 – Área acumulada (km²), por período (anos), de padrões espaciais de degradação florestal em Novo Progresso (LFD1: degradação florestal de intensidade baixa–1; LFD2: degradação florestal de intensidade baixa–2; MDF1: degradação florestal de intensidade moderada–1; MDF2: degradação florestal de intensidade moderada–2; MDF3: degradação florestal de intensidade moderada–3; HDF1: degradação florestal de intensidade alta–1; HDF2: degradação florestal de intensidade alta–2)

Contudo, o contexto de ocorrência do padrão LFD1 é diferenciado entre o primeiro e os dois últimos períodos destacados na Figura 5.2. No primeiro período (1984–1997), os padrões de degradação, principalmente o LFD1, é

tipicamente associado à migração de colonos e garimpeiros para a região, e a madeira explorada por essa população teve como finalidade o desenvolvimento de infraestrutura local (ORAVEC, 1998). Neste período, a indústria de madeira ainda não era estabelecida, embora algumas serrarias já haviam se estabelecido na região (ORAVEC, 1998).

A partir do final do anos 90, um segundo ciclo de migração ocorre, influenciado pelo projeto de pavimentação da estrada BR-163 (Cuiabá–Santarém). Um número elevado de madeiras se estabeleceu na região a partir de 1998, representando um número seis vezes superior ao observado no período anterior (1984–1997) (CARVALHO et al., 2002). Com o subsequente aumento de demanda por madeira, observou-se também o aumento de ocorrência de LFD1. Observa-se também o aumento do padrão MFD3, que é um padrão associado à infraestrutura de apoio às operações de extração de madeira (estradas principais e secundárias, pátios de estoque de madeira).

Similar ao período anterior (i.e., 1984–1997), a vegetação no período 1998–2004 foi predominantemente caracterizada pela degradação de intensidade baixa (LFD1 e LFD2), mas a degradação de intensidade moderada (MFD2 e MFD1) apresentou um crescimento que não foi observado nos outros períodos.

A redução geral da área de degradação observada no último período (2005–2011) pode ser atribuída às políticas mais restritivas do governo, incluindo o Plano de Proteção e Controle do Desmatamento na Amazônia (PPCDAM) (BRITO; BARRETO, 2011; VALERIANO et al., 2012a); à implementação do sistema de rastreamento da madeira, o DOF (Documento de Origem Florestal) (BRASIL, 2006b), que forneceu ferramentas para identificar a madeira ilegal; e à criação da Lei de Crimes Ambientais, de 1998, que autoriza o IBAMA a impor penas de prisão, além de multas, por desmatamento ilegal, queimadas e exploração ilegal de madeira (NEPSTAD et al., 2002).

5.3.3 Análise multitemporal de mudanças de cobertura da terra em Novo Progresso (PA)

Com base na análise multitemporal da degradação florestal, observou-se que 43% das áreas florestais na área de estudo sofreram alterações ao longo dos 28 anos de observação (1984–2011). Cerca de 47% das mudanças de cobertura da terra observadas foram devido ao rápido desmatamento, ou seja, a conversão da floresta no período de até 1 ano, referido aqui como trajetória de corte raso; e 50% foram devido ao processo de degradação florestal (antes de 1984 existiam somente 3% de áreas desmatadas) (Figura 5.3).

Considerando as células com trajetórias de degradação, observa-se que a maior parte se manteve como degradadas até 2011 (trajetória de degradação persistente). Ressalta-se que essa persistência é relativa. Embora a janela temporal compreenda o período de 1984 a 2011, as trajetórias tem início em anos diferentes (i.e., ano de detecção da primeira alteração da cobertura florestal), sendo que muitas delas tiveram início tardiamente (após 2000, como será discutido a seguir) e ainda podem ser convertidas em corte raso.

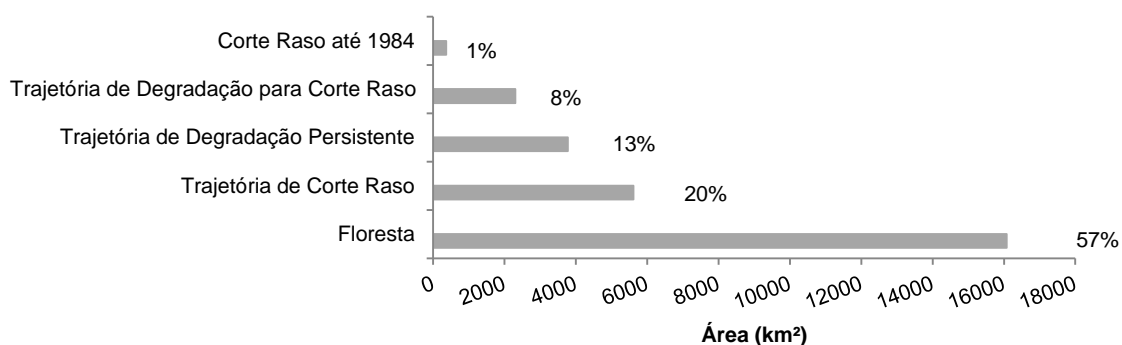


Figura 5.3 – Extensão (km²) de trajetórias de degradação florestal, de corte raso e de não mudança (Floresta) em Novo Progresso (PA): período de 1984–2011

A análise da série temporal de 28 anos demonstrou que a dinâmica de mudança de cobertura da terra não foi uniforme ao longo do tempo (Figura 5.4). Antes do final dos anos 90, apenas 15% das alterações da cobertura da

terra foram detectadas. Nesse período, além da atividade madeireira ter alcance local (ORAVEC, 1998), o garimpo de ouro, principal atividade econômica na época, arrefeceu após políticas restritivas do governo federal, queda de preço e exaustão dos principais aluviões (BRASIL, 2005).

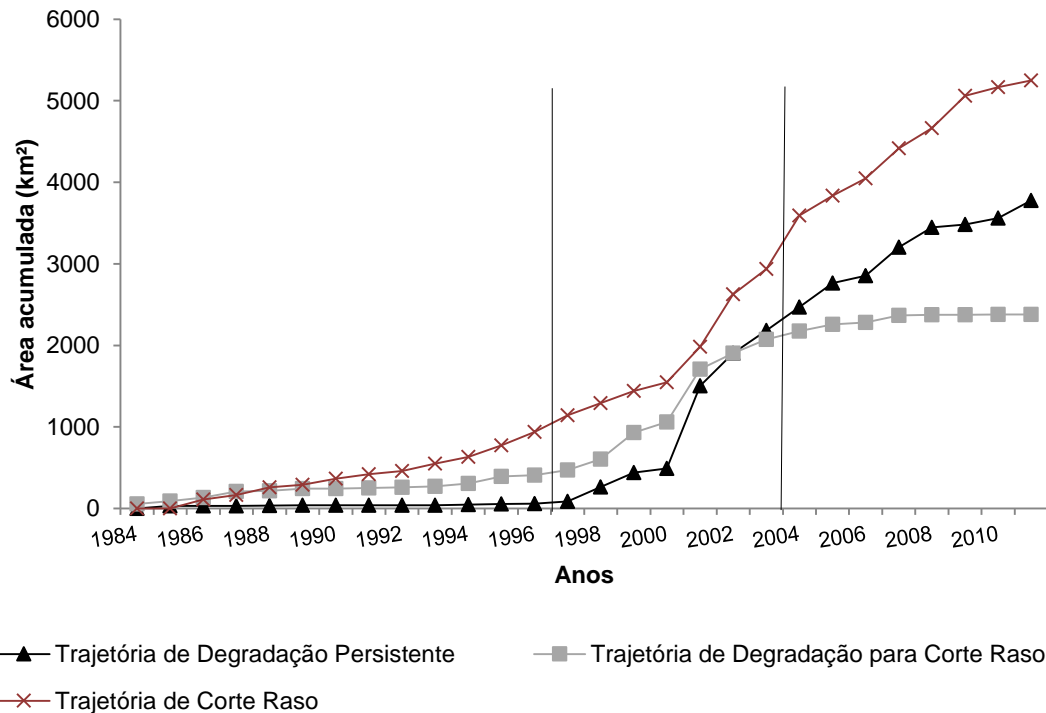


Figura 5.4 – Trajetórias de mudança de cobertura da terra: Evolução anual entre 1984 e 2011, em Novo Progresso (PA) (barras verticais marcam três períodos: 1984 a 1997; 1998 a 2004; 2005 a 2011)

Entre 1984–1997, 67% das mudanças de cobertura da terra ocorridas no período foram atribuídas à trajetória de corte raso, 28% à trajetória de degradação com corte raso e apenas 5% à trajetória de degradação persistente (Tabela 5.3). Embora a extensão das mudanças tenha sido comparativamente menor em relação ao período pós 1997, as áreas florestais entre 1984-1997 tinham alta probabilidade de conversão para corte raso, como descrito a seguir.

Tabela 5.3 – Área de mudança da cobertura florestal, total e por período, devido à degradação florestal e corte raso – Novo Progresso (PA)

Trajetória	período (ano)			total
	1984-1997	1998-2004	2005-2011	
	Km ²			
Corte raso	1143 (67%)	2451 (38%)	1654 (52%)	5248
Degradação para corte raso	470 (28%)	1703 (26%)	208 (7%)	2381
Degradação persistente	87 (5%)	2381 (36%)	1307 (41%)	3775
total (km²)	1700	6535	3169	11404

A Figura 5.5 indica o destino das florestas (i.e, o corte raso ou a degradação persistente), resultante da observação de trajetórias de cobertura da terra iniciadas no período de 1984 a 1997. Para cada ano é demonstrada a área de floresta que é convertida em até um ano, indicada pelo valor 0 (o valor 0 indica as florestas convertidas em corte raso sem detecção prévia de degradação florestal, seguem as trajetórias rápidas de corte raso); a área de floresta que foi convertida entre 1 e 28 anos (indica a trajetória de degradação florestal para corte raso, e os diferentes anos indicam o número de anos até a conversão da floresta em corte raso); e as florestas que não foram convertidas em corte raso até o final do período de observação, indicada pela legenda >28 anos (indica a trajetória de degradação persistente).

A Figura 5.5. indica que cerca de 90% das florestas no período 1984–1997 foram convertidas em corte raso no prazo de um ano. Isto significa que entre 1984-1997, ocorriam predominantemente trajetórias rápidas de corte raso, e que poucas trajetórias de degradação persistente iniciaram neste período.

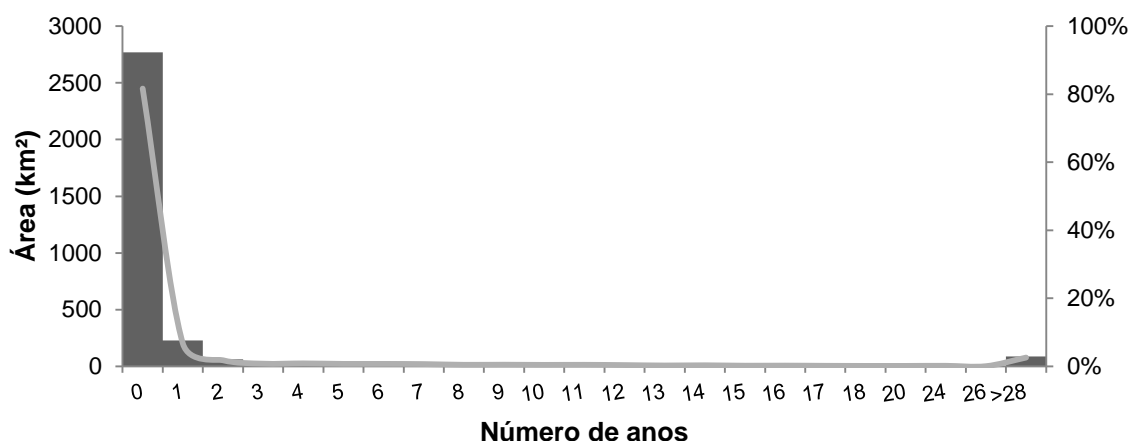


Figura 5.5 –Destino das florestas para trajetórias de cobertura da terra iniciadas no período 1984 a 1997 em Novo Progresso (PA) (eixo x: o valor 0 representa a Trajetória de Corte Raso; valores de 1 a 28 representam a Trajetória de Degradação para Corte raso, e os diferentes anos indicam o número de anos até o corte raso; e o valor >28 indica a Trajetória de Degradação Persistente

No período 1998–2004, ocorre a maior parte das mudanças de cobertura da terra totais observadas na área de estudo (cerca de 60%) (Tabela 5.3, p.85). Esse período é marcado por um novo ciclo migratório, que ocorreu em antecipação à pavimentação da BR-163 (ROS-TONEN, 2007), com aumento no número de madeireiras operando em Novo Progresso (CARVALHO et al., 2002), e aumento de 1783% nos lucros provenientes da produção de madeira em tora, entre 2000 e 2006 (BENTES; BENTES; AMIN, 2008).

Como consequência, um significativo incremento da extensão da degradação florestal total foi observada, aumentando paulatinamente de menos de 4 km² em 1990 para 552 km² em 1999, alcançando 1838 km² em 2001. A degradação florestal, portanto, tornou-se progressivamente importante fator de mudança da cobertura da terra a partir de 1997, apresentando em diversos anos, extensão anual superior ao observado para o desmatamento por corte raso, principalmente entre o período 1998-2001.

Aproximadamente 40% das mudanças ocorridas no período (1998–2004) ocorreram pela trajetória de corte raso, e 60% devido à degradação florestal

(trajetória de degradação com corte raso e trajetória de degradação persistente), indicando uma dinâmica de mudança diferente da observada no período 1984–1997. Além disso, observou-se que uma elevada proporção dessa floresta degradada ($\approx 40\%$) não foi convertida (>28 anos) até o final da série temporal (Figura 5.6). Este resultado indica que embora a extensão de corte raso a partir de 1998 tenha aumentado em relação ao período anterior (1984–1997), existiu uma tendência em direção ao abandono de florestas degradadas.

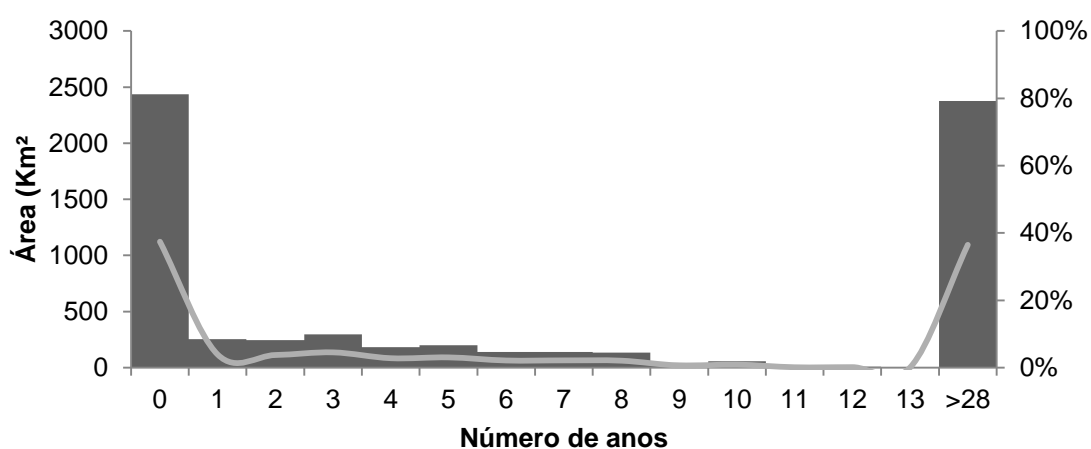


Figura 5.6 – Destino das florestas para trajetórias de cobertura da terra iniciadas no período 1998 a 2004 em Novo Progresso (PA) (eixo x: o valor 0 representa a Trajetória de Corte Raso; valores de 1 a 28 representam a Trajetória de Degradação para Corte raso, e os diferentes anos indicam o número de anos até o corte raso; e o valor >28 indica a Trajetória de Degradação Persistente)

No início de 2004, a extensão de área detectada de florestas degradadas e o incremento de corte raso declinaram, embora não ao nível observado antes de 1998 (Figura 5.7). Além das medidas de abrangência em toda a Amazônia (PPCDAM, DOF, Leis de crime ambientais), outras medidas importantes implementadas em Novo Progresso podem ter influenciado a redução na área de floresta degradada e corte raso, tais como: i) a concessão de licenças para planos de manejo somente para propriedades com título definitivo (que representa 10% das propriedades em Novo Progresso), como medida de arrefecer a indústria madeireira local; e ii) a criação do Distrito Florestal

Sustentável da BR-163, da Floresta Nacional Jamanxim com 1,3 milhão de hectares (Decreto Federal de Fevereiro de 2006) e de assentamentos sustentáveis.

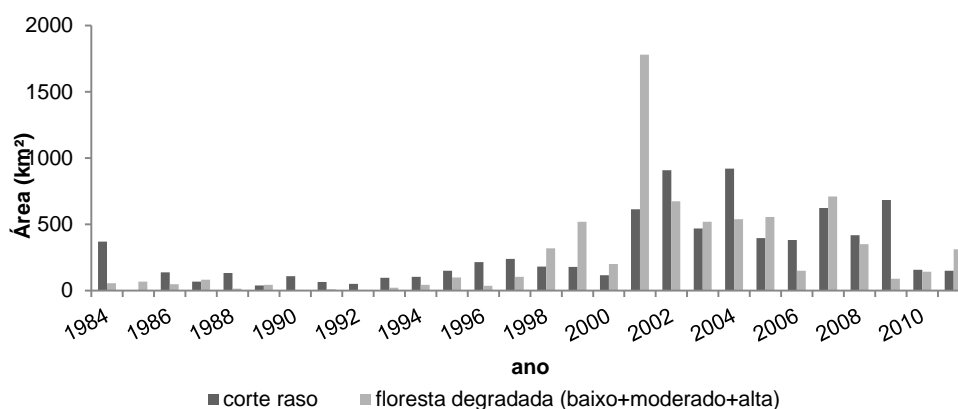


Figura 5.7 – Extensão (km²) de floresta degradada e incremento de corte raso em Novo Progresso, Pará (1984–2011)

Observou-se entre 2005–2011 uma área alterada de 3169 km², balanceado entre trajetórias de corte raso (52%) e de degradação florestal (48%). No entanto, manteve-se a tendência ao abandono de áreas após a extração de madeira, uma vez que 40% das trajetórias de degradação não terminaram em corte raso (Figura 5.8). Este resultado pode parcialmente ao efeito do fim do período de observação. Contudo, considerando que cerca de 50% das trajetórias de degradação florestal finalizam (i.e., ocorre transição floresta degradada para corte raso) em 3 anos (ver seção seguinte), seria esperado observar, em 2005–2011, uma proporção menor do que os 40% de floresta degradada que é abandonada logo após ao evento de degradação inicial. Isto indica que outros fatores explicam melhor essa tendência encontrada, tais como as ações institucionais de prevenção ao desmatamento implementadas.

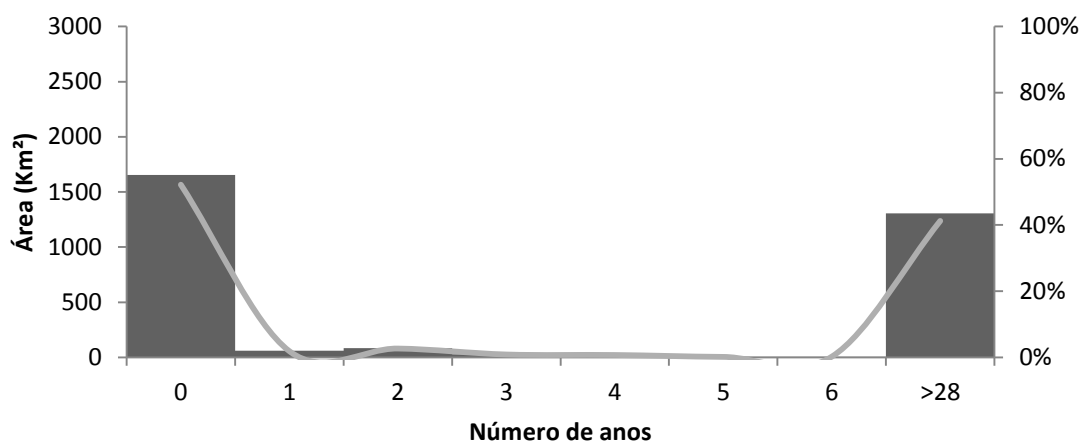


Figura 5.8 – Destino das florestas para trajetórias de cobertura da terra iniciadas no período 2005 a 2011 em Novo Progresso (PA) (eixo x: o valor 0 representa a Trajetória de Corte Raso; valores de 1 a 28 representam a Trajetória de Degradação para Corte raso, e os diferentes anos indicam o número de anos até o corte raso; e o valor >28 indica a Trajetória de Degradação Persistente)

A distribuição espacial de trajetórias de células de cobertura da terra em Novo Progresso é apresentada na Figura 5.9. A análise da área afetada por cada uma das trajetórias mostra que 87% das florestas (trajetória de não mudança) encontram-se nas áreas protegidas e assentamentos humanos sustentáveis. Contudo, foi detectado uma extensa área de trajetórias de corte raso (1154 km²) e trajetórias de degradação com corte raso (323 km²) dentro da Floresta Nacional Jamanxim, mesmo após sua criação em 2006 (Tabela 5.4, p.93).

A Terra Indígena Baú, por outro lado, contém uma grande porcentagem de floresta (97% do seu território), parcialmente devido à reconfiguração de seu território em 2003, com redução de 317.000 hectares (BRASIL, 2003). Na Figura 5.9, é possível ver a porção reduzida da terra indígena, que coincide com uma extensa área desmatada. Parte desse desmatamento ocorreu antes da reconfiguração da terra indígena, após conflitos com fazendeiros e madeireiros que invadiram a terra indígena.

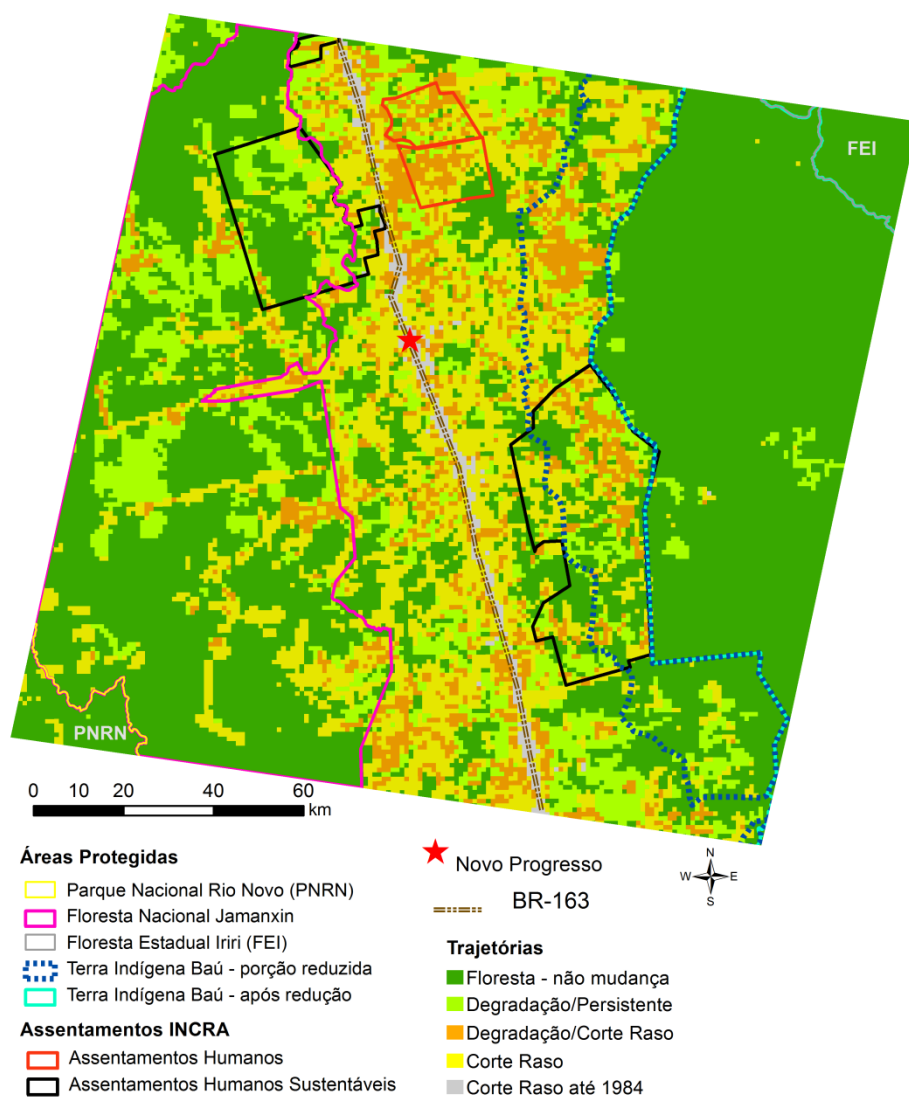


Figura 5.9 – Trajetórias das células em Novo Progresso (PA), entre 1984 e 2011, representando áreas de degradação florestal e o processo de desmatamento ao longo da rodovia BR-163 e de acordo à designação de uso da terra (áreas protegidas e assentamentos)

A trajetória de mudança de cobertura da terra em projetos de desenvolvimento sustentáveis (PDS) do INCRA, criados na região nos anos 2000, foi tipicamente caracterizada pela trajetória de não mudança (floresta = 43%) e de degradação sem conversão (23%). Diferentemente dos assentamentos tradicionais, os assentamentos sustentáveis são associados ao desenvolvimento de atividades econômicas com base na utilização sustentável dos recursos florestais. Contudo, este resultado pode ser também atribuído à criação recente dos PDS na área. Os assentamentos humanos criados nos anos 90 foram tipicamente

caracterizados por trajetórias de corte raso (34%) e trajetórias de degradação com conversão (39%).

Tabela 5.4 – Porcentagem da área total de assentamentos e áreas protegidas afetadas por cada trajetória de mudança de cobertura da terra (PDS: Projeto de Desenvolvimento Sustentável; PA: Projeto de Assentamento Tradicionais; FLONA: Floresta Nacional; FLOTA: Floresta Estadual; PARNA: Parque Nacional)

Trajetória	PDS	PA	FLONA Jamanxin	TI Baú	FLOTA Iriri	PARNA Rio Novo
	Cobertura (Km ²)					
Corte raso	581 (22%)	167 (34%)	1154 (13%)	0	0	31 (7%)
Degradação com corte raso	318 (12%)	189 (39%)	323 (4%)	0	0	0
Degradação persistente	606 (23%)	72 (15%)	1441 (16%)	153 (3%)	0	1
Floresta	1143 (43%)	59 (12%)	5933 (67%)	5906 (97%)	492 (100%)	395 (93%)
Desmatamento até 1984	0	0	0	0	0	0
Área total (Km²)	2661	487	8852	6098	492	427

Estes resultados demonstram que há dois processos distintos que causam o desmatamento em Novo Progresso. O primeiro é a atividade madeireira, que causa alterações graduais na cobertura do dossel, e é associado à extração de espécies de alto valor comercial. Este processo pode não causar a conversão da floresta, especialmente se o uso sustentável dos recursos florestais é implementado. O segundo processo, que está associado ao corte raso para assentamentos humanos, especulação de terras e agricultura, ocorre imediatamente após a exploração da madeira. Em geral, há uma expansão deste segundo processo a partir da cidade e da estrada.

5.3.4 Trajetória de degradação florestal em uma fronteira madeireira em expansão: o caso de Novo Progresso, Pará

A degradação florestal, que resultou em corte raso, foi caracterizada por um único evento de extração seletiva de madeira associado à baixa-moderada intensidade de degradação florestal (80% da trajetória de degradação com

corte raso). As principais transições (i.e. aquelas mais frequentes) de cobertura da terra ao longo dessa trajetória são apresentadas na Figura 5.10.

As transições apresentadas na figura representam aproximadamente 50% (n=1105) das possibilidades de transições observadas. Os demais 50% das transições observadas não foram representadas, pois são muito numerosas e pouco frequentes. Observa-se Figura 5.10 que há uma parcela da floresta que é convertida logo após a degradação inicial (36%), mas, em geral, observam-se alguns anos de abandono logo após degradação inicial (64%).

Embora tenham sido detectados múltiplos ciclos de extração de madeira ao longo da trajetória degradação florestal, tipicamente as florestas exploradas não foram revisitadas por madeireiros para um novo ciclo de exploração. Da mesma forma, eventos de fogo florestal recorrentes não foram detectados.

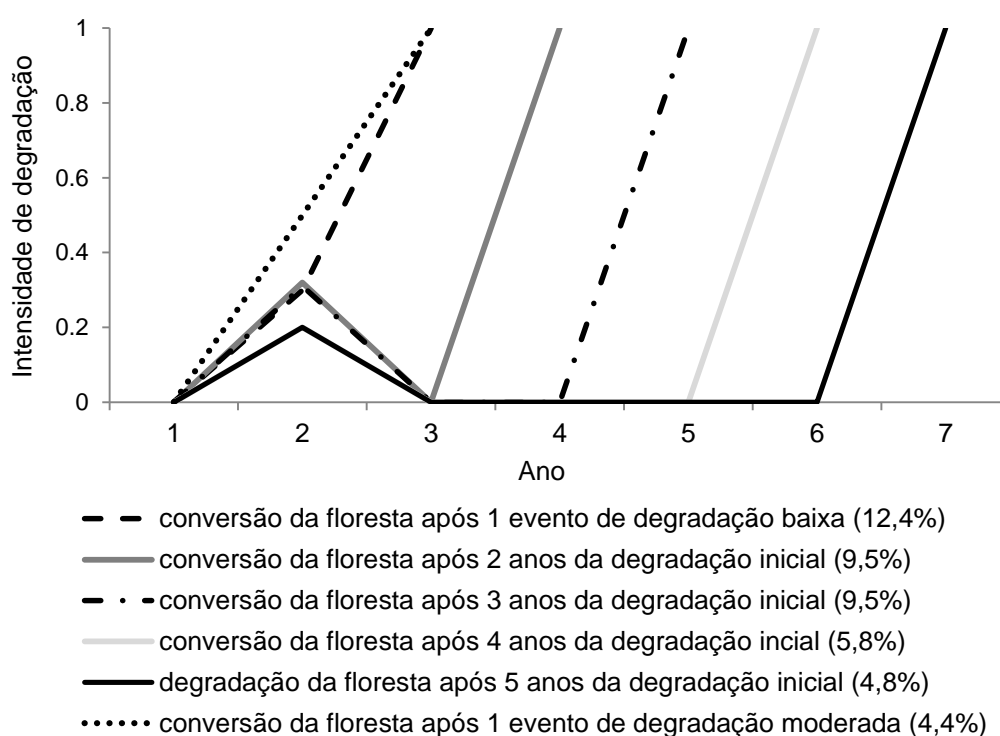


Figura 5.10 – Principais transições de cobertura da terra associadas à trajetória de degradação com corte raso em fronteiras madeireiras em expansão: o caso de Novo Progresso, Pará

A trajetória de degradação florestal em Novo Progresso tipicamente iniciou-se com padrões associados à intensidade da degradação florestal baixa a moderada (Figura 5.10). Aproximadamente 80% da degradação inicial foi associada com padrão IFD1, que está associada com a exploração de um pequeno volume de madeira da floresta, particularmente espécies de alto valor comercial (VERÍSSIMO et al., 2008). Os padrões de degradação moderado (MFD1) e associados à construção de infraestrutura para a extração da madeira (MFD3) também foram detectados no primeiro ano e foram associados à 10% da atividade madeireira, cada um.

A predominância de padrões de baixa intensidade pode se parcialmente atribuída ao limitado número de espécies exploradas na região, mas também ao abandono da floresta degradada, que permitiria a recuperação da cobertura florestal. A copa da floresta afetada pela extração de madeira pode regenerar rapidamente após abandono, geralmente entre 1 a 3 anos sob a perspectiva de imagens de satélite Landsat (MATRICARDI et al., 2005).

A Figura 5.11 indica a porcentagem de floresta degradada que é convertida em corte raso em diferentes anos, após detecção de degradação inicial. Observou-se que 50% da floresta explorada foi posteriormente convertida em corte raso no prazo de 3 anos, 70% convertida em 5 anos, alcançando 90% em 8 anos (Figura 5.11). Uma proporção muito baixa de floresta explorada foi desmatada após 8 anos.

A avaliação de Asner et al. (2006) indicou uma tendência distinta, da observada no presente estudo, no que diz respeito ao número de anos entre a detecção da degradação florestal e a conversão da floresta em corte raso. Asner et al. (2006) constataram um período mais longo até a conversão completa da floresta. Em suas análises, observaram que 36% das florestas degradadas no estado do Pará foram convertidas em corte raso em um prazo de 4 anos. Os resultados observados para Novo Progresso, com base na análise de longa

duração, contudo, demonstram que no prazo de 4 anos cerca de 60% da floresta é convertida (Figura 5.11).

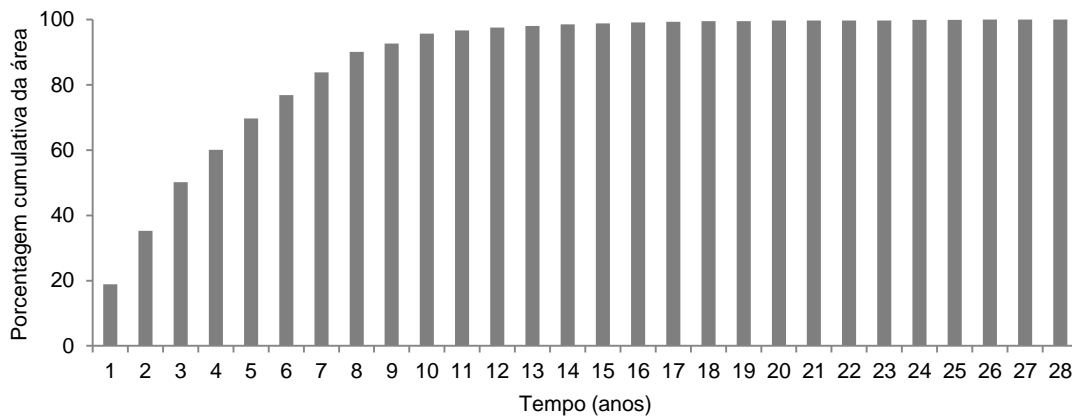


Figura 5.11 – Número de anos entre a degradação florestal inicial e o corte raso da floresta em Novo Progresso (PA) (área com relação à trajetória degradação florestal com corte raso)

A diferença entre os resultados obtidos neste trabalho e no trabalho dos autores mencionados pode ser devido ao contexto histórico da área de estudo da avaliação de Asner et al. (2006), ao fato de Novo Progresso representar uma área de fronteira madeireira, e também pelo tamanho da série temporal analisada.

O estudo conduzido por Asner et al. (2006) abrangeu regiões que diferiam em aspectos importantes que influenciam sobremaneira a dinâmica de desmatamento e de degradação, tais como estrutura agrária, densidade populacional, nível de urbanização, status de proteção, percentual de área florestal e de estoque de madeira. A análise incluiu, por exemplo, a região de Paragominas, ao longo da rodovia Belém-Brasília, uma fronteira consolidada da década de 70, na qual já apresenta reduzidos estoques de madeira e maior adoção à planos de manejo, e a região de Novo Progresso, que representa um fronteira madeireira em expansão, com dinâmicas específicas.

O estudo conduzido por Asner et al. (2006) abrangeu o período de 2001 a 2004, que além de ser uma série temporal curta para a análise da degradação

florestal, o presente estudo demonstra que a dinâmica da degradação pode variar com o período de análise. Por exemplo, para o período de análise de 2001 a 2004, 100% das trajetórias de degradação com corte raso são convertidas em 3 anos em Novo Progresso. Esta observação difere tanto dos 50% observados quando a série temporal incluiu o período de 1984-2011, quanto da observação de Asner et al. (2006), que inclui regiões com diferentes dinâmicas. Estes resultados corroboram a ideia de que a degradação florestal ocorre de forma diferenciada no tempo e no espaço, e que esses fatores devem ser considerados na análise da degradação.

5.4 A degradação florestal nas antigas fronteiras de ocupação da Amazônia – o caso de Sinop, Mato Grosso

A seção 5.4 apresenta a análise de padrões e trajetórias de degradação florestal para Sinop (MT). A seção 5.4.1 apresenta o resultado da classificação de padrões de degradação florestal para Sinop, realizada no GeoDMA, incluindo a validação da classificação. A seção 5.4.2 apresenta a análise de padrões de degradação florestal em Sinop, detalhando frequência e distribuição temporal dos padrões. A seção 5.4.3 apresenta a análise multitemporal de mudanças de cobertura da terra em Sinop, detalhando a frequência de trajetórias de corte raso em relação às trajetórias de degradação florestal, e a dinâmica ao longo da série temporal. A discussão sobre a degradação florestal em Sinop (MT) é finalizada com a seção 5.4.4, que apresenta as principais trajetórias de degradação florestal na área de estudo.

5.4.1 Classificação de padrões de degradação florestal para Sinop (MT)

Para a classificação de padrões de degradação florestal para Sinop utilizaram-se 134 amostras de padrões de degradação florestal, adquiridas em anos diferentes, para treinar o classificador por árvore de decisão (Floresta: 19, HFD1: 13, HFD2: 19, IFD1: 40, IFD2: 7; MFD1: 23, MFD2: 7; MFD3:6). O algoritmo C4.5 gerou, automaticamente, uma árvore de decisão com três métricas (Ver APÊNDICE D para a formulação das métricas) e cinco níveis (Figura 5.12).

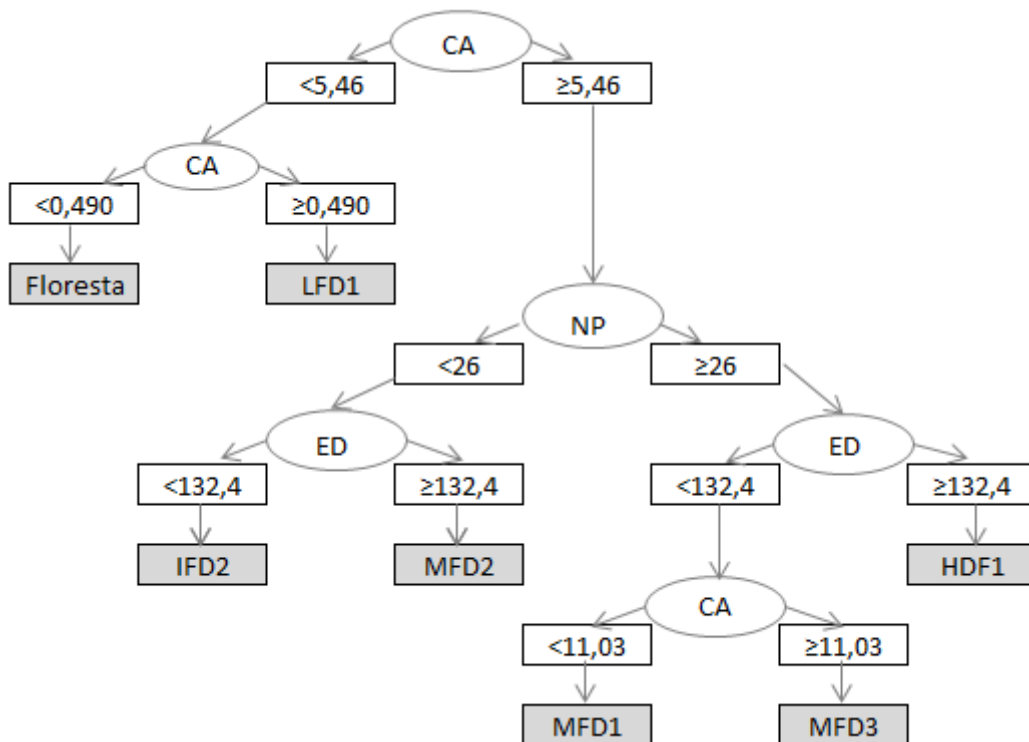


Figura 5.12 - Árvore de decisão para classificação de padrões espaciais de degradação florestal em Sinop, Mato Grosso. (As métricas de paisagem são: CA, área da classe (ha); ED, densidade de borda (m/ha); NP, número de manchas (NP \geq 1, sem limite). Os padrões espaciais são: LFD1: degradação florestal de intensidade baixa-1; LFD2: degradação florestal de intensidade baixa-2; MFD1: degradação florestal de intensidade moderada-1; MFD2: degradação florestal de intensidade moderada-2; MFD3: degradação florestal de intensidade moderada-3; HDF1: degradação florestal de intensidade alta-1; HDF2: degradação florestal de intensidade alta-2)

A métrica área da classe (CA, do inglês *Class Area*) distinguiu o padrão de floresta do padrão LFD1, que possui intensidade de degradação acima do observado na floresta primária, mas intensidade abaixo de todos os demais padrões de degradação. No último nível da árvore de decisão, a métrica CA ocorre novamente separando dois padrões de degradação de intensidade média, ou seja, separação de MFD2 e MFD3. As métricas número de manchas (NP, do inglês *Number of Patches*) e densidade de borda (ED, do inglês *Edge Density*) separam dois grupos, padrões com indícios de planos de manejo (i.e., padrões com final 1 e 3) de padrões relacionados à extração convencional (i.e., padrões com final 2).

Observaram-se semelhanças entre a árvore de decisão obtida para a classificação de padrões de degradação em Novo Progresso (PA) e Sinop (MT), entre os quais: os limiares que distinguem floresta primária de degradação de intensidade leve (LFD1), assim como LFD1 de padrões de degradação florestal de intensidade moderada e alta ($\geq 0,490$ LFD1 $\leq 5,46$ ha). Contudo, a árvore de decisão obtida para Sinop apresenta a métrica *Numbers of Patch* (NP), que indica subdivisão de classe, substituindo a métrica *Mean Patch Size* (MPS), uma métrica de arranjo espacial, selecionada na árvore de decisão para os padrões de Novo Progresso.

O menor número de nós da árvore de decisão, assim como a seleção de uma métrica de menor complexidade (*Numbers of Patch*, NP) indica que os padrões de degradação em Sinop são mais regulares e evidentes, o que pode ser consequência da maior adoção a técnicas de impacto reduzido. O relevo da área também deve ser considerado, já que um relevo mais acidentado, como no caso de Novo Progresso, pode causar padrões mais irregulares.

A matriz de confusão apresenta o resultado da classificação estrutural (classificação automática gerada pelo GeoDMA) nas colunas e o resultado da validação (foto intérprete independente) nas linhas (Tabela 5.5). A avaliação foi realizada com aproximadamente 100 amostras de células, para cada padrão, e indica exatidão global de 82%.

Os erros indicados pela matriz de confusão foram principalmente associados à classificação incorreta dos padrões MFD3 e LFD2, ou seja, erros entre um padrão de intensidade moderada e um padrão de intensidade leve, mas que é associado à extração de madeira sem planejamento. Ambos os padrões podem apresentar configuração espacial similar quando a implantação da infraestrutura de exploração de madeira, associada ao padrão MFD3, é mal planejada causando danos à floresta acima do previsto nas práticas de manejo florestal.

Tabela 5.5 - Matriz de confusão da classificação de padrões de degradação florestal em Sinop, Mato Grosso

Padrão	Classificação estrutural (referência)								Erro de comissão (%)
	MFD1	MFD2	MFD3	LFD2	LFD1	HDF1	FLORE	Total	
MFD1	87	15	0	8	0	2	0	112	22
MFD2	9	67	0	8	0	3	0	87	23
MFD3	2	10	99	16	3	0	0	130	24
LFD2	1	4	0	65	5	0	0	75	13
LFD1	0	1	0	2	87	1	2	93	6
HDF1	0	0	0	0	3	87	0	90	3
FLORESTA	1	1	1	1	1	2	98	105	7
Total	100	98	100	100	99	95	100	692	
Erro de omissão (%)	13	32	1	35	12	8	2		
Exatidão global = 82%									

5.4.2 Análise de padrões de degradação florestal em Sinop (MT)

A extensão (km²) das áreas de degradação em Sinop (MT) ao longo de 28 anos (1984–2011) é apresentada na Figura 5.13 (para visualizar os mapas anuais de degradação florestal ver APÊNDICE F). Esse resultado é apresentado em períodos que marcam importantes mudanças na dinâmica de uso da terra dessa região, da mesma forma como realizado em Novo Progresso.

A Figura 5.13 indica que a degradação florestal foi tipicamente associada a padrões de extração de madeira de baixa à moderada intensidade, durante a série temporal de análise (1984–2011). LFD1 foi o padrão de maior ocorrência, e está associado à extração de madeira com indícios de aplicação de técnicas de manejo florestal. Especificamente, LFD1 indica o início das operações, antes da derrubada das árvores, quando os pátios de estoque de madeira são instalados. Ressalta-se, entretanto, que o padrão não indica total ajuste às regras de manejo florestal, já que algumas irregularidade não podem ser efetivamente detectadas, tais como extração de volume acima do permitido (i.e., 30m³/ha) ou a extração de espécies não autorizadas.

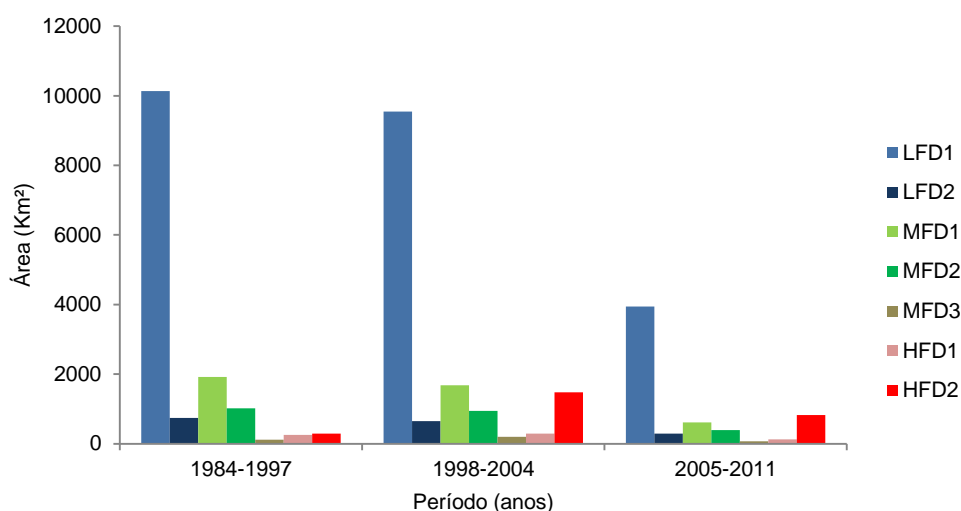


Figura 5.13 – Área (Km²) acumulada, por período, de padrões espaciais de degradação florestal em Sinop (LFD1: degradação florestal de intensidade baixa-1; LFD2: degradação florestal de intensidade baixa-2; MFD1: degradação florestal de intensidade moderada-1; MFD2: degradação florestal de intensidade moderada-2; MFD3: degradação florestal de intensidade moderada-3; HDF1: degradação florestal de intensidade alta-1; HDF2: degradação florestal de intensidade alta, fogo florestal-2)

A ausência do padrão HDF1, que indica a etapa em que as árvores já foram derrubadas, pode ser parcialmente resultado da rápida regeneração da floresta, que podem desaparecer ou torna-se menos evidentes entre 1-3 anos (MATRICARDI et al., 2005), favorecendo a predominância de padrões de baixa intensidade.

Contudo, entre os padrões de intensidade baixa à moderada, àqueles relacionados à aplicação de manejo florestal ou tentativa de planejamento de atividades de exploração florestal foram predominantes em relação aos padrões de extração convencional (i.e., LFD2 e MFD2). Em comparação às outras fronteiras madeireiras na Amazônia, como a região de Novo Progresso, Sinop historicamente possui maior número de planos de manejo autorizados e maior nível de capacitação em técnicas de manejo florestal (SABOGAL et al., 2006). Estudos anteriores indicam que na região a madeira tem, predominantemente, origem de áreas autorizadas, apesar de ser observada ilegalidade em parte da madeira extraída (MONTEIRO; SOUZA, 2012).

Baseando-se na análise multitemporal, observou-se a redução do padrão LFD1, assim como dos demais padrões de degradação florestal, no último período de observação (i.e., 2005–2011). Assim como para Novo Progresso, esse resultado pode ser parcialmente associado à política mais restritiva de uso dos recursos florestais após o ano de 2004 (VALERIANO et al., 2012a), mas também à exaustão de madeira na região, já que Sinop possui histórico de mais de 30 anos de uso de florestas pela atividade madeireira (LENTINI; VERÍSSIMO; PEREIRA, 2005).

A redução na produção de madeira em tora já vem sendo observada pelos dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) nas últimas duas décadas (Figura 5.14). Esses dados indicam que o volume de madeira em tora extraído de Sinop e região reduziu de 2.000.000 m³ no ano de 1995 para 165.000 m³ em 2013. Esse declínio foi seguido de aumento de produção nas novas fronteiras madeireiras do extremo noroeste do Mato Grosso, tais como Aripuanã e Arinos.

Essas regiões recém-colonizadas do Mato Grosso contém grande estoque de madeira de elevado valor econômico, contudo, ainda possuem limitada infraestrutura (ANGELO; SILVA; SILVA, 2004). Além da conexão da indústria madeira de Sinop com a madeira oriunda do Noroeste do Mato Grosso, há também conexão com a madeira extraída em Novo Progresso.

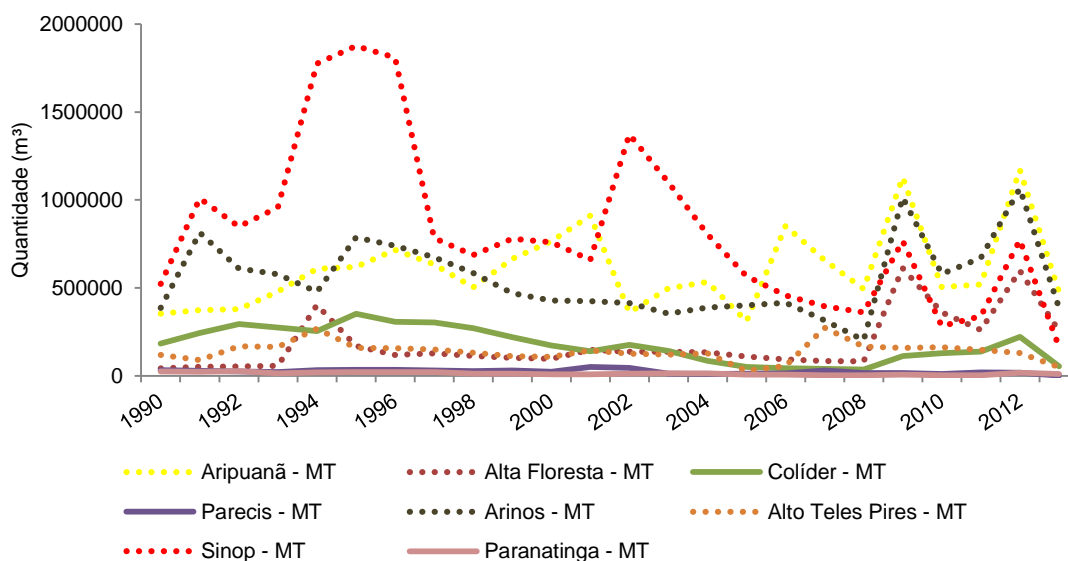


Figura 5.14 - Produção de madeira em oito microrregiões madeireiras do Estado do Mato Grosso
 Fonte: IBGE (2013)

Ao longo da série temporal, a maior extensão de padrão associado ao fogo florestal (HFD2) foi observada no período 1998–2004 (Figura 5.13, p.102). A extensão do padrão HFD2 entre 1998–2004 foi aproximadamente cinco vezes a observada no primeiro período 1984–1997. Entre 2005–2011, observou-se redução na extensão de área degradada por fogo florestal, mas ainda superior à detectada entre 1984–1997. Picos de ocorrência desse padrão foram observados entre os anos 2000 e 2001, com 530 e 657 km², respectivamente. Ao final de 28 anos, detectou-se uma área de 2587 km² de padrão HFD2.

O padrão HFD2 está associado à degradação florestal por fogo florestal de alta intensidade, efetivamente detectado nesse estudo e associado ao padrão típico de cicatriz de fogo florestal (i.e., faixas circulares concêntrica de padrão espectral róseo, intercaladas por faixas de vegetação de coloração verde, na composição colorida RGB e bandas 5,4,3 sensor TM/Landsat). Contudo, os padrões LFD2 e MFD2 podem estar associados ao fogo de baixa intensidade e, portanto, o fogo florestal pode ter extensão superior à indicada apenas pelo padrão HFD2.

5.4.3 Análise multitemporal de mudanças de cobertura da terra em Sinop (MT)

Com base na análise multitemporal (1984–2011), observaram-se que as atividades antropogênicas, que resultaram em degradação da floresta e corte raso, afetaram aproximadamente 91% da área de estudo, restando uma área de 9% de floresta na qual não foram detectadas alterações no período de análise. A Figura 5.15 apresenta a área (km²) de extensão de floresta degradada e de incremento de corte raso ao longo do período 1984–2011.

Observou-se que desde o início da análise temporal as áreas de floresta degradada detectadas anualmente foram superiores às áreas de incremento observadas para o corte raso. A área de corte raso superior à de floresta degradada no início da série temporal é devido ao desmatamento acumulado até 1984, que representou 3828 km² ou 14% da área de estudo.

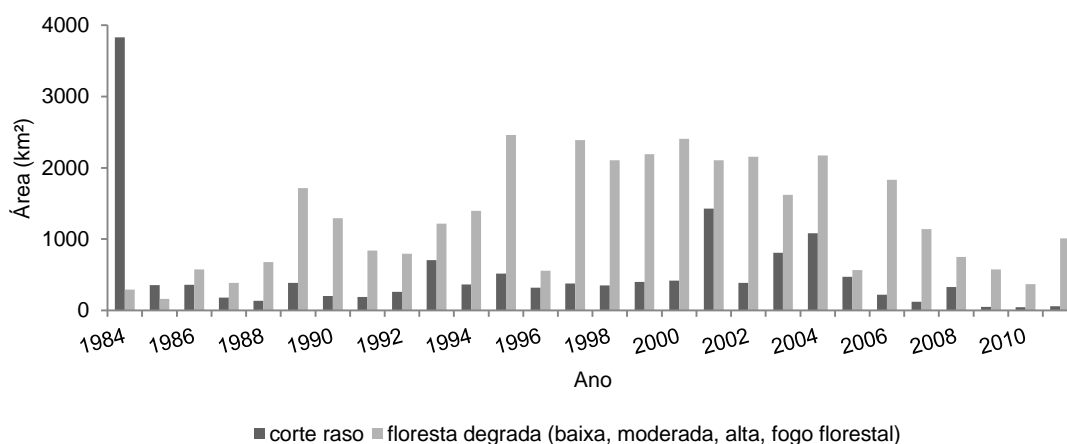


Figura 5.15 – Extensão (km²) de floresta degradada e corte raso em Sinop, Mato Grosso (1984–2011)

Ao final da análise temporal (i.e., 2011), mapearam-se 35.767 km² e 14.380 km² de florestas degradadas e de corte raso, respectivamente. A extensão total da área de degradação florestal (i.e., 35.767 km²) representa uma área superior à área de estudo (i.e., 27.367 km²), o que indica uma alta proporção de florestas degradadas que foram revisitadas por madeireiros e/ou que sofreram

recorrência de fogo florestal. Calculou-se que a área de recorrência de degradação florestal foi de 18.095km², área superior à extensão de degradação florestal na área de estudo, que foi de 17.672 km² (área física).

A Figura 5.16 apresenta a extensão (Km²) de trajetórias de mudança de cobertura da terra na área de estudo. A análise multitemporal indicou que 34% das alterações de cobertura da terra detectadas na área de estudo de 1984–2011 foram associadas à trajetória de degradação persistente, ou seja, quando a floresta não é convertida em corte raso após extração de madeira e/ou fogo florestal (Figura 5.16). Este resultado corrobora o estudo de Matricardi et al. (2010), que indica que o principal destino das florestas exploradas na região não é a conversão da floresta para corte raso.

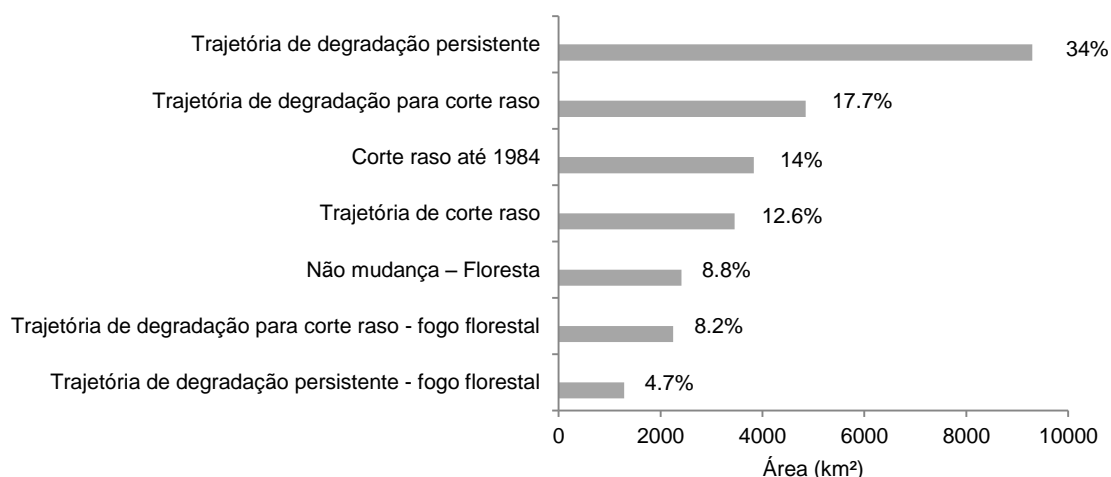


Figura 5.16 – Extensão (km²) de trajetórias de degradação florestal, de corte raso e de não mudança (Floresta) em Sinop (MT): período de 1984–2011

Aproximadamente 26% das alterações de cobertura da terra total foram associadas à trajetória de degradação com corte raso e 12,6% às trajetórias de corte raso. Entre as trajetórias de degradação com ocorrência de fogo florestal, 64% culminaram em corte raso (trajetória de degradação com corte raso-fogo florestal) e 36% permaneceram como floresta degradada (trajetória de degradação persistente-fogo florestal). A floresta, ou seja, trajetória de não mudança representou 8,8%.

A análise multitemporal indicou que uma grande proporção (27%) da área de corte raso total (14.380 km²) foi desmatada até o ano 1984. O contexto da época, de intenso fluxo migratório e incentivo à implantação de projetos para a agricultura e de madeiras (TEIXEIRA, 2006), favoreceu a conversão de áreas de floresta, especialmente porque, para obter o título definitivo pelo INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária)¹⁰, a área deveria ser desmatada pelos colonos em pelo menos 50%. O desmatamento se intensificou com a pavimentação de cerca de 330km da BR-163 entre os municípios de Sinop e Diamantino, no ano de 1984 (MARGARIT, 2012).

Adicionalmente, as técnicas de manejo florestal de impacto reduzido eram praticamente inexistentes, e não se tinha um controle efetivo da origem da madeira. O que se praticava era a cobrança, pelo extinto IBDF (Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal), de uma taxa aos madeiros por árvore derrubada. A arrecadação seria utilizada na recuperação das áreas exploradas, mas isso foi efetivamente colocado em prática (RAVACHE, 2013). Como consequência, observa-se na Figura 5.17, que uma pequena proporção de trajetórias de degradação florestal sem a conversão de floresta (trajetória de Degradação persistente, 10%), teve início no período anterior à década de 1990.

Da análise da Figura 5.17 observa-se que houve gradativo aumento de ocorrência de trajetórias de degradação florestal (persistente e com conversão) e estabilização de trajetórias de corte raso. Após 1997, observou-se que as alterações na paisagem foram caracterizadas por trajetórias de degradação persistente, predominando principalmente no período 1997 a 2004.

¹⁰ INCRA, órgão gestor dos projetos de colonização/assentamento.

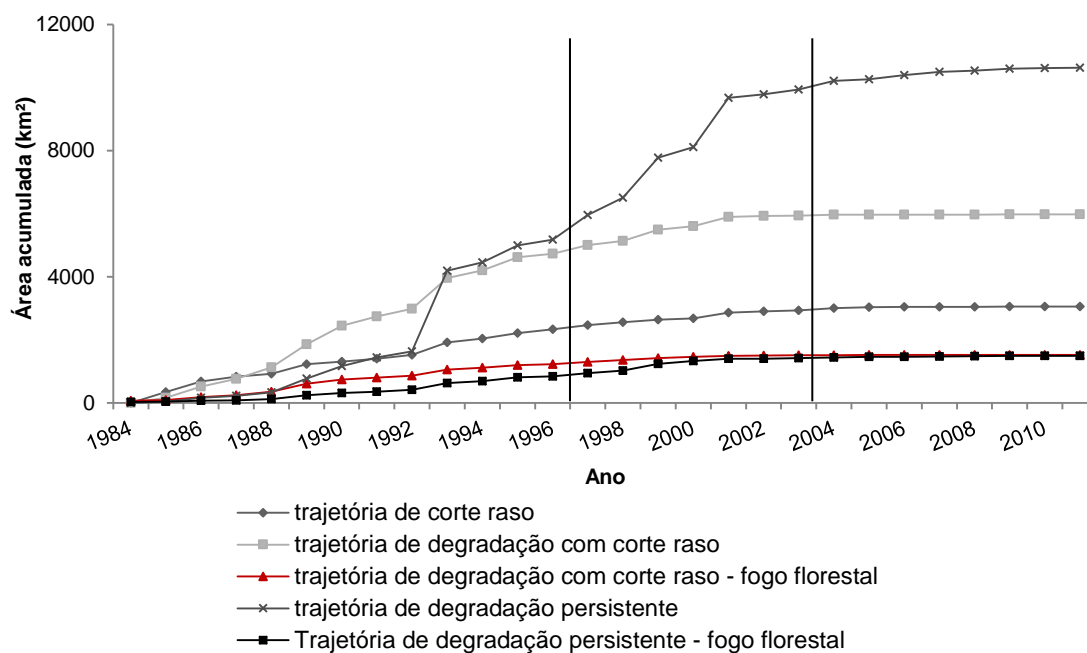


Figura 5.17 – Trajetórias de mudança de cobertura da terra: Evolução anual entre 1984 e 2011, em Sinop (MT) (barras verticais marcam três períodos: 1984 a 1997; 1998 a 2004; 2005 a 2011)

Embora muitas madeireiras em Sinop e região tenham migrado para o sul do estado do Pará ou tenham mudado de atividade econômica (agropecuária, prestação de serviços) após a escassez de madeira (RAVACHE, 2013), uma parte delas permaneceu na região. O estudo de Angelo et al. (2004) indica que o polo madeireiro de Sinop tipicamente é representado por madeireiras que se instalaram entre os anos de 1975 e 1996. Isto porque a escassez de madeira pode servir de incentivo para o investimento no manejo florestal sustentável, especialmente em se tratando das grandes madeireiras, pois é uma forma de reduzir o desperdício, aproveitar um maior número de espécies e manter os estoques para o mercado consumidor.

O estudo de Stone (1998) analisou a dinâmica da indústria madeireira de Paragominas (PA), um caso de fronteira em processo de consolidação na época do estudo. O estudo indicou que a distância ao mercado, o custo de transporte, o preço líquido da madeira e a segurança sobre os títulos de propriedade são fatores que influenciam a decisão em investir no manejo florestal sustentável. O estudo detalha que, inicialmente, as empresas lidam com a escassez de recursos florestais com investimentos em caminhões maiores (para cobrir maiores distâncias e reduzir o custo de transporte) e com tecnologias avançadas (para tirar proveito da economia de maior escala). Quando a escassez se acentua, as madeireiras tomam a decisão entre investir novamente em estoques de capital natural (uma opção para grandes serrarias e madeireiras), fechar (a melhor opção para as pequenas serrarias), ou migrar para áreas mais remotas.

A Figura 5.18 apresenta o destino das florestas (i.e, o corte raso ou a degradação persistente), resultante da observação de trajetórias de cobertura da terra iniciadas em diferentes períodos. Para cada ano é demonstrada a área de floresta que é convertida em até um ano, indicada pelo valor 0 (o valor 0 indica as florestas convertidas em corte raso sem detecção prévia de degradação florestal, seguem as trajetórias rápidas de corte raso); a área de floresta que foi convertida entre 1 e 28 anos (indica a trajetória de degradação florestal para corte raso, e os diferentes anos indicam o número de anos até a conversão da floresta em corte raso); e as florestas que não foram convertidas em corte raso até o final do período de observação, indicada pela legenda >28 anos (indica a trajetória de degradação persistente).

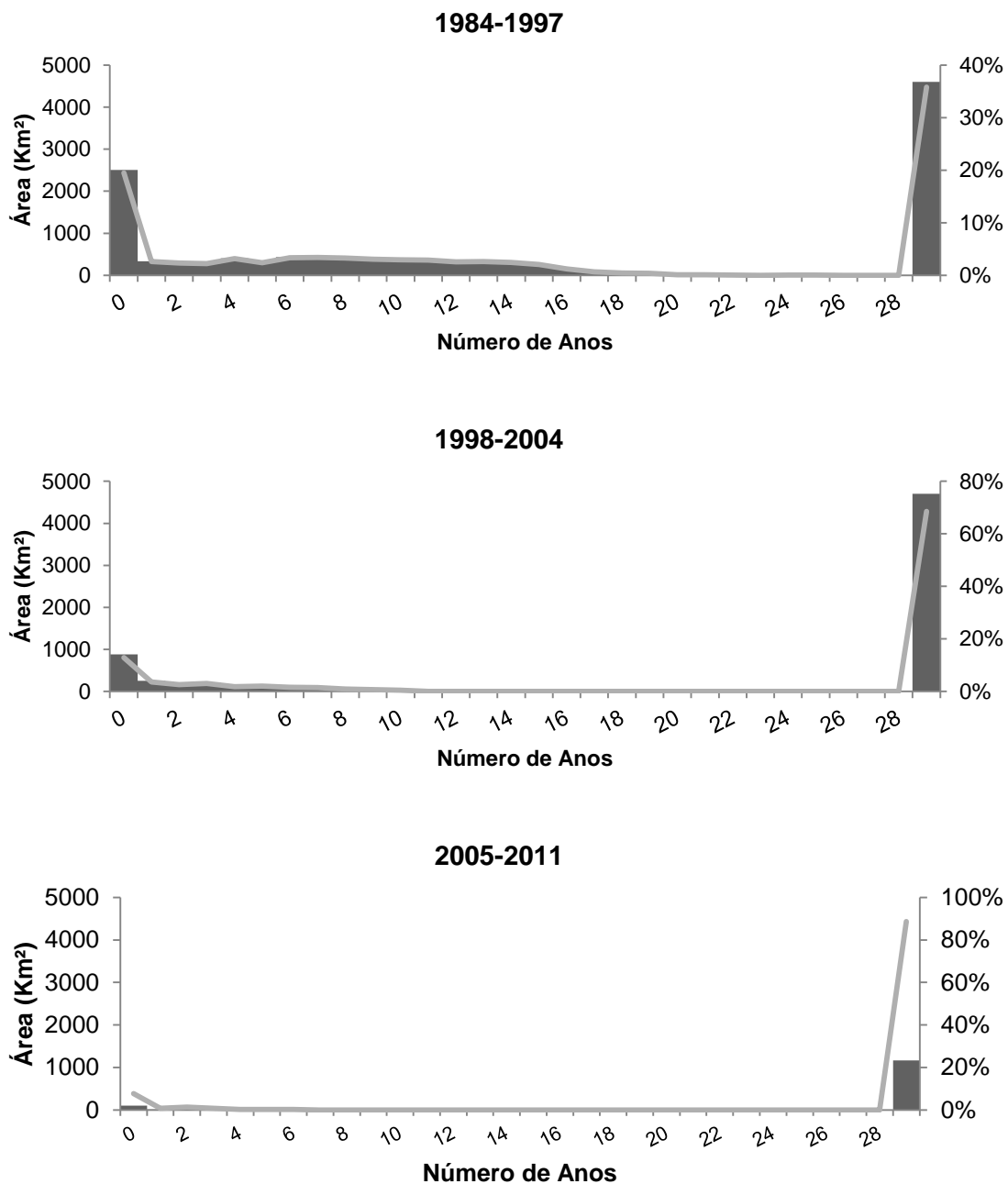


Figura 5.18 – Destino das florestas em trajetórias de cobertura da terra iniciadas em diferentes períodos, em Sinop (MT) (eixo x: o valor 0 representa a Trajetória de Corte Raso; valores de 1 a 28 representam a Trajetória de Degradação para Corte raso, e os diferentes anos indicam o número de anos até o corte raso; e o valor >28 indica a Trajetória de Degradação Persistente

A Figura 5.18 indica, por exemplo, que há uma extensa área de floresta degradada detectada nas décadas de 80 e 90, que não foi convertida em corte raso até o último ano de observação (i.e., 2011). Este resultado difere de Novo progresso, onde a maior parte das trajetória de degradação persistente teve início somente a partir dos anos 2000. A Figura 5.18 indica também que essa proporção de floresta degradada e não convertida cresceu gradativamente ao longo do período de observação.

Observa-se na Figura 5.18 que a conversão de floresta em corte raso no prazo de um ano (indicado pelo valor 0) ocorre até meados dos anos 90, contudo há picos de conversão rápida em 2000 e 2005. Esse período a partir de 2000 coincide com um novo anúncio do governo federal da conclusão da pavimentação da BR-163 (MARGARIT, 2012). A instalação do terminal de grãos da Cargill (2001-2003) em Santarém é um dos casos de projetos instalados com base na expectativa da consolidação da rota de escoamento, principalmente da soja, pela BR-163. Historicamente, a expectativa de viabilização de projetos de transportes na Amazônia coincide com períodos de intensa mudança de cobertura da terra.

Com base na análise multitemporal, observou-se que após o ano 2004 houve redução na extensão das trajetórias de mudança de cobertura da terra (Tabela 5.6). Novamente, esse resultado pode ser efeito do maior poder de punição do IBAMA aos infratores (NEPSTAD et al., 2002); à concepção do Sistema DETER (Sistema de Detecção do Desmatamento em tempo Real), um instrumento auxiliar de combate ao desmatamento que fornece informações diárias sobre novas áreas desmatadas ou em processo de desmatamento (VALERIANO et al., 2012a); e também do DOF (Documento de Origem Florestal). Além disso, a Moratória da Soja, realizada em 2006, também tem sido relacionada à redução do desmatamento na região (RUDORFF et al., 2011).

Tabela 5.6 – Área de mudanças da cobertura florestal em cada período e em relação o quanto dessas mudanças corresponderam a degradação e corte raso – Sinop (MT)

Trajetórias	Período (Ano)			Total
	1984-1997	1998-2004	2005-2011	
Área (Km²)				
Corte Raso	2467 (16%)	535 (8%)	50 (9%)	3052
Degradação para Corte Raso	5002 (32%)	964 (15%)	10 (2%)	5976
Degradação para Corte Raso/FogoFlorestal	1302 (8%)	213 (3%)	9 (2%)	1524
Degradação Persistente	5955 (38%)	4255 (66%)	421 (78%)	10631
Degradação Persistente/Fogo Florestal	941 (6%)	503 (8%)	48 (9%)	1492
Total (Km²)	15667	6470	538	22675

A redução de trajetórias de degradação após 2004 pode indicar que parte da madeira extraída na área de estudo tem origem ilegal. As análises de Monteiro e Souza (2012) e Angelo et al. (2004) indicam que 39% da madeira no estado do Mato Grosso tem origem não autorizada, e que, em Sinop, a oferta de madeira tem origem preferencialmente em florestas de terceiros, ou seja, pouca integração entre a indústria de processamento da madeira e a indústria que extrai a madeira. Estes fatos indicam que, uma vez que há aumento de fiscalização, há redução da extração ilegal de madeira e queda de produção na indústria que processa a madeira. Esta situação não seria esperada em locais onde a madeira tem origem, majoritariamente, de planos de manejo autorizados.

A Figura 5.19 apresenta a distribuição espacial de trajetórias de células de cobertura da terra em Sinop. Observa-se que grande parte da área de floresta desmatada até 1984 ocorre próxima às cidades e na rodovia BR-163, ao longo da qual eram instalados os projetos de colonização fortalecidos na década de 70.

A partir dessas áreas desmatadas até 1984, observa-se a expansão das trajetórias de corte raso e degradação florestal com corte raso. A Figura 5.19 ilustra também que as trajetórias afetadas pelo fogo florestal ocorrem próximas às áreas já desmatadas, e provavelmente estão associadas ao fogo de origem antrópica. De acordo com as entrevistas de campo, o fogo na área de estudo é tipicamente utilizado na limpeza de pastos, a partir do qual ele pode acidentalmente ou intencionalmente, se espalhar para as florestas próximas.

A trajetória de degradação florestal persistente pode ser observada em áreas de manejo florestal, próxima às manchas remanescentes de florestas nas quais não foram detectadas alterações. Com base na análise de células de trajetórias de degradação florestal persistente, verificou-se que 60% dos planos de manejo florestal, atualmente ativos, já foram explorados e, a última exploração ocorreu há menos de 35 anos, mais frequentemente na década de 90, quando houve a intensificação do funcionamento de madeireiras na região (PICOLI, 2004). Isto pode comprometer a viabilidade de longo prazo da indústria madeireira regional, pois um período menor que o especificado legalmente pode limitar novos ciclos de exploração da madeira. Como demonstrado anteriormente, os dados produzidos pelo IBGE já indicam a redução da extração de madeira em tora na região de Sinop.

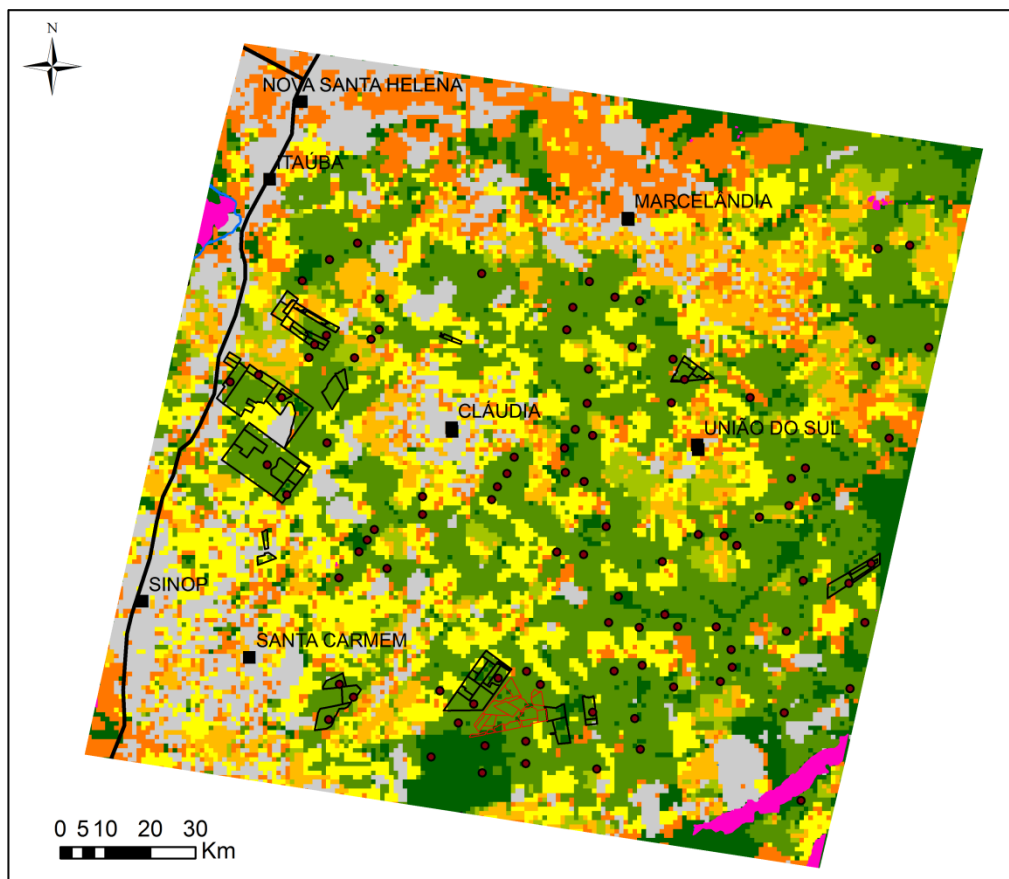


Figura 5.19 – Trajetórias das células em Sinop (MT) entre 1984 e 2011, representando áreas de degradação florestal e o processo de desmatamento ao longo da rodovia BR-163, próximo às cidades e em áreas de manejo florestal (AUTEF)

Estes resultados demonstram que há dois processos distintos que causam o desmatamento em Sinop. O primeiro está relacionado aos projetos de colonização que causaram o desmatamento de extensas áreas de floresta, principalmente na década de 70. A partir de então, a região sofreu constante evolução nos índices econômicos e sociais devido à característica de sua colonização (i.e, mediada por empresas particulares e colonizada por agricultor

capitalizado sul do país), e também devido à proximidade com o trecho asfaltado da BR-163 em 1976 (MARGARIT, 2012). A relativa facilidade de transporte viabilizou o desenvolvimento do agronegócio, o que causou o desmatamento de áreas para uso nesse setor.

O segundo processo está associado à atividade madeireira, que causa alterações graduais na cobertura do dossel, e é associada à extração de diversas espécies madeireiras, não somente aquelas de alto valor comercial. Esse processo, contudo, não leva ao corte raso da floresta. Antes da década de 1980, a frente madeireira era formada por empresários do mogno, e a madeira ainda era um subproduto do desmatamento (PICOLI, 2004). Ao longo do tempo, a indústria de transformação e beneficiamento da madeira se estabeleceu na região, e se dissociou da agropecuária (CUNHA, 2011; IPAM, 2006). Uma maior adesão aos planos de manejo foi observada, à medida em que foi necessário manter fontes mais seguras de matéria-prima florestal para suprir o mercado consumidor (BRASIL, 2005). Com maior investimento na gestão das florestas, menor pode ser a probabilidade de conversão da floresta (RIVERO; ALMEIDA, 2008).

5.4.4 Trajetória de degradação florestal na fronteira madeireira consolidada: o caso de Sinop, Mato Grosso

As áreas que sofreram degradação florestal e que resultaram em corte raso da floresta (trajetória de degradação com corte raso) foram caracterizadas, nesta região, por apresentar ao menos 2 ciclos de extração antes da substituição da floresta por corte raso, representando 60% das trajetórias associadas à degradação florestal com corte raso. Esta proporção pode estar subestimada pois as transições de padrões de intensidade de degradação florestal baixa→moderada, baixa→alta, moderada→alta, entre anos consecutivos, podem também significar diferentes ciclos. Matricardi et al. (2010) também observaram, na mesma região de estudo, que florestas exploradas podem ser sistematicamente acometidas por novos ciclos de exploração.

O número de ciclos de extração de madeira é associado ao número de espécies utilizadas no mercado da madeira regional, que por sua vez está associado à idade da fronteira madeireira (VERÍSSIMO et al., 2008). Sinop tem uma história de atividade madeireira com mais de 30 anos, o que, conseqüentemente, reduziu os recursos florestais locais (Veríssimo et al., 2008). Assim, uma das alternativas para manter a viabilidade dessa atividade no longo prazo e da indústria florestal regional, é o aumento da capacidade produtiva da empresa e aumento número de espécies de árvores comercializáveis extraídas.

A Figura 5.20 apresenta a relação entre porcentagem de células de trajetória de degradação florestal com corte raso e número de anos até a conversão. Observou-se que aproximadamente 30% da floresta explorada foi posteriormente convertida em corte raso no prazo de 4 a 5 anos, 50% entre 7 a 8 anos, 70% em até 10 anos, alcançando 90% de conversão em 14 anos.

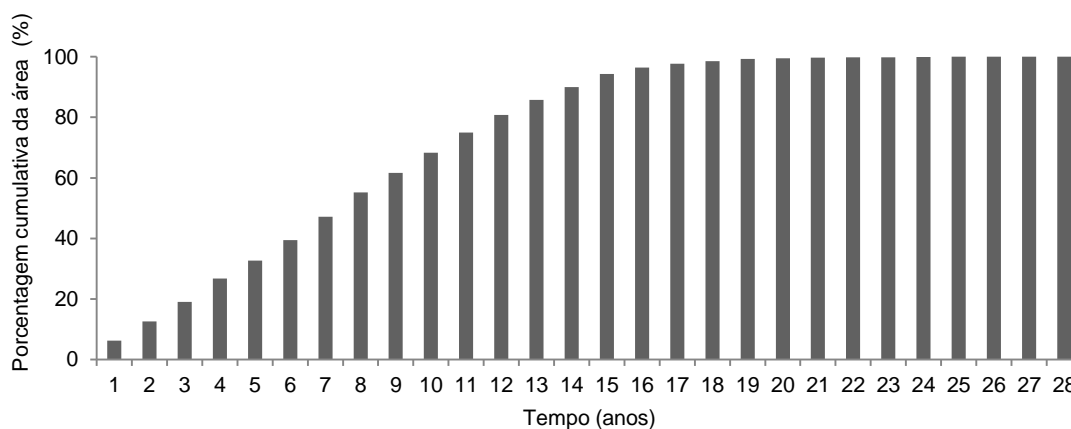


Figura 5.20 – Número de anos entre a degradação florestal inicial e o corte raso da floresta em Sinop (MT) (área com relação à trajetória de degradação florestal para corte raso)

Asner et al. (2006), em uma análise temporal de 4 anos (2001-2004) no estado do Mato Grosso, observou que 36% das florestas degradadas são convertidas em 4 anos, resultado similar ao encontrado para Sinop no presente estudo. Contudo, como observado para o caso de Novo Progresso, extrapolar

informações sobre o processo de degradação florestal utilizando uma série temporal curta e abrangendo regiões diferentes em termos de histórico de uso e ocupação, estoques madeireiros, fatores sócioeconômicos, podem acarretar interpretações errôneas sobre esse processo localmente, com efeitos sobre a política de prevenção ao avanço do desmatamento ou sobre o cálculo de emissões de carbono devido à degradação florestal.

Diferentemente de Novo Progresso, em Sinop não houve trajetórias de degradação florestal que pudessem ser caracterizadas como principais. Em Sinop 50% das trajetórias de degradação foram representadas por 320 tipos de transições de cobertura da terra, contrastando com os seis tipos encontrados em Novo Progresso. A Figura 5.21 apresenta as transições que ocorreram, ao menos, com 1% de frequência.

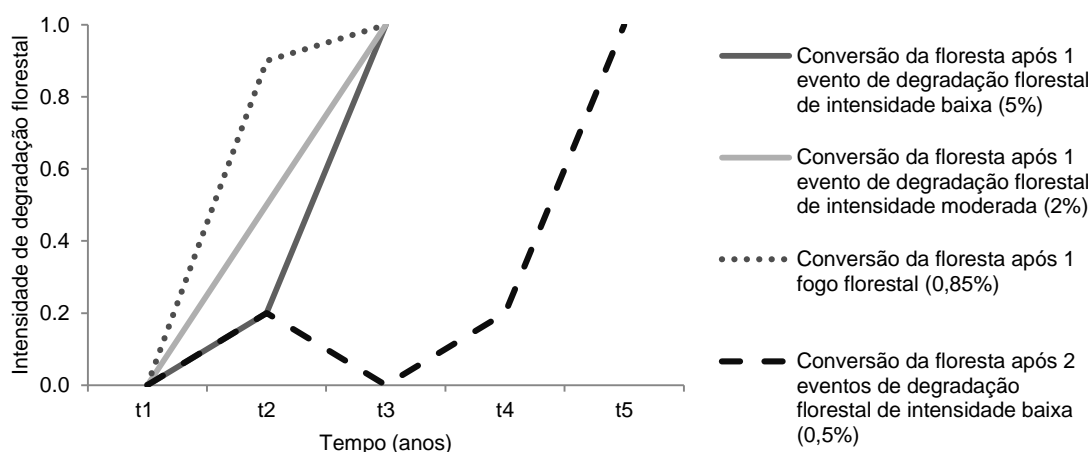


Figura 5.21 – Principais transições de cobertura da terra associadas à trajetória de degradação florestal com corte raso em fronteiras madeireiras consolidadas: o caso de Sinop, Mato Grosso

Como descrito na seção 4.3.3., para a construção dessas trajetórias, os padrões de degradação florestal (ver Tabela 4.5) foram arbitrariamente agrupados em intensidade baixa (0,2 – 0,3), intensidade moderada (0,4 – 0,6) e intensidade alta (0,7 – 0,9). Contudo, as transições de cobertura da terra associadas às trajetórias de degradação florestal em Sinop foram bastante heterogêneas, mesmo após o agrupamento dos padrões nas classes baixo,

moderado e alto. Devido ao padrão geral observado de ocorrência de múltiplos ciclos de extração de madeira, podendo haver também recorrência de fogo florestal, a convergência de transições de cobertura da terra para um mesmo tipo tornou-se mais rara.

A análise da degradação florestal devido ao fogo florestal indica que o fogo pode ocorrer no primeiro ano de degradação da florestal (12%), mas é mais frequente sua ocorrência após a detecção de extração de madeira (Figura 5.22). Essa associação entre extração de madeira seguido de fogo florestal já foi detectada na região em outro estudos (COCHRANE et al., 2005). A Figura 5.22 indica que aproximadamente 50% das ocorrências de fogo florestal foram detectadas nos primeiros 6 anos após a degradação inicial por extração de madeira, 70% nos primeiros 9 anos e 90% nos primeiros 12 anos.

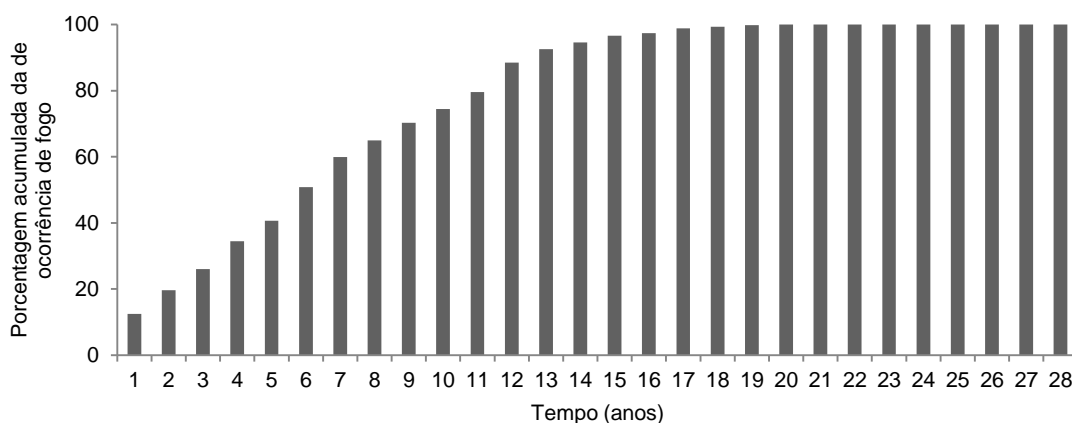


Figura 5.22 – Porcentagem cumulativa da ocorrência de fogo florestal antes e após a detecção de extração de madeira (ano 1 indica degradação inicial associada somente à fogo florestal; ano 2 a 28 indica que houve detecção prévia de extração de madeira antes de fogo florestal)

Embora o fogo não tenha representado a principal causa da degradação da floresta em termos de área afetada, foi a principal causa de padrões de degradação florestal de intensidade alta, em comparação à atividade madeireira. O fogo florestal pode causar perdas de mais de metade da população de árvores de dossel e emergentes (BARLOW; PERES, 2008), as quais representam os maiores estoques de biomassa florestal (LAURANCE et al., 1997), causando a perda de cerca de 200Mg/ha-1 de biomassa florestal acima do solo (GERWING, 2002). O incêndio florestal também pode impedir ou retardar a regeneração da floresta, devido à destruição do banco de sementes (BARLOW; PERES, 2008).

Eventos sistemáticos de fogo florestal foram observados em Sinop e região, resultado similar ao encontrado por Matricardi et al. (2010). Contudo, eventos sistemáticos de fogo florestal afetaram apenas 11% (n=391 células) das trajetórias de degradação (i.e., trajetórias de degradação persistente e com corte raso). Entre essas células que apresentaram apenas eventos de fogo florestal, cerca de 80% foram convertidas em corte raso. Os 20% restantes não foram convertidos, mas estudos anteriores indicam que florestas afetadas por fogo são drasticamente modificadas em termos estruturais e de composição florística (BARLOW; PERES, 2008).

Por outro lado, todas as trajetórias em que ocorreram eventos de extração de madeira e também de fogo florestal, culminaram com a conversão para corte raso. A floresta explorada e queimada pode ter perda de cerca de 85% de suas árvores e de sua biomassa florestal (GERWING, 2002), e, portanto, esse sinergismo pode facilmente levar à conversão de floresta em corte raso (COCHRANE, 2003).

As sequências de mudanças da cobertura da terra associadas à trajetória de degradação persistente também foram caracterizadas por múltiplos ciclos de extração de madeira (70% das células), geralmente associadas à degradação florestal de intensidade baixa a moderada intensidade. As novas detecções acontecem em um tempo inferior ao previsto no ciclo de manejo, que é de 1 ciclo de extração a cada 30-35 anos (BRASIL, 2009).

Contudo, não foi possível afirmar se essas detecções estavam associadas à implantação da infraestrutura do plano de manejo (por exemplo, construção de estradas principais e secundárias), que geralmente ocorre um ano antes do início efetivo da exploração da madeira. Além disso, após finalizado o período licenciado de exploração de uma área, a empresa pode solicitar a reentrada na área caso comprove que não houve tempo hábil para a exploração de todo potencial madeireiro permitido.

6 AS FRONTEIRAS DE OCUPAÇÃO NA AMAZÔNIA E AS TRAJETÓRIAS DE DEGRADAÇÃO FLORESTAL

Sinop (MT) e Novo Progresso (PA) tiveram o surgimento de seus primeiros núcleos populacionais associados aos projetos de colonização e agropecuários do governo federal e à abertura dos eixos rodoviários, especialmente a construção da rodovia BR-163. Contudo, ao longo da consolidação e desenvolvimento desses municípios observam-se particularidades em termos de processo de ocupação (colonização dirigida x espontânea), atividades econômicas principais, destinação da terra (uso da terra x conservação ambiental), que influenciaram as trajetórias de cobertura da terra e a paisagem como atualmente observada.

Os resultados obtidos nesse estudo refletem os diferentes estágios de fronteira em que se encontram essas duas áreas de estudo. A Figura 6.1 compara a porcentagem cumulativa de área de corte raso em Sinop e Novo Progresso, ao longo da série temporal. No início da década de 80, Sinop já possuía cerca de 30% da área de corte raso atualmente observada, enquanto Novo Progresso apresentava menos de 5%.

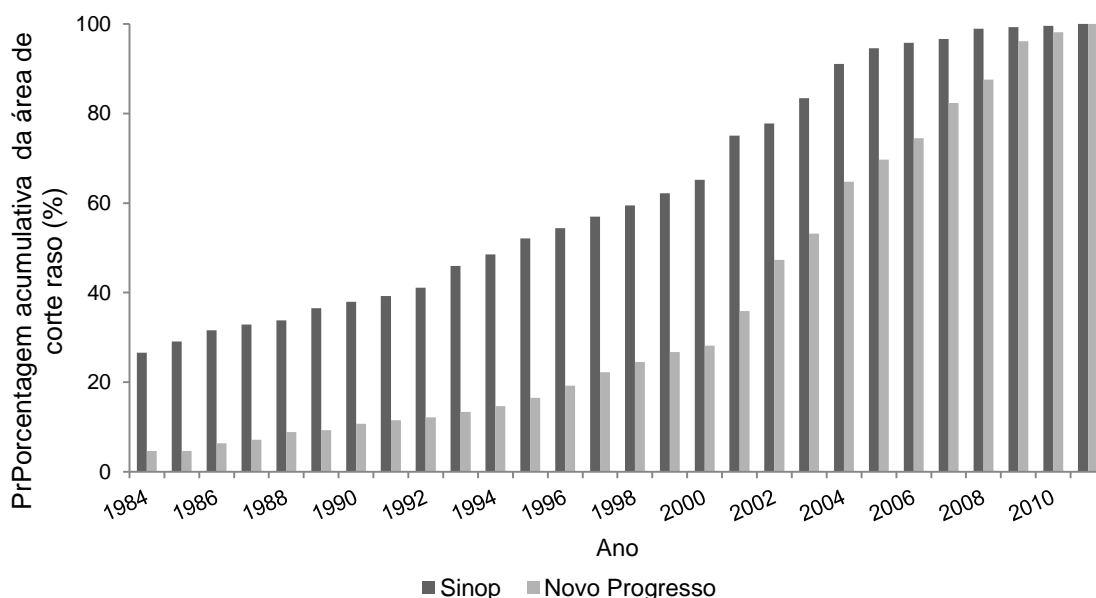


Figura 6.1– Porcentagem acumulada de desmatamento por corte raso em Sinop (MT) e Novo Progresso (PA)

Enquanto nos municípios cortados pelo trecho pavimento da BR-163, em 1976, incluindo Sinop, foi observada a consolidação do agronegócio em torno do cultivo de grãos, no trecho do Estado do Pará, não pavimentado nesta época, a economia se desenvolveu em torno de mineração, extrativismo e agricultura de subsistência (MARGARIT, 2012). Embora o garimpo seja uma atividade de alta degradação ambiental, ela ocorre localizada nas áreas de aluviões (BEZERRA; VERÍSSIMO; UHL, 1996; IPAM, 2006). Outros fatores associados estão a baixa atratividade populacional para a região gerada pelos projetos de colonização e agropecuários, em comparação às outras regiões prioritárias da Amazônia na década de 70.

Entre o final da década de 80 e meados da década de 90 não foram observadas extensas mudanças na paisagem nas duas regiões de estudo. Este período coincide com o período de desaceleração do crescimento populacional em ambos os estados, devido à redução do fluxo migratório e insucesso dos projetos agropecuários (MARGARIT, 2012).

Entre os anos 1998–2001, quando ocorreu um novo processo migratório em antecipação à pavimentação da BR-163, a extensão do desmatamento atinge aproximadamente 30% da área de corte raso atualmente observada em Novo Progresso. Nesse mesmo período, Sinop apresentava 75% da área desmatada por corte raso em relação ao total observado em 2011.

No período 2001–2004, a dinâmica de conversão da floresta se intensificou, principalmente em Novo Progresso, e a área de corte raso dobrou de extensão em apenas 4 anos, atingindo 70%, do observado em 2011, no ano de 2005. A partir de 2004 a extensão de corte raso em ambas as regiões de estudo é reduzida, seguindo uma tendência geral na Amazônia (Figura 6.2). Apesar disso, um novo pico de conversão foi observado em 2009 em Novo Progresso, seguido novamente de decréscimo. Em Sinop, tem sido observado relativamente reduzidos incrementos anuais de desmatamento por corte raso após 2004. Contudo, a área de corte raso acumulada em Sinop é cerca de duas vezes superior à observada em Novo Progresso.

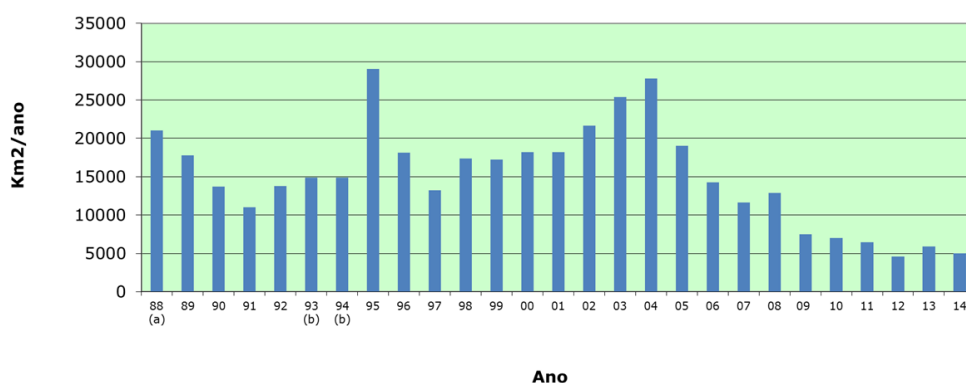


Figura 6.2 – Taxa de desmatamento anual na Amazônia Legal indicada pelo projeto PRODES

Fonte: INPE (2014)

A Figura 6.3 apresenta a extensão anual de degradação florestal entre 1984 e 2011 detectados em Sinop e Novo Progresso. Ao longo dos 28 anos de observação, mapeou-se uma extensão 17.672 km² de degradação florestal em Sinop (MT), sendo que 3533 km² foram associados ao fogo florestal de alta intensidade. Em Novo Progresso, a degradação florestal foi basicamente associada à extração de madeira, onde mapeou-se 6081 km². Contudo, em ambas as regiões de estudo a dinâmica de fogo florestal de baixa intensidade precisa ser melhor detectada e investigada.

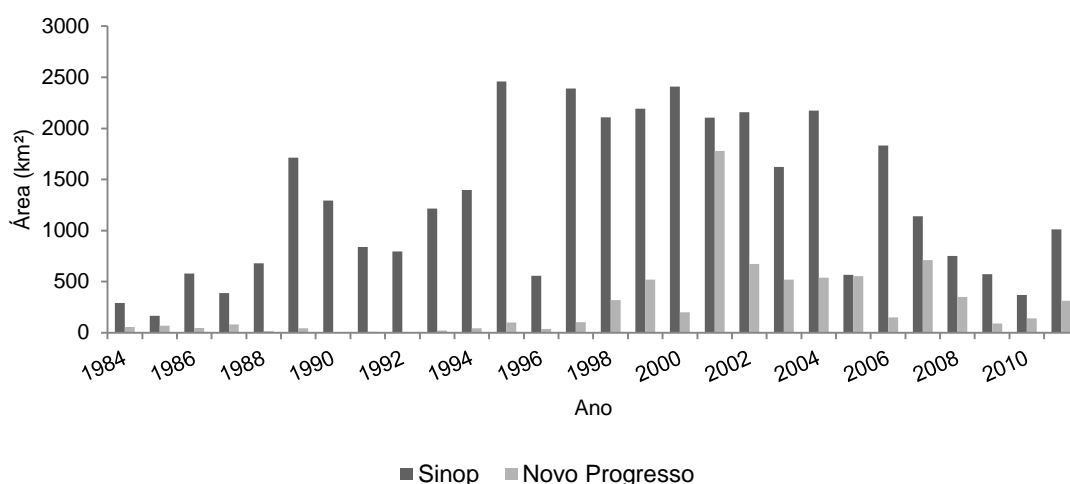


Figura 6.3 – Área de extensão de degradação florestal observada em Sinop (MT) e Novo Progresso (PA)

Observa-se na década de 90, extensa área de degradação florestal em Sinop, enquanto em Novo Progresso as alterações mais significativas na floresta devido à degradação florestal só ocorrem a partir de 1998. De acordo com as entrevistas obtidas em campo, o ano de 1998 marca um ciclo migratório de madeiras em Novo Progresso, devido ao projeto de pavimentação da BR-163. Nesse mesmo período, há intensificação da degradação florestal também em Sinop. A partir de 2004, observa-se a tendência à redução na extensão da área de degradação, em ambas as regiões de estudo.

A Figura 6.4 mostra o número de anos para a conversão da floresta, após a degradação inicial, nas duas áreas de estudo. Como visto anteriormente, a conversão da floresta em Novo Progresso, após detecção de degradação inicial, ocorre em 3-4 anos (50% das trajetórias). Em Sinop, essa trajetória é mais longa, com duração de cerca de 7-8 anos (50% das trajetórias).

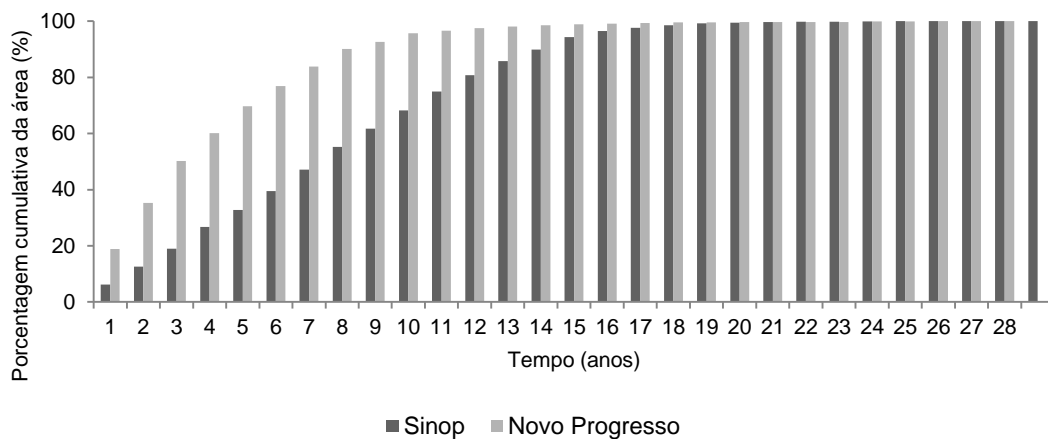


Figura 6.4 – Número de anos entre a degradação florestal inicial e o corte raso da floresta: o caso de Sinop (MT) e Novo Progresso (PA) (área com relação à trajetória degradação florestal com corte raso em cada região de estudo)

O maior dinamismo de conversão da floresta em Novo Progresso pode ser associado à especulação por terras e a um setor madeireiro pouco consolidado, com extração de madeira associada às espécies de alto valor comercial e de origem predominantemente de áreas de desmatamento (IPAM, 2006; MONTEIRO; SOUZA, 2012). Em Novo Progresso, há grande incidência de disputa de terra entre posseiros, madeireiros e produtores familiares, e mais recentemente, entre produtores recém chegados do Mato Grosso e produtores e posseiros que ocupam a terra a mais tempo (IPAM, 2006). A falta de segurança fundiária se reflete na baixa adoção de planos de manejo (SABOGAL et al., 2006), e repetição do padrão de extração madeira associado à expansão da pecuária, como forma de garantia da posse da terra (ROSTONEN, 2007).

Por outro lado, em Sinop tem-se a atividade madeireira dissociada da agropecuária, já que o empreendedor agropecuário ao longo do tempo passou a depender menos da venda da madeira para financiar suas atividades (IPAM, 2006); ao mesmo tempo que a escassez de estoque de madeira e a relativa facilidade de transporte favoreceram a exploração de um maior número de espécies comercializáveis, incluindo aquelas de médio e baixo custo. De acordo com as entrevistas em campo, atualmente são comercializáveis mais de 200 espécies arbóreas. Observou-se em Sinop, portanto, múltiplos ciclos de extração de madeira e trajetórias mais longas de degradação.

A Figura 6.5 apresenta a extensão (Km²) de trajetórias de mudança e não mudança em Sinop (MT) e Novo Progresso (PA), obtidas com a análise multitemporal de células entre 1984-2011. Observou-se que a mudança de cobertura da terra em Sinop é tipicamente associada à trajetória de degradação florestal, e particularmente àquela que a degradação é persistente; enquanto que em Novo Progresso há um balanço entre trajetórias de corte raso e trajetórias de degradação florestal, indicando que a trajetória rápida é tão importante quanto a trajetórias de degradação florestal para a modificação da paisagem.

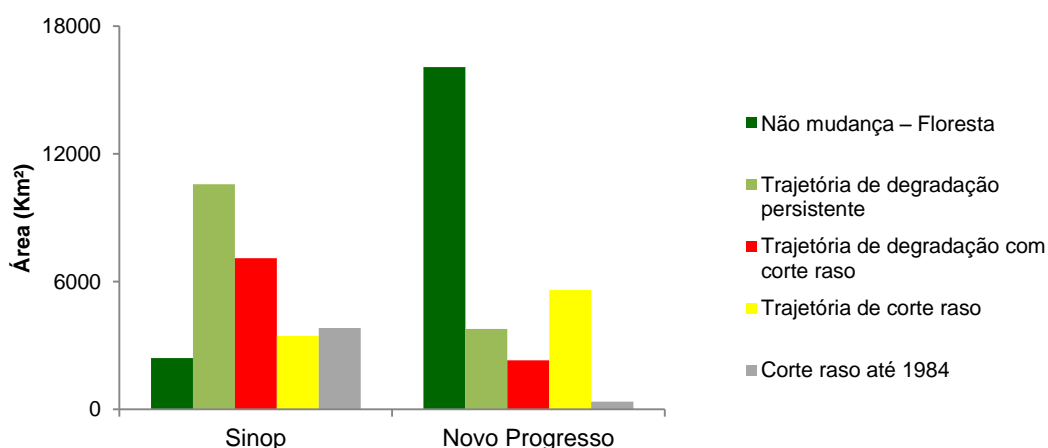


Figura 6.5 – Extensão de trajetórias de mudança e não mudança em fronteiras consolidadas e em expansão no período 1984 a 2011: o caso de Sinop (MT) e Novo Progresso (PA)

Um resultado importante deve ser ressaltado sobre as trajetórias de degradação florestal em Sinop e Novo Progresso. Entre as trajetórias de degradação florestal (17.672 km² em Sinop e 6081km² em Novo Progresso), observou-se a mesma porcentagem de degradação florestal que se torna corte raso (40%) e que se mantém degradada (60%) nas duas áreas de estudo (Figura 6.6).

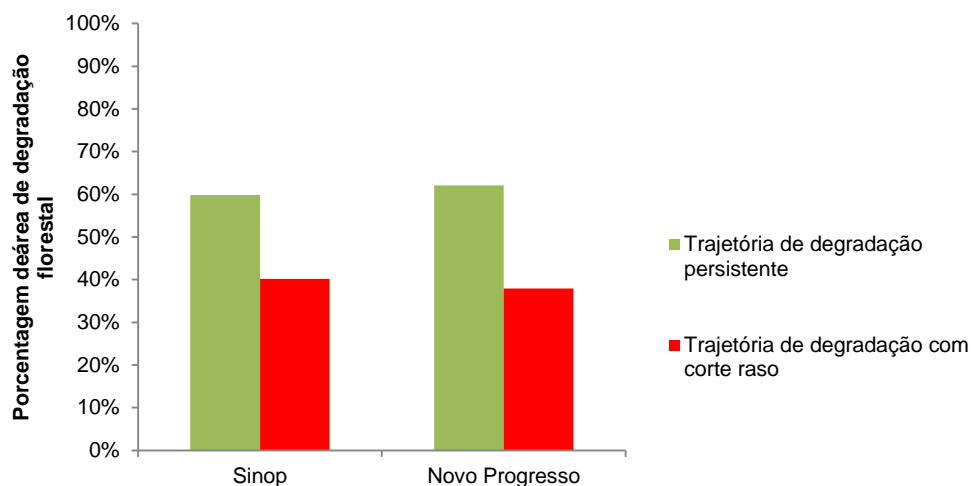


Figura 6.6 – Porcentagem de trajetória de degradação persistente e de corte raso em Sinop (MT) e Novo Progresso (PA)

Contudo, a degradação florestal é mais importante, em termos de área, nas fronteiras consolidadas do que nas fronteiras em expansão. Portanto, historicamente houve maior contribuição de emissões de carbono por degradação florestal nas fronteiras consolidadas do que nas fronteiras em expansão. Esses resultados tem implicações para a estimativa de emissões de carbono, e sugere que a linha de base para o cálculo de emissões históricas de carbono deve ser diferente para cada região. Em Novo Progresso, as trajetórias de degradação se tornam progressivamente mais importantes a partir de 1998, enquanto que em Sinop há trajetórias mais longas de degradação florestal, com início já na década de 80.

De acordo com Ramankutty et al. (2007) a confiabilidade nos modelos de emissão de carbono depende do nível de conhecimento sobre: 1) o histórico de longo prazo de mudanças da cobertura da terra (o que permitiria, por exemplo, contabilizar o processo de regeneração florestal); 2) o destino do carbono durante ou após o desmatamento (por exemplo, quantidade de carbono extraída da floresta pelo setor madeireiro, quantidade liberada para a atmosfera pelo fogo ou quantidade que se torna resíduo e se decompõe gradualmente na floresta); e 3) sobre a dinâmica da cobertura da terra antes e depois do desmatamento (por exemplo, quantas árvores são removidas antes do corte raso, quanto tempo leva até a conversão da floresta em corte raso).

Assim, outras particularidades do processo de degradação na fronteira consolidada e em expansão também devem ser consideradas no cálculo de emissão de carbono. Por exemplo, na trajetória de degradação florestal em Sinop observam-se múltiplas revisitas de madeireiros, enquanto que em Novo Progresso é tipicamente associada a um ciclo de extração de madeira.

Como resultado, a quantidade de carbono extraída da floresta, quantidade que se decompõe na floresta ou emitida pela queima é diferente na fronteira em expansão da fronteira consolidada. Estes resultados indicam que os modelos de emissão devem ser parametrizados considerando a heterogeneidade socioeconômica e de histórico de ocupação da Amazônia, pois esses fatores influenciam a velocidade e intensidade do desmatamento, e que, portanto, influenciam os resultados dos modelos.

Da mesma forma, essas particularidades da dinâmica de degradação florestal são importantes para a definição de ações de prevenção do desmatamento. Este estudo demonstra que a velocidade de conversão da floresta por trajetórias de degradação florestal é diferente entre fronteiras consolidadas em expansão, sendo essas trajetórias mais rápidas nas fronteiras em expansão, o que requer ações específicas para cada região. Neste sentido, este estudo aponta a ocorrência de fogo florestal (visto que cerca de 70% das florestas queimadas culminaram em corte raso em Sinop), o número de revisitas de madeireiros ou número de anos desde a primeira extração de madeira como indicadores para detectar áreas com alta probabilidade de desmatamento.

7 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nestes resultados de pesquisa, observou-se que o Índice Espectral DEGRADI, desenvolvido a partir de imagens fração solo e vegetação, foi eficiente para a detecção dos indicadores de degradação florestal. Em combinação com essa técnica de detecção, utilizaram-se técnicas de mineração de dados espaciais para classificar com sucesso diferentes padrões de degradação florestal e construir trajetórias.

Neste estudo, utilizou-se o espaço celular, que engloba um conjunto de polígonos/pixels, para caracterizar padrões associados à intensidade de degradação florestal. O espaço celular oferece a possibilidade de análise de contexto da degradação florestal, que não é possível quando analisa-se apenas os polígonos indicativos de degradação florestal. Adicionalmente, o espaço celular oferece a possibilidade de análise de toda a área afetada pela degradação, incluindo àquela devido ao efeito colateral de queda das árvores alvo de exploração, que muitas vezes não são observadas em sensores de moderada resolução florestal.

A abordagem de célula também viabilizou a construção e análise temporal de trajetórias. A célula de tamanho fixo, foi a base para a construção de trajetórias de mudança de cobertura da terra, com a vantagem de se manter a mesma unidade de análise ao longo do tempo. Da mesma forma, manteve-se a unidade de análise espacial, permitindo comparações entre diferentes regiões.

O presente estudo contribuiu com o entendimento da degradação florestal devido à extração de madeira e fogo florestal apresentando uma caracterização de longo prazo (1984-2011) dos principais padrões de degradação florestal e das principais trajetórias de degradação florestal.

Este estudo enfatiza que séries temporais de longa duração são essenciais para a caracterização da degradação florestal, pois séries curtas podem não ser conclusivas por apenas refletir a dinâmica do período de análise, e não

representar as mudanças históricas ocorridas. Embora o uso de imagens de moderada resolução espacial tenha algumas limitações técnicas (i.e., detecção de degradação florestal de baixa intensidade, nuvens), há a possibilidade de recuperar informações históricas e de detectar as alterações na floresta em um período de tempo compatível com os ciclos de exploração madeireira, o que os sensores de alta resolução não podem oferecer, pois são mais recentes e de alto custo econômico.

Este estudo mostra que a extração seletiva de madeira é a principal causa de degradação florestal nas duas áreas de estudo, corroborando estudos anteriores que também demonstraram que as florestas são cada vez mais afetadas pela atividade madeireira (MATRICARDI et al., 2010, 2005, 2012). Respondendo às questões científicas estabelecidas, com base na análise de padrões, observou-se que a degradação florestal nas duas áreas de estudo foi associada à intensidade baixa-moderada. Embora o papel do fogo florestal de baixa intensidade na trajetória de degradação florestal necessite ser melhor compreendido, esse estudo mostra que há indícios de que o fogo florestal afeta mais áreas de floresta em Sinop do que em Novo Progresso.

Este estudo também contribui para o entendimento do processo de degradação florestal demonstrando que a extensão da degradação florestal e a duração de trajetórias de degradação florestal são diferentes entre fronteiras madeireiras consolidadas e em expansão. Em Sinop a extensão da degradação florestal foi de 17.672 km², superior à encontrada em Novo Progresso (PA), que foi de 6081 Km².

Observou-se que a duração de trajetórias de degradação florestal, que convergem para corte raso, é de 3-4 anos nas fronteiras em expansão e de 7-8 nas fronteiras consolidadas, o que enfatiza que esses tipos de fronteiras são diferentes em termos de dinâmica de mudança da paisagem. Este resultado deve ser considerado conservador, já que as observações anuais e a limitação

na detecção de degradação que causa reduzida alteração na cobertura florestal podem subestimar o início da degradação na floresta.

Em termos de ações de prevenção ao desmatamento, este estudo indica que a velocidade de conversão da floresta é diferenciada nas duas áreas de estudo, e aponta alguns indicadores que podem ser utilizados para identificar áreas florestais com alta probabilidade de corte raso, tais como a ocorrência de fogo florestal, o número de revisitas de madeireiros ou número de anos desde a primeira extração de madeira.

Embora haja um senso comum que a degradação florestal sempre culmina no corte raso da floresta, este estudo demonstra que nem sempre esse é o destino final das florestas degradadas. Em Sinop esse tipo de degradação florestal teve início tipicamente nos anos 80-90, enquanto que em Novo Progresso apenas a partir de 2000.

Este estudo demonstrou que a análise da degradação florestal deve ser, portanto, associada ao contexto de cada fronteira ou região da Amazônia, pois nem sempre resultados obtidos em uma área abrangente podem ser aplicados localmente, corroborando a hipótese inicial de trabalho. Esse estudo mostra que aspectos como histórico de uso e ocupação podem influenciar a dinâmica da degradação florestal, como foi demonstrado para os casos de Sinop (MT) e Novo Progresso (PA), com efeitos no planejamento de ações de controle do desmatamento e na estimativa de emissões de carbono.

Portanto, a extrapolação dos resultados obtidos neste estudo para outras regiões da Amazônia requer cautela. No contexto das macrorregiões propostas por Becker (2005), a região de Sinop (MT) possui características de outras fronteiras consolidadas, tais como aquela na região de Paragominas (PA). Da mesma forma, a região de Novo Progresso possui características de outras frentes em expansão como o extremo noroeste do Mato Grosso e região de divisa dos estados do Mato Grosso, Amazonas e Rondônia. Ressalta-se,

contudo, que essas regiões ainda podem diferir em termos de acesso às florestas e mercado consumidor de madeira, e também em termos de proporção de áreas protegidas, com efeitos sobre a atividade de extração de madeira.

Em termos metodológicos, ressalta-se a necessidade de técnicas, métodos e algoritmos para mineração de trajetórias de mudança de cobertura da terra. Por exemplo, neste trabalho não foi possível determinar as trajetórias principais de degradação florestal em Sinop, devido ao elevado número de combinações de transições de cobertura da terra. Essas ferramentas automáticas de mineração de dados, portanto, auxiliariam na tarefa de encontrar padrões gerais para as trajetórias e também no detalhamento de padrões abrangentes. Neste sentido, o trabalho de Azeredo et al. (em revisão) é pioneiro, pois utilizou os dados produzidos para Novo Progresso para desenvolver um algoritmo de mineração de trajetórias de mudança de cobertura da terra. O mesmo estudo está sendo aplicado para Sinop, utilizando a série temporal produzida nesta tese.

Enfatiza-se também a necessidade de coleta de dados biofísicos em campo para relacionar à intensidade de degradação florestal, para melhor caracterização dos padrões e da perda de biomassa ao longo da trajetória de degradação florestal. Esta é uma área de pesquisa futura visando melhorar a parametrização de modelos de emissão de carbono.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADEODATO, Sérgio. **Madeira de ponta a ponta: o caminho desde a floresta até o consumo**. São Paulo: FGV, 2011. 128 p.

ALBERTI, Verena. **Manual de História Oral**. 3. ed. Rio de Janeiro: Fgv, 2003. 20 p.

ALMEIDA, Rodolfo Maduro; MACAU, Elbert. Stochastic cellular automata model for wildland fire spread dynamics. **J. Phys.: Conf. Ser.**, [s.l.], v. 285, p.012-038, 1 mar. 2011. IOP Publishing. DOI: 10.1088/1742-6596/285/1/012038.

ALVARADO, Ernesto et al. Landscape fragmentation and fire vulnerability in primary forest adjacent to recent clearings in the Amazon arc of deforestation. **Floresta**, Curitiba, v. 34, n. 2, p.169-174, maio 2004. DOI: 10.5380/rf.v34i2.2390.

ANDERSON, Liana et al. Burn scar detection based on linear mixture model and vegetation indices using multitemporal data from MODIS/ TERRA sensor in Mato Grosso State, Brazilian Amazon. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 35, n. 4, p.445-456, fev. 2005.

ANGELO, Humberto; SILVA, Gilson; SILVA, Versides. Análise econômica da indústria de madeiras tropicais: o caso do pólo de Sinop, MT. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 14, n. 2, p.91-101, maio 2004.

ASNER, Gregory et al. Remote sensing of selective logging in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 80, n. 3, p.483-496, jun. 2002. Elsevier BV. DOI: 10.1016/s0034-4257(01)00326-1.

ASNER, Gregory et al. Canopy damage and recovery after selective logging in Amazonia: field and satellite studies. **Ecological Applications**, [s.l.], v. 14, n. 4, p.280-298, ago. 2004. Ecological Society of America. DOI: 10.1890/01-6019.

ASNER, Gregory et al. Condition and fate of logged forests in the Brazilian Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [s.l.], v. 103, n. 34, p.12947-12950, 10 ago. 2006. DOI: 10.1073/pnas.0604093103.

ASNER, Gregory et al. Selective Logging in the Brazilian Amazon. **Science**, [s.l.], v. 310, n. 5747, p.480-482, 21 out. 2005. American Association for the Advancement of Science (AAAS). DOI: 10.1126/science.1118051.

ASNER, Gregory. Automated mapping of tropical deforestation and forest degradation: CLASlite. **Journal of Applied Remote Sensing**, [s.l.], v. 3, n. 1, p.335-545, 1 jan. 2009. SPIE-Intl Soc Optical Eng. DOI: 10.1117/1.3223675

ASNER, Gregory; KELLER, Michael; SILVA, José. Spatial and temporal dynamics of forest canopy gaps following selective logging in the eastern Amazon. **Global Change Biol**, [s.l.], v. 10, n. 5, p.765-783, maio 2004. Wiley-Blackwell. DOI: 10.1111/j.1529-8817.2003.00756.x.

AZEREDO, M. et al. Mineração de trajetórias de mudança de uso e cobertura da terra em estudos de degradação florestal. **Revista Brasileira de Cartografia** [em revisão].

BARLOW, Jos; PERES, Carlos. Fire-mediated dieback and compositional cascade in an Amazonian forest. **Philosophical Transactions Of The Royal Society B: Biological Sciences**, [s.l.], v. 363, n. 1498, p.1787-1794, 27 maio 2008. The Royal Society. DOI: 10.1098/rstb.2007.0013.

BARROS, Ana Cristina; UHL, Christopher. Logging along the Amazon River and estuary: Patterns, problems and potential. **Forest Ecology And Management**, [s.l.], v. 77, n. 1-3, p.87-105, set. 1995. Elsevier BV. DOI: 10.1016/0378-1127(95)03574-t.

BECKER, Bertha. **Amazônia**: geopolítica na virada do III Milênio. Rio de Janeiro: Garamond, 2005. 172 p.

BECKER, Bertha. Revisão das políticas de ocupação da Amazônia: é possível identificar modelos para projetar cenários?. **Parcerias Estratégicas**, Brasília, v. , n. 12, p.135-159, set. 2001.

BENTES, Elisabeth; BENTES, Lorena; AMIN, Mário. Perfil dos municípios paraenses líderes do desmatamento. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL - AMAZÔNIA E FRONTEIRAS DO CONHECIMENTO, 1., 2008, Belém. **Anais...** Belém: NAEA, 2008. p. 1 - 16.

BETTS, Richards; SANDERSON, Michael; WOODWARD, Stephanie. Effects of large-scale Amazon forest degradation on climate and air quality through fluxes of carbon dioxide, water, energy, mineral dust and isoprene. **Philosophical Transactions Of The Royal Society B: Biological Sciences**, [s.l.], v. 363, n. 1498, p.1873-1880, 27 maio 2008. The Royal Society. DOI: 10.1098/rstb.2007.0027.

BEZERRA, Oswaldo; VERÍSSIMO, Adalberto; UHL, Christopher. The regional impacts of small-scale gold mining in Amazonia. **Natural Resources Forum**,

[s.l.], v. 20, n. 4, p.305-317, nov. 1996. Wiley-Blackwell. DOI: 10.1111/j.1477-8947.1996.tb00663.x.

BORRALHO, Antônio et al. Os Padrões no Ensino e Aprendizagem da Álgebra. In: VALE, Isabel et al (Org.). **Números e álgebra**. Lisboa: Sem-spce, 2007. p. 193-211. Disponível em: <http://www.rdpcc.uevora.pt/bitstream/10174/1416/1/Padrões_Caminha.pdf>. Acesso em: 04 out. 2015.

BRASIL. Decreto nº 14/02/2006, de 13 de fevereiro de 2006. Institui o complexo geoeconômico e social denominado Distrito Florestal Sustentável - DFS da BR-163, e dá outras providências. **Criação do Distrito Florestal Sustentável da BR-163**. Seção 2, p. 4-4.

BRASIL. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. (Org.). **Caracterização da área de estudo**: área de influência da rodovia BR-163. Belém: Embrapa, 2008. 9 p. Zoneamento Ecológico e Econômico da Rodovia BR-163. Disponível em: <<http://zeebr163.cpatu.embrapa.br/index.php>>. Acesso em: 03 out. 2015.

BRASIL. Grupo de Trabalho Interministerial. Casa Civil da Presidência da República. **Plano de desenvolvimento Regional Sustentável para a Área de Influência da Rodovia BR-163 Cuiabá/Santarém**. Brasília, 2005. 142 p.

BRASIL. **Instrução Normativa nº 112**, de 21 de agosto de 2006. Institui a obrigatoriedade do Documento de Origem Florestal (DOF). Brasília, DF: Diário Oficial da União, 23 ago. 2006. Seção 162.

BRASIL. **Portaria nº 1487**, de 8 de outubro de 2003. Altera Os Limites da Terra Indígena Baú. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 09 out. 2003. Seção 1, p. 47-47.

BRASIL. **Resolução nº 406**, de 2 de fevereiro de 2009. Estabelece parâmetros técnicos a serem adotados na elaboração, apresentação, avaliação técnica e execução de Plano de Manejo Florestal Sustentável PMFS com fins madeireiros, para florestas nativas e suas formas de sucessão no bioma Amazônia. Resolução CONAMA. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 06 fev. 2009. n. 26, p. 100-100.

BRITO, Brenda; BARRETO, Paulo. Enforcement against illegal logging in the Brazilian Amazon. In: LEROY, Paddock et al (Ed.). **Compliance and enforcement in environmental law: towards more effective implementation**. England: Edward Elgard Publishing, 2011. p. 297-310.

BROADBENT, Eben et al. Forest fragmentation and edge effects from deforestation and selective logging in the Brazilian Amazon. **Biological Conservation**, [s.l.], v. 141, n. 7, p.1745-1757, jul. 2008. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.biocon.2008.04.024.

BRONDÍZIO, Eduardo et al. The Colonist Footprint. In: WOOD, Charles; PORRO, Roberto (Ed.). **Deforestation and land use in the Amazon**. Florida: University Press of Florida, 2002. Cap. 5. p. 133-161.

CALIFORNIA NATIVE PLANT SOCIE (CNPS). **Guidelines for landscaping to protect native vegetation from genetic degradation**. Sacramento: Uc Davis Newsletter, 2001. 5 p.

CÂMARA, Gilberto et al. Spring: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. **Computers & Graphics**, [s.l.], v. 20, n. 3, p.395-403, maio 1996. Elsevier BV. DOI: 10.1016/0097-8493(96)00008-8.

CÂMARA, Gilberto; VALERIANO, Dalton M.; SOARES, João Vianeí. **Metodologia para o cálculo da taxa anual de desmatamento na Amazônia Legal**. São José dos Campos: INPE, 2013. 37 p. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/metodologia_TaxaProdes.pdf>. Acesso em: 02 out. 2015.

CARVALHO, Georgia O. et al. Frontier Expansion in the Amazon: Balancing Development and Sustainability. **Environment: Science and Policy for Sustainable Development**, [s.l.], v. 44, n. 3, p.34-44, abr. 2002. Informa UK Limited. DOI: 10.1080/00139150209605606.

COCHRANE, Mark et al. Exploração seletiva de madeira, fragmentação florestal e incêndios florestais: as implicações das interações entre esses fatores. In: ZARIN, Daniel et al (Ed.). **Florestas Produtivas nos Neotrópicos: conservação por meio do manejo sustentável?**. São Paulo: Peirópolis, 2005. p. 391-408.

COCHRANE, Mark. Fire science for rainforests. **Nature**, [s.l.], v. 421, n. 6926, p.913-919, 27 fev. 2003. Nature Publishing Group. DOI: 10.1038/nature01437.

COCHRANE, Mark. Linear mixture model classification of burned forests in the Eastern Amazon. **International Journal Of Remote Sensing**, [s.l.], v. 19, n. 17, p.3433-3440, 28 nov. 1998. Informa UK Limited. DOI: 10.1080/014311698214109.

COCHRANE, Mark; SCHULZE, Mark. Fire as a recurrent event in tropical forests of the Eastern Amazon: effects on forest structure, biomass, and species composition. **Biotropica**, [s.l.], v. 31, n. 1, p.2-16, mar. 1999. JSTOR. DOI: 10.2307/2663955.

CONGALTON, Russel; GREEN, Kass. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and Practices**. 2. ed. New York: Lewis Publisher, 1999. 210 p.

CROPPER, Maureen; GRIFFITHS, Charles. The interaction of population growth and environmental quality. **American Economic Review**, [s.l.], v. 84, n. 2, p.250-254, maio 1994.

CUNHA, José Marcos Pinto da. **A dinâmica migratória e o processo de ocupação do Centro-Oeste Brasileiro: o caso de Mato Grosso**. Campinas: Unicamp, 2011. 87 p. Núcleo de Estudos de População.

DAL'ASTA, Ana Paula et al. **Núcleos de ocupação humana e usos da terra entre Santarém e Novo Progresso, ao longo da BR-163**. São José dos Campos: Inpe, 2011. 64 p. (sid.inpe.br/mtc-m19/2011/03.29.14.21-RPQ). Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/39DRJ9B>>. Acesso em: 08 dez. 2015.

DARRIGO, Maria Rosa. **Efeito da exploração madeireira na regeneração de algumas espécies arbóreas na Amazônia Central**. 2011. 134 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ecologia, Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2011. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000829902>>. Acesso em: 03 out. 2015.

DIAS-FILHO, Moacyr Bernadino. **Espécies forrageiras e estabelecimento de pastagens na Amazônia**. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1987. 49 p.

DIAZ, Maria del Carmen Vera et al. **O prejuízo oculto do fogo: custos econômicos das queimadas e incêndios florestais na Amazônia**. Brasília: Ipam/ipea/whrc, 2002. 43 p.

DIDHAM, Raphael. Altered leaf-litter decomposition rates in tropical forest fragments. **Oecologia**, [s.l.], v. 116, n. 3, p.397-406, 3 set. 1998. Springer Science + Business Media. DOI: 10.1007/s004420050603.

DINIZ, Alexandre. Migração e evolução da fronteira agrícola. In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 13., 2002, Ouro Preto. **Anais...** . Belo Horizonte: EBEP, 2002. p. 1 - 26. Disponível em:

<http://www.abep.nepo.unicamp.br/docs/anais/pdf/2002/GT_MIG_ST33_Diniz_texto.pdf>. Acesso em: 13 out. 2015.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Curso manejo, recuperação e renovação de pastagens**. 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/rondonia/curso-de-manejo-recuperacao-e-renovacao-de-pastagens>>. Acesso em: 03 out. 2015.

ESPÍRITO-SANTO, Fernando et al. Storm intensity and old-growth forest disturbances in the Amazon region. **Geophys. Res. Lett.**, [s.l.], v. 37, n. 11, p.1-6, jun. 2010. Wiley-Blackwell. DOI: 10.1029/2010gl043146.

FAHRIG, Lenore. Effects of Habitat Fragmentation on Biodiversity. **Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.**, [s.l.], v. 34, n. 1, p.487-515, nov. 2003. Annual Reviews. DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.34.011802.132419.

FELDPAUSCH, Ted et al. When big trees fall: Damage and carbon export by reduced impact logging in southern Amazonia. **Forest Ecology And Management**, [s.l.], v. 219, n. 2-3, p.199-215, nov. 2005. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.foreco.2005.09.003.

FIGUEIRA, Adelaine Michela et al. Effects of selective logging on tropical forest tree growth. **J. Geophys. Res.**, [s.l.], v. 113, p.0-5, 2008. Wiley-Blackwell. DOI: 10.1029/2007jg000577.

FILHA, Irene Garrido. Manejo florestal: questões econômico-financeiras e ambientais. **Estudos Avançados**, [s.l.], v. 16, n. 45, p.91-106, 2002.

FIORINI, Ana Oliveira. **A importância da madeira morta para estimar estoques de carbono em florestas degradadas**: implicações para ações de redução de emissão por desmatamento e degradação florestal. 2012. 137 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) -, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Intergovernmental Panel On Climate Change. **Expert meeting on harmonizing forest-related definitions for use by various stakeholders**. Roma: Fao, 2002. 201 p.

GAVLACK, André. **Padrões de mudança de cobertura da terra e dinâmica populacional no Distrito Florestal Sustentável da BR-163**: população, espaço e ambiente. 2011. 155 f. (sid.inpe.br/mtc-m19/2011/08.02.16.24-TDI). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3A7C3ML>>. Acesso em: 08 dez. 2015.

GEIST, Helmut; LAMBIN, Eric. Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation. **Bioscience**, [s.l.], v. 52, n. 2, p.143-150, 2002. Oxford University Press (OUP). DOI: 10.1641/0006-3568(2002)052[0143:pcaudf]2.0.co;2.

GERWING, Jeffrey et al. **O rendimento no processamento de madeira no Estado do Pará**. Belém: Imazon, 2000. 38 p. (18). Série Amazônica.

GERWING, Jeffrey. Degradation of forests through logging and fire in the eastern Brazilian Amazon. **Forest Ecology And Management**, [s.l.], v. 157, n. 1-3, p.131-141, mar. 2002. Elsevier BV. DOI: 10.1016/s0378-1127(00)00644-7.

GERWING, Jeffrey; VIDAL, Edson. **Degradação de florestas pela exploração madeireira e fogo na Amazônia**. Belém: Imazon, 2002. 26 p. (20). Série Amazônica.

GLOBAL LAND COVER FACILITY (GLCF). **Mixture modeling**. Disponível em: <<http://glcf.umd.edu/data/coastal/mixture.shtml>>. Acesso em: 03 out. 2015.

GRAÇA, Paulo Maurício. **Monitoramento e caracterização de áreas submetidas à exploração florestal na Amazônia por técnicas de detecção de mudanças**. 2006. 275 f. (INPE-13644-TDI/1046) .Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2005/02.15.16.02>>. Acesso em: 08 dez. 2015.

GRIFFITHS, Patrick et al. A pixel-based landsat compositing algorithm for large area land cover mapping. **IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing**, [s.l.], v. 6, n. 5, p.2088-2101, out. 2013. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). DOI: 10.1109/jstars.2012.2228167.

HADLEY, Adam; BETTS, Matthew. The effects of landscape fragmentation on pollination dynamics: absence of evidence not evidence of absence. **Biological Reviews**, [s.l.], v. 87, n. 3, p.526-544, 17 nov. 2011. Wiley-Blackwell. DOI: 10.1111/j.1469-185x.2011.00205.x.

HEROLD, Martin; SKUTSCH, Margaret. Monitoring, reporting and verification for national REDD + programmes: two proposals. **Environ. Res. Lett.**, [s.l.], v. 6, n. 1, p.1-11, 1 jan. 2011. IOP Publishing. DOI: 10.1088/1748-9326/6/1/014002.

HOLDSWORTH, Andrew; UHL, Christopher. Fire in Amazonian Selectively Logged Rain Forest and the Potential for Fire Reduction. **Ecological Applications**, [s.l.], v. 7, n. 2, p.713-725, maio 1997.

HOLDSWORTH, Andrew; UHL, Christopher. **O fogo na floresta explorada e o potencial para redução de incêndios florestais na Amazônia**. Belém: Imazon, 1998. 38 p. (14). Série Amazônica.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS (IBAMA) (Org.). **Relação empresa/comunidade no contexto do manejo florestal comunitário e familiar**: uma contribuição do projeto Floresta em Pé. Belém: Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Renováveis, 2011. 328 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo demográfico 2000**: População residente, por situação do domicílio e sexo, segundo a forma de declaração da idade e a idade. 2000. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=1552&z=t&o=1&i=P>>. Acesso em: 06 nov. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Contagem da população 1996**: População residente, por sexo e população cedida, segundo o código e o município - Pará. 1996. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/contagem/pacont96.shtm>>. Acesso em: 06 nov. 2015

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Estatística sobre município de Sinop, Mato Grosso**. 2010a. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=510790&search=mato-grosso|sinop>>. Acesso em: 03 out. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Estatística sobre município de Novo Progresso, Pará**. 2010b. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=150503&search=para|novo-progresso>>. Acesso em: 01 jun. 2015.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. 2013. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 03 mar. 2015.

INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA (IMAZON). **Programa de adequação ambiental e produtiva de unidades de produção pecuária, Paragominas**. 2011. Disponível em: <http://www.fundovale.org/media/87496/fundovale_municipiosverdes_julho2012.pdf>. Acesso em: 03 out. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa**. 2015. Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 03 out. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Sistema de detecção da degradação florestal: DEGRAD**. 2015a. Banco de dados. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/degrad/>>. Acesso em: 01 jul. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Fototeca**: Biblioteca digital de fotos de campo. 2015b. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/fototeca/>>. Acesso em: 17 abr. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Sistema de detecção do desmatamento em tempo real: DETER**. 2015c. Banco de dados. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/deter/>>. Acesso em: 01 out. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Projeto PRODES**: Monitoramento da Floresta Amazônica por Satélite. 2014. Banco de dados PRODES. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>>. Acesso em: 03 out. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Software TerraView 4.1.0**. 2010. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/terraview/index.php>>. Acesso em: 10 ago. 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Monitoramento da cobertura florestal da Amazônia por satélites**: Sistemas PRODES, DETER, DEGRAD e QUEIMADAS 2007-2008. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2008a. 47 p. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/prodes/Relatorio_Prodes2008.pdf>. Acesso em: 03 out. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Relatório técnico científico contendo avaliação detalhada do DETER 2006/2007**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2008b. 143 p. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/04.28.13.43>>. Acesso em: 03 out. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Sistema de detecção do desmatamento em tempo real na Amazônia - DETER**: aspectos gerais, metodológicos e plano de desenvolvimento. São José dos Campos: INPE, 2008c. 16 p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Monitoramento da cobertura florestal da Amazônia por satélites: 1999-2000**. 2000. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <http://mtc-m18.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/lise/2001/05.16.09.55/doc/html/pag_5.htm>. Acesso em: 06 nov. 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS; EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (INPE; EMBRAPA). **Projeto TerraClass**: Levantamento de informações de uso e cobertura da terra na Amazônia. Belém: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2010. 20 p. Sumário executivo. Disponível em: <http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/terraclass.php>. Acesso em: 03 out. 2015.

INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA (IPAM). **Avaliação ambiental integrada do território da BR-163**. Itaituba: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia, 2006. 45 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Definitions and methodological options to inventory emissions from direct human-induced degradation of forests and devegetation of other vegetation types**. Hayama: Intergovernmental Panel On Climate Change, 2003. 30 p.

INTERNATIONAL TROPICAL TIMBER ORGANIZATION (ITTO). **International tropical timber organization**: annual review statistics database. 2013. Banco de dados ITTO. Disponível em: <http://www.itto.int/annual_review_output/>. Acesso em: 03 out. 2015.

ISMAIL, Mohd Hasmadi; KAMARUDIN, Norizah. Detecting and assessing forest degradation assisted by remote sensing. In: REHABILITATION OF TROPICAL RAINFOREST ECOSYSTEMS, 1., 2011, Kuala Lumpur. **Proceedings...** Kuala Lumpur: Universiti Putra Malaysia, 2011. p. 313 - 320.

JOHNS, Jennifer; BARRETO, Paulo; UHL, Christopher. Logging damage during planned and unplanned logging operations in the eastern Amazon. **Forest Ecology And Management**, [s.l.], v. 89, n. 1-3, p.59-77, dez. 1996. Elsevier BV. DOI: 10.1016/s0378-1127(96)03869-8.

JOSEPH, Shijo; MURTHY, Manchiraju Sri Ramachandra; THOMAS, Anthony. The progress on remote sensing technology in identifying tropical forest degradation: a synthesis of the present knowledge and future perspectives. **Environ Earth Sci**, [s.l.], v. 64, n. 3, p.731-741, 30 dez. 2010. Springer Science + Business Media. DOI: 10.1007/s12665-010-0893-8

KELLER, Michael et al. Coarse woody debris in undisturbed and logged forests in the eastern Brazilian Amazon. **Global Change Biol**, [s.l.], v. 10, n. 5, p.784-795, maio 2004. Wiley-Blackwell. DOI: 10.1111/j.1529-8817.2003.00770.x.

KORTING, Thales et al. GeoDMA: a novel system for spatial data mining. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DATA MINING WORKSHOPS, 1., 2008, Pisa. **Proceedings...** [s.l.]: IEEE, 2008. p. 975 - 978.

KORTING, Thales et al. GeoDMA: um sistema para mineração de dados de sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 7813 - 7820.

LACERDA-FILHO, Joffre (Ed.). **Geologia e recursos minerais do Estado De Mato Grosso**. Goiânia: Serviço Geológico do Brasil, 2004. 252 p. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/rel_mato_grosso.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2015.

LAMBIN, Eric. Monitoring forest degradation in tropical regions by remote sensing: some methodological issues. **Global Ecology and Biogeography**, [s.l.], v. 8, n. 3-4, p.191-198, maio/jun. 1999.

LAURANCE, William. Biomass collapse in Amazonian forest fragments. **Science**, [s.l.], v. 278, n. 5340, p.1117-1118, 7 nov. 1997. American Association for the Advancement of Science (AAAS). DOI: 10.1126/science.278.5340.1117.

LAURANCE, William et al. Effects of forest fragmentation on recruitment patterns in amazonian tree communities. **Conservation Biology**, [s.l.], v. 12, n. 2, p.460-464, 26 abr. 1998. Wiley-Blackwell. DOI: 10.1111/j.1523-1739.1998.97175.x.

LENTINI, Marco et al. **Fatos florestais da Amazônia 2005**. Belém: Imazon, 2005. 142 p. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia,.

LENTINI, Marco; VERÍSSIMO, Adalberto; PEREIRA, Denys. A Expansão Madeireira na Amazônia. **IMAZON: o Estado da Amazônia**. Belém, p. 1-4. maio 2005

LUND, H. Gyde. **What is a degraded forest?** Gainesville: Forest Information Services, 2009. 42 p. White paper prepared for FAO. Disponível em: <http://home.comcast.net/~gyde/2009forest_degrade.doc>. Acesso em: 01 abr. 2014.

MALDONADO, Francisco; GRAÇA, Paulo Maurício Lima.; SANTOS, João Roberto dos. Aplicação da fração-solo por rotação radiométrica para detecção do corte seletivo em domínio da floresta Amazônica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 2823 - 2830.

MARGARIT, Eduardo. **Tramas políticas e impactos socioambientais na Amazônia: a dinâmica do processo de pavimentação da BR-163**. 2012. 146 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Três Lagoas, 2012.

MATRICARDI, Eraldo et al. Multitemporal assessment of selective logging in the Brazilian Amazon using Landsat data. **International Journal Of Remote Sensing**, [s.l.], v. 28, n. 1, p.63-82, 10 jan. 2007. Informa UK Limited. DOI: 10.1080/01431160600763014.

MATRICARDI, Eraldo et al. Monitoring selective logging in tropical evergreen forests using landsat: multitemporal regional analyses in Mato Grosso, Brazil. **Earth Interactions**, [s.l.], v. 9, n. 24, p.1-24, nov. 2005. American Meteorological Society. DOI: 10.1175/ei142.1.

MATRICARDI, Eraldo et al. Assessment of tropical forest degradation by selective logging and fire using Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 114, n. 5, p.1117-1129, maio 2010. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.rse.2010.01.001.

MATRICARDI, Eraldo et al. Assessment of forest disturbances by selective logging and forest fires in the Brazilian Amazon using Landsat data. **International Journal of Remote Sensing**, [s.l.], v. 34, n. 4, p.1057-1086, 20 fev. 2013. Informa UK Limited. DOI: 10.1080/01431161.2012.717182.

MATSUNAGA, Ademar Takeo. **Análise econômica da cadeia produtiva da madeira oriunda de plano de manejo florestal: Estudo de caso**. 2005. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

MENDONÇA, Mário Jorge Cardoso de et al. The economic cost of the use of fire in the Amazon. **Ecological Economics**, [s.l.], v. 49, n. 1, p.89-105, maio 2004. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2003.11.011.

MERTENS, Benoît; LAMBIN, Eric. Land-cover-change trajectories in Southern Cameroon. **Annals of the Association of American Geographers**, [s.l.], v. 90, n. 3, p.467-494, set. 2000. Informa UK Limited. DOI: 10.1111/0004-5608.00205.

MERTZ, Ole et al. The forgotten D: challenges of addressing forest degradation in complex mosaic landscapes under REDD+. **Geografisk Tidsskrift-danish Journal Of Geography**, [s.l.], v. 112, n. 1, p.63-76, maio 2012. Informa UK Limited. DOI: 10.1080/00167223.2012.709678.

METZGER, Jean Paul. O que é ecologia de paisagens? **Biota Neotropica**, São Paulo, v. 1, n. 12, p.1-9, 2001.

MON, Myat Su et al. Factors affecting deforestation and forest degradation in selectively logged production forest: A case study in Myanmar. **Forest Ecology And Management**, [s.l.], v. 267, p.190-198, mar. 2012. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.foreco.2011.11.036.

MONTEIRO, André; SOUZA, Carlos; BARRETO, Paulo. Detection of logging in Amazonian transition forests using spectral mixture models. **International Journal Of Remote Sensing**, [s.l.], v. 24, n. 1, p.151-159, jan. 2003. Informa UK Limited. DOI: 10.1080/01431160305008.

MONTEIRO, André; SOUZA, Carlos. Remote monitoring for forest management in the Brazilian Amazon. **Sustainable Forest Management - Current Research**, [s.l.], p.67-86, 23 maio 2012. InTech. DOI: 10.5772/30126.

MONTEIRO, André et al. Avaliação de Planos de Manejo Florestal na Amazônia através de imagens de satélites Landsat. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: Sbsr, 2011. p. 5615 - 5623.

MONTEIRO, André; LINGNAU, Christel; SOUZA-JR., Carlos. Object-based classification to detection of selective logging in the Brazilian Amazon. **Revista Brasileira de Cartografia**, [s.l.], n. 59, p.225-234, 2007.

MORTON, Donald et al. Agricultural intensification increases deforestation fire activity in Amazonia. **Global Change Biology**, [s.l.], v. 14, n. 10, p.2262-2275, out. 2008. Wiley-Blackwell. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2008.01652.x.

NASCIMENTO, Henrique; LAURANCE, William. Biomass dynamics in Amazonian forest fragments. **Ecological Applications**, [s.l.], v. 14, n. 4, p.127-138, ago. 2004. Ecological Society of America. DOI: 10.1890/01-6003.

NASCIMENTO, Henrique; LAURANCE, William. Efeitos de área e de borda sobre a estrutura florestal em fragmentos de floresta de terra-firme após 13-17 anos de isolamento. **Acta Amazonica**, [s.l.], v. 36, n. 2, p.183-192, 2006. FapUNIFESP (SciELO). DOI: 10.1590/s0044-59672006000200008.

NELSON, Bruce W. et al. Forest disturbance by large blowdowns in the Brazilian Amazon. **Ecology**, [s.l.], v. 75, n. 3, p.853-858, abr. 1994. JSTOR. DOI: 10.2307/1941742.

NELSON, Bruce Walker. Detection of natural and anthropogenic-indigenous disturbance of tropical forest using optical orbital images. In: SEMINÁRIO EM ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADAS À ENGENHARIA FLORESTAL, 7., 2006, Curitiba. **Anais...** [s.l.]: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 2006. p. 529 - 536.

NELSON, Bruce Walker. Natural Disturbance and Change in the Brazilian Amazon. In: HASSOL, Susan J.; KATZENBERGER, John. **Changes in global vegetative patterns and their relationship to human activity**. Aspen: Aspen Global Change Institute, 1995. Cap. 11. p. 61-65. A report on the Aspen Global Change Workshop.

NEPSTAD, Daniel et al. Frontier governance in Amazonian. **Science**, [s.l.], v. 295, n. 5555, p.629-631, 25 jan. 2002. American Association for the Advancement of Science (AAAS). DOI: 10.1126/science.1067053.

NEPSTAD, Daniel et al. Large-scale impoverishment of Amazonian forests by logging and fire. **Nature**, [s.l.], v. 398, n. 6727, p.505-508, 8 abr. 1999. Nature Publishing Group. DOI: 10.1038/19066.

NEPSTAD, Daniel; MOREIRA, Adriana; ALENCAR, Ane. **Floresta em Chamas: origens, impactos e prevenção do fogo na Amazônia**. 2. ed. Brasília: Ipam, 1999. 202 p. Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil.

OLANDER, Lydia et al. Reference scenarios for deforestation and forest degradation in support of REDD: a review of data and methods. **Environ. Res. Lett.**, [s.l.], v. 3, n. 2, p.1-11, abr. 2008. IOP Publishing. DOI: 10.1088/1748-9326/3/2/025011.

OLIVEIRA, Adrilane Batista de. **Políticas públicas para o desenvolvimento e para a conservação no Distrito Florestal Sustentável (DFS) da BR-163**. 211. 166 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) - Centro de Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

OLIVEIRA, Elisiana Pereira de; FRANKLIN, Elizabeth. Efeito do fogo sobre a mesofauna do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 28, n. 3, p.357-369, mar. 1993.

ORAVEC, Gertrudes. **Saga dos pioneiros do Pará**: município de Novo Progresso. Novo Progresso: [s.e], 1998. 309 p.

PAN, Yude. et al. A Large and persistent carbon sink in the world's forests. **Science**, [s.l.], v. 333, n. 6045, p.988-993, 14 jul. 2011. American Association for the Advancement of Science (AAAS). DOI: 10.1126/science.1201609.

PANTOJA, Nara; VALERIANO, Dalton de Morisson.; SOARES, João Viane. Uso de dados da câmera HRC/CBERS-2B para estudos em áreas de exploração madeireira por corte seletivo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: SBSR, 2011. p. 2700 - 2707.

PAULETTO, Daniela. **Estoque, produção e fluxo de nutrientes da liteira estoque, produção e fluxo de nutrientes da liteira**. 2006. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais) - Biologia Tropical e Recursos Naturais, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2006.

PEREIRA, Denys et al. **Fatos florestais da Amazônia 2010**. Belém: Imazon, 2010. 124 p. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia.

PEREIRA, Miguel Cardoso; SETZER, Alberto. Spectral characteristics of fire scars in Landsat-5 TM images of Amazonia. **International Journal Of Remote Sensing**, [s.l.], v. 14, n. 11, p.2061-2078, jul. 1993. Informa UK Limited. DOI: 10.1080/01431169308954022.

PEREIRA, Rodrigo et al. Forest canopy damage and recovery in reduced-impact and conventional selective logging in eastern Para, Brazil. **Forest Ecology and Management**, [s.l.], v. 168, n. 1-3, p.77-89, set. 2002. Elsevier BV. DOI: 10.1016/s0378-1127(01)00732-0.

PERES, Carlos. Synergistic effects of subsistence hunting and habitat fragmentation on Amazonian forest vertebrates. **Conservation Biology**, [s.l.], v. 15, n. 6, p.1490-1505, 14 dez. 2001. Wiley-Blackwell. DOI: 10.1046/j.1523-1739.2001.01089.x.

PERES, Carlos; BARLOW, Jos; LAURANCE, William. Detecting anthropogenic disturbance in tropical forests. **Trends in Ecology & Evolution**, [s.l.], v. 21, n. 5, p.227-229, maio 2006. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.tree.2006.03.007.

PERZ, Stephen. Household demographic factors as life cycle determinants of land use in the Amazon. **Population Research And Policy Review**, [s.l.], v. 20, n. 3, p.159-186, 2001. Springer Science + Business Media. DOI: 10.1023/a:1010658719768.

PFAFF, Alexander. What drives deforestation in the Brazilian Amazon? **Journal Of Environmental Economics And Management**, [s.l.], v. 37, n. 1, p.26-43, jan. 1999. Elsevier BV. DOI: 10.1006/jeem.1998.1056.

PICOLI, Fiorelo. **Amazônia: o silêncio das árvores - uma abordagem sobre a indústria de transformação de madeiras**. Sinop: Fiorelo, 2004. 124 p.

PINHEIRO, Paula Fernanda Viegas. **A cartografia e o geoprocessamento como instrumentos de análise das propostas de redefinição dos limites territoriais da Floresta Nacional do Jamanxim - estado do Pará**. 2010. 82 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

PINHEIRO, Taise Farias. et al. Forest degradation associated with logging frontier expansion in the Amazon: the BR- 163 region in southwestern Pará, Brazil. **Earth Interactions**, [no prelo.].

PINHEIRO, Taise Farias; ESCADA, Maria Isabel Sobral. Detecção e classificação de padrões da degradação florestal na Amazônia por meio de banco de dados celular. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: Sbsr, 2013. p. 3397 - 3404.

PUTZ, Francis; DYKSTRA, Dennis; HEINRICH, Rudolf. Why poor logging practices persist in the tropics. **Conservation Biology**, [s.l.], v. 14, n. 4, p.951-956, 15 ago. 2000. Wiley-Blackwell. DOI: 10.1046/j.1523-1739.2000.99137.x.

QUINLAN, Ross. **C4.5: programs for machine learning**. Sydney: Morgan Kaufmann Publishers, 1993. 299 p.

RAMANKUTTY, Navin et al. Challenges to estimating carbon emissions from tropical deforestation. **Global Change Biol**, [s.l.], v. 13, n. 1, p.51-66, jan. 2007. Wiley-Blackwell. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2006.01272.x.

RAVACHE, Rosana Lia. **Migração e modernização em cidades médias da Amazônia Legal**: área de abrangência da BR-163. 2013. 285 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geografia, Geografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

RIBEIRO, Jorge. **Avaliação ambiental econômica da produção de madeira de espécie nativa em dois municípios na Amazônia Brasileira**. 2008. 111 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Ambiental) - Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

RIVERO, Sergio; ALMEIDA, Oriana. O dilema da produção Madeireira Sustentável na Amazônia. **Boletim da Sociedade Brasileira de Economia Ecológica**, Brasília, n. 18, p.8-12, maio/ago. 2008.

ROS-TONEN, Mirjam. Novas perspectivas para a gestão sustentável da floresta Amazônica: explorando novos caminhos. **Ambiente & Sociedade**, Campinas, v., n. 1, p.11-25, jan./jun. 2007.

RUDORFF, Bernardo Friedrich Theodor et al. The Soy Moratorium in the Amazon Biome Monitored by Remote Sensing Images. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 3, n. 12, p.185-202, 18 jan. 2011. MDPI AG. DOI: 10.3390/rs3010185.

SÁ, Tatiana Deane de Abreu et al. Queimar ou não queimar?: De como produzir na Amazônia sem queimar. **Revista Usp**, [s.l.], v. 0, n. 72, p.90-97, 1 fev. 2007. Universidade de Sao Paulo Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBiUSP. DOI: 10.11606/issn.2316-9036.v0i72p90-97.

SABOGAL, César et al. **diretrizes técnicas para a exploração de impacto reduzido em operações florestais de terra firme na Amazônia brasileira**. Belém: Cifor, 2000. 24 p. Projeto EMBRAPA/CIFOR: Manejo florestal sustentável em escala comercial na Amazônia brasileira.

SABOGAL, César et al. **Manejo empresarial na Amazônia brasileira**: restrições e oportunidades. Belém: Cifor, 2006. 74 p. Center for International Forestry Research.

SAITO, Érica et al. Efeitos da mudança de escala em padrões de desmatamento na Amazônia. **Revista Brasileira de Cartografia**, [s.l.], v. 63, n. 3, p.401-414, 2011.

SAITO, Érica. **Caracterização de trajetórias de padrões de ocupação humana na Amazônia Legal por meio de mineração de dados**. 2011. 132 f. (sid.inpe.br/mtc-m19/2010/12.01.16.33-TDI). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011. Disponível em: <<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/38MM2TL>>. Acesso em: 08 dez. 2015.

SAMPAIO, Fernando Antônio Rebouças et al. Balanço de nutrientes e da fitomassa em um Argissolo Amarelo sob floresta tropical amazônica após a queima e cultivo com arroz. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, [s.l.], v. 27, n. 6, p.1161-1170, 2003. FapUNIFESP (SciELO). DOI: 10.1590/s0100-06832003000600020.

SANTOS, João Roberto et al. Dados multitemporais TM/Landsat aplicados ao estudo da dinâmica de exploração madeireira na Amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. p. 1751 - 1755.

SASAKI, Nophea; PUTZ, Francis. Critical need for new definitions of “forest” and “forest degradation” in global climate change agreements. **Conservation Letters**, [s.l.], v. 2, n. 5, p.226-232, out. 2009. Wiley-Blackwell. DOI: 10.1111/j.1755-263x.2009.00067.x.

SATO, Luciane Y. et al. Classificação de áreas exploradas por sistema de corte seletivo na Amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 6688 - 6695.

SCHULZE, Mark; ZWEEDE, Johan. Canopy dynamics in unlogged and logged forest stands in the eastern Amazon. **Forest Ecology And Management**, [s.l.], v. 236, n. 1, p.56-64, nov. 2006. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.foreco.2006.08.333.

SERVIÇO FLORESTAL BRASILEIRO; INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA (SFB; IMAZON). **A atividade madeireira na Amazônia brasileira: produção, receita e mercados**. Belém: Serviço Florestal Brasileiro/instituto do Homem e Meio Ambiente, 2010. 32 p.

SHIMABUKURO, Yosio; SMITH, James. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **Ieee Trans. Geosci. Remote Sensing**, [s.l.], v. 29, n. 1, p.16-20, 1991. Institute of Electrical & Electronics Engineers (IEEE). DOI: 10.1109/36.103288.

SILVA, Marcelino Pereira dos Santos et al. Remote sensing image mining: detecting agents of land-use change in tropical forest areas. **International Journal of Remote Sensing**, [s.l.], v. 29, n. 16, p.4803-4822, ago. 2008. Informa UK Limited. DOI: 10.1080/01431160801950634.

SIMULA, Markku. **Towards defining forest degradation**: comparative Analysis of Existing Definitions. Roma: Fao, 2009. 62 p. (154). Forest Resources Assessment Working Paper.

SIZER, Nigel; TANNER, Edmund; FERRAZ, Isolde Kossmann. Edge effects on litterfall mass and nutrient concentrations in forest fragments in central Amazonia. **J. Trop. Ecol.**, [s.l.], v. 16, n. 6, p.853-863, nov. 2000. Cambridge University Press (CUP). DOI: 10.1017/s0266467400001760.

SOARES, Fernanda da Rocha; DAL'ASTA, Ana Paula; AMARAL, Silvana. Evolução espacial da população, núcleos de ocupação e desmatamento no município de Novo Progresso - Pará. **Revista Brasileira de Cartografia**, [s.l.], v. 1, n. 66, p.115-125, jan./fev. 2014.

SOUZA, Carlos et al. Mapping forest degradation in the Eastern Amazon from SPOT 4 through spectral mixture models. **Remote Sensing of Environment**, [s.l.], v. 87, n. 4, p.494-506, 15 nov. 2003. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.rse.2002.08.002.

SOUZA, Carlos; ROBERTS, Dar. Mapping forest degradation in the Amazon region with Ikonos images. **International Journal of Remote Sensing**, [s.l.], v. 26, n. 3, p.425-429, fev. 2005. Informa UK Limited. DOI: 10.1080/0143116031000101620.

SOUZA, Carlos; BARRETO, Paulo. An alternative approach for detecting and monitoring selectively logged forests in the Amazon. **International Journal Of Remote Sensing**, [s.l.], v. 21, n. 1, p.173-179, jan. 2000. Informa UK Limited. DOI: 10.1080/014311600211064.

SOUZA, Carlos et al. Ten-year landsat classification of deforestation and forest degradation in the Brazilian Amazon. **Remote Sensing**, [s.l.], v. 5, n. 11, p.5493-5513, 28 out. 2013. MDPI AG. DOI: 10.3390/rs5115493.

SOUZA, Carlos. Avanços do sensoriamento remoto para o monitoramento da exploração madeireira na Amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: Sbsr, 2007. p. 6987 - 6994.

SOUZA, Carlos; ROBERTS, Dar; COCHRANE, Mark. Combining spectral and spatial information to map canopy damage from selective logging and forest fires. **Remote Sensing Of Environment**, [s.l.], v. 98, n. 2-3, p.329-343, out. 2005. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.rse.2005.07.013.

SOUZA, Edison Antônio de. Mato Grosso: A (Re)ocupação da terra na fronteira Amazônica. Estado e Políticas Públicas. **Tempos Históricos**, [s.l.], v. 16, p.127-144, 2012.

STEFFEN, Carlos Alberto. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 2010. Disponível em: <<http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm#carlos>>. Acesso em: 07 jun. 2014.

STONE, Steven. Evolution of the timber industry along an aging frontier: the case of Paragominas (1990–1995). **World Development**, [s.l.], v. 26, n. 3, p.433-448, mar. 1998. Elsevier BV. DOI: 10.1016/s0305-750x(97)10056-0.

STONE, Thomas; LEFEBVRE, Paul. Using multi-temporal satellite data to evaluate selective logging in Para, Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, [s.l.], v. 19, n. 13, p.2517-2526, jan. 1998. Informa UK Limited. DOI: 10.1080/014311698214604.

SYDENSTRICKER-NETO, John. Population and Environment in Amazônia: from just the numbers to what really counts. In: HOGAN, Daniel Joseph; BERQUÓ, Elza; COSTA, Heloisa (Org.). **Population and environment in Brazil: Rio + 10**. Rio de Janeiro: Cnpd/abep/nepo, 2002. Cap. 2. p. 55-70.

TABARELLI, Marcelo; SILVA, José Maria Cardoso da; GASCON, Claude. Forest fragmentation, synergisms and the impoverishment of neotropical forests. **Biodiversity And Conservation**, [s.l.], v. 13, n. 7, p.1419-1425, jun. 2004. Springer Science + Business Media. DOI: 10.1023/b:bioc.0000019398.36045.1b.

TEIXEIRA, Luciana. **A colonização no Norte de Mato Grosso: o exemplo da Gleba Celeste**. 2006. 118 f. Dissertação (Mestrado em Geografia, Geografia) - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2006.

THOMPSON, Ian et al. An operational framework for defining and monitoring forest degradation. **Ecology and Society**, [s.l.], v. 18, n. 2, p.20-43, 2013.

UHL, Christopher; VIEIRA, Ima Celia Guimarães. Ecological impacts of selective logging in the Brazilian Amazon: a case study from the Paragominas region of the State of Para. **Biotropica**, [s.l.], v. 21, n. 2, p.98-106, jun. 1989. JSTOR. DOI: 10.2307/2388700.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Earth resources observation and science center**: global visualization viewer. 2015. Banco de imagens de satélite. Disponível em: <<http://glovis.usgs.gov/>>. Acesso em: 20 set. 2013.

VALERIANO, Dalton Morisson et al. Dimensões do desmatamento na Amazônia Brasileira. In: MARTINE, George (Ed.). **População e sustentabilidade na era das mudanças ambientais globais**: Contribuições para uma agenda Brasileira. Campinas: Abep, 2012. Cap. 14. p. 223-238.

VALERIANO, Dalton Morisson et al. Monitoring tropical forest from space: the PRODES digital project. In: PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES, 34., 2012, Melbourne. **Proceedings...** [s.l.]: ISPRS, 2012. p. 1 - 3.

VASCONCELOS, Sumaia Saldanha et al. Forest fires in southwestern Brazilian Amazonia: Estimates of area and potential carbon emissions. **Forest Ecology and Management**, [s.l.], v. 291, p.199-208, mar. 2013. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.foreco.2012.11.044.

VASQUEZ, Marcelo (Ed.). **Geologia e Recursos Minerais do Estado do Pará**. Belém: Serviço Geológico do Brasil, 2008. 328 p. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/rel_para.pdf>. Acesso em: 2 set. 2015.

VENTURIERI, Adriano et al. Dinâmica das queimadas no estado do Mato Grosso entre os anos de 2008 e 2010. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: Sbsr, 2013. p. 8622 - 8628.

VERÍSSIMO, Adalberto et al. Zoning of timber extraction in the Brazilian Amazon. **Conservation Biology**, [s.l.], v. 12, n. 1, p.128-136, fev. 1998. Wiley-Blackwell. DOI: 10.1111/j.1523-1739.1998.96234.x.

VERÍSSIMO, Adalberto; LIMA, Eirivelthon; LENTINI, Marco. **Pólos madeireiros do Estado do Pará**. Belém: Imazon, 2002. 74 p.

VERÍSSIMO, José Adalberto Oliveira et al. Impactos sociais, econômicos e ecológicos da exploração seletiva de madeiras em uma região de fronteira: o caso de Tailândia. In: BARROS, Ana Cristina; VERÍSSIMO, José Adalberto Oliveira (Ed.). **A Expansão madeireira na Amazônia**: impactos e perspectivas para o desenvolvimento sustentável no Pará. 2. ed. Belém: Imazon, 2002. Cap. 1. p. 1-40.

VIDAL, Edson et al. **Redução de desperdícios na produção de madeira na Amazônia**. Belém: Imazon, 1997. 20 p. (05). Série Amazônica.

VIEIRA, Simone et al. Forest structure and carbon dynamics in Amazonian tropical rain forests. **Oecologia**, [s.l.], v. 140, n. 3, p.468-479, 17 jun. 2004. Springer Science + Business Media. DOI: 10.1007/s00442-004-1598-z.

WANG, Cuizhen; QI, Jiaguo; COCHRANE, Mark. Assessment of tropical forest degradation with canopy fractional cover from Landsat ETM+ and IKONOS Imagery. **Earth Interactions**, [s.l.], v. 9, n. 22, p.1-18, out. 2005. American Meteorological Society. DOI: 10.1175/ei133.1.

APÊNDICE A - DESCRIÇÃO DOS MÓDULOS DO SISTEMA GeoDMA (GEOGRAPHICAL DATA MINING ANALYST)

A Figura A.1 apresenta o diagrama do sistema GeoDMA (KORTING et al., 2008). A descrição dos módulos de processamento do sistema é apresentada a seguir.

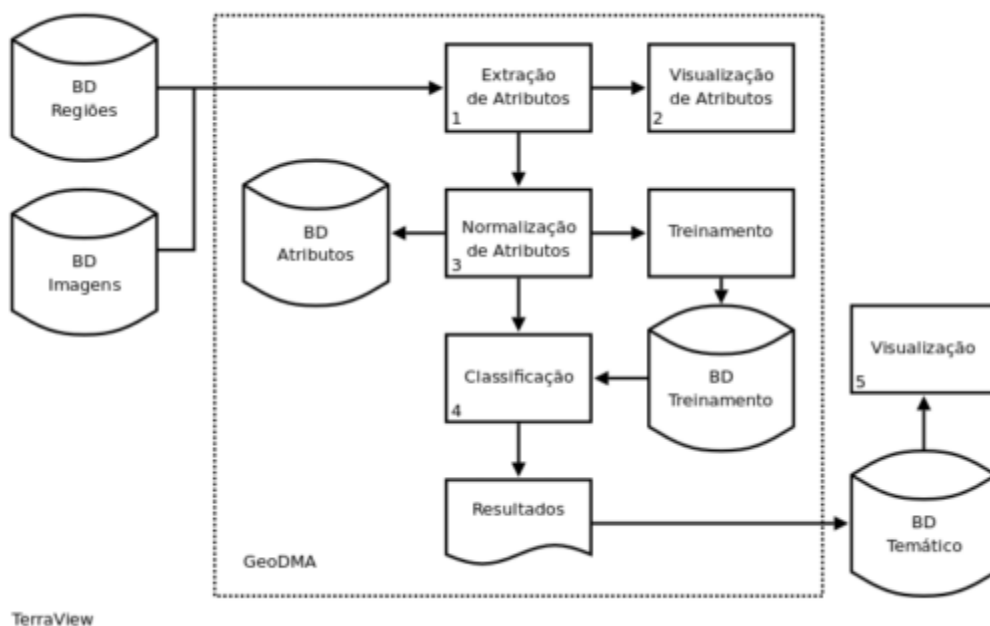


Figura A. 1 - Diagrama do Sistema GeoDMA (*GEOGRAPHICAL DATA MINING ANALYST*)

Fonte: KORTING et al. (2009)


- Módulo de Extração de Atributos: realiza a extração de atributos dos dados de entrada, com base nas métricas da ecologia da paisagem. Características espectrais (média por banda, variância de cada banda e textura) e atributos espaciais (área, perímetro, dimensão fractal, circularidade) podem ser calculados. O resultado é armazenado em tabelas no banco Terralib, do TerraView;
- Módulo de Visualização dos atributos: permite realizar a análise exploratória do conjunto de atributos calculados, par a par. Gráficos de dispersão entre dois atributos mostram a separabilidade das classes;

- Módulo de Normalização de atributos: os atributos são normalizados para que estes tenham o mesmo grau de importância no processo de mineração de dados;
- Módulo de Treinamento: um conjunto de amostras de cada classe de interesse é selecionado para gerar o modelo de classificação;
- Módulo de Classificação: três algoritmos para classificação estão disponíveis até o momento: o algoritmo supervisionado de árvore de decisão versão C4.5, redes neurais e o algoritmo não supervisionado de Mapas Auto-Organizáveis (SOM);
- Módulo de Validação: neste módulo é possível gerar a matriz de confusão entre os dados de treinamento e os dados classificados, que indica o potencial do classificador para identificar as classes de interesse. O resultado desta etapa é a matriz de confusão, o índice de concordância Kappa e a árvore de decisão;
- Módulo de Visualização: a interface do TerraView proporciona a visualização dos dados em uma estrutura onde a saída é dividida em diferentes classes, ou temas, de acordo com os resultados da classificação.

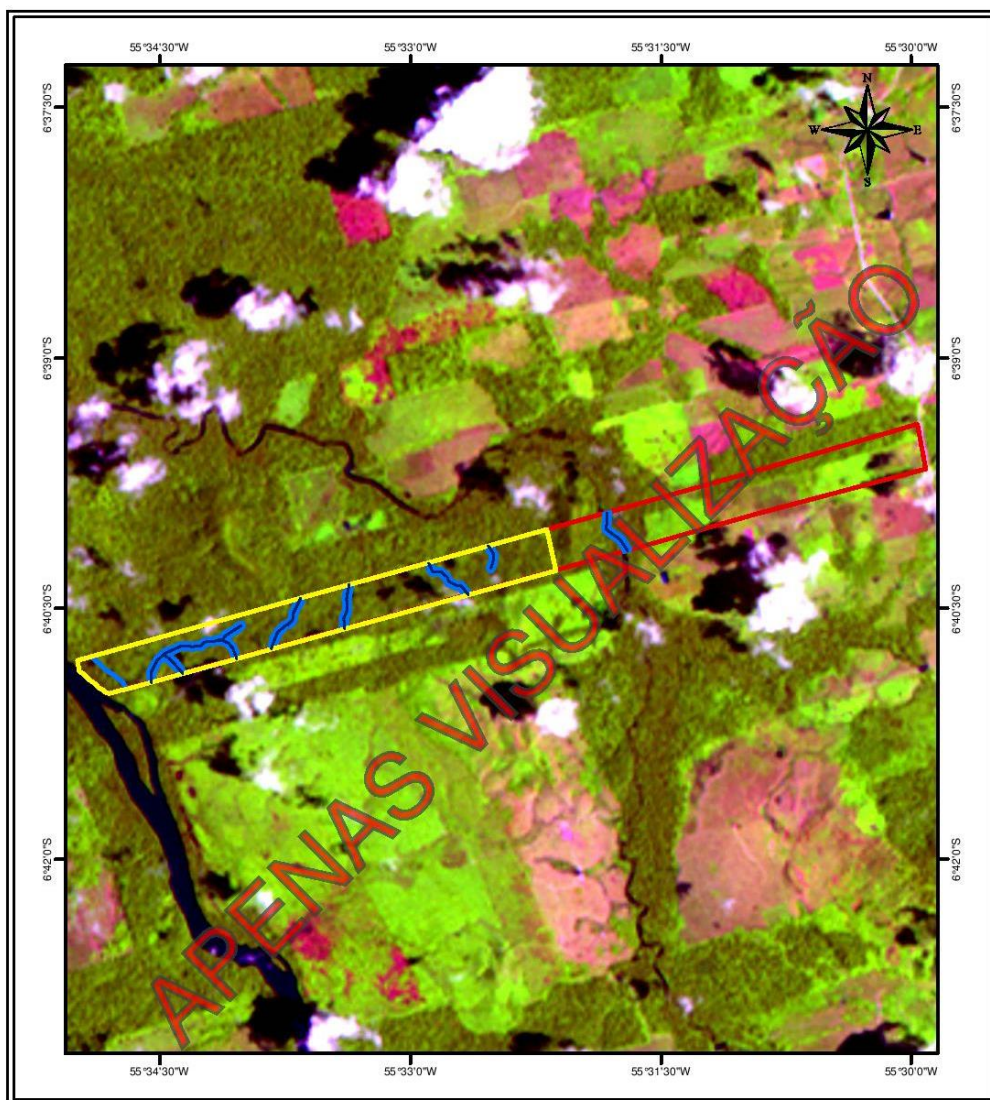
APÊNDICE B - PROGRAMA EM LEGAL UTILIZADO NO MAPEAMENTO DE DEGRADAÇÃO FLORESTAL

```
{  
Image img ("USGS_Imagem");  
Thematic dtx166 ("CAT_Tematico");  
  
img = Retrieve (Name = "indice_degrad_ano1984");  
Tabela FS (Slicing);  
FS = New(CategoryOut = "CAT_Tematico",  
          [55,255]: "DEGRADACAO_1984");  
  
dtx166 = New (Name="DEGRADACAO_1984", ResX=30, ResY=30, Scale=250000);  
  
dtx166 = Slice(Digital(img), FS);  
  
}
```


APÊNDICE C - EXEMPLO DE DOCUMENTO DE AUTORIZAÇÃO PARA MANEJO FLORESTAL – AUTEF

 GOVERNO DO ESTADO DO PARÁ SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE - SEMA/PA			
Autorização para Exploração Florestal			
AUTEF Nº: 1626/2011		VALIDADE ATÉ: 13/06/2012	
Protocolo Nº: 2010/000032678 Data do protocolo: 23/11/2010		Cadastro Ambiental Rural Nº: 28197/2010 Licença Atividade Rural Nº: 1696/2011	
RESPONSÁVEL TÉCNICO:			
Engenheiro florestal: EDNA GOMES TENÓRIO GUIMARÃES		CREA: 10892-DPA	
DADOS DO PROPRIETÁRIO E DO IMÓVEL:			
PROPRIETÁRIO: MARLENE VIEIRA CABRAL CPF/CNPJ: 629.697.572-49			
DETENTOR: MARLENE VIEIRA CABRAL CPF/CNPJ: 629.697.572-49			
IMÓVEL: MARLENE VIEIRA CABRAL - FAZENDA SÃO JOSÉ MUNICÍPIO: Novo Progresso COORDENADAS GEOGRÁFICAS: DATUM: SAD69 - HEMISFERIO: Sul - N: -55:29:57,58 - E: -06:39:24,04 PORTE: C - II			
Área Total da propriedade:		Área de Reserva Legal:	
436,9937 ha		349,5950 ha	
Área Total do MFS:		Área Antropizada:	
234,0707 ha		XX,XXXX ha	
APP da UPA:		Área Autorizada:	
29,5375 ha		234,0707 ha (UPA/2011)	
TIPOLOGIA LICENCIADA:			
2611-1 - Unidade de Produção Anual			
ÁREA LÍQUIDA AUTORIZADA:			
204,6332 ha (UPA/2011)			
QUANTIFICAÇÃO AUTORIZADA (Lista detalhada por espécie no Anexo I)			
PRODUTO	Qtd. por ha	Qtd. total	UNIDADE
Toras de Madeira Nativa	26,5679	5.433,9918	m3
LOCAL E DATA:		Belém - PA, 14 de junho de 2011	
_____ Teresa Lusía Mártires Coelho Cativo Rosa Secretária de Estado de Meio Ambiente SEMA - PA			
IMPORTANTE			
Quadro de Nomenclatura - Áreas da Legenda na Carta-Imagem:			
DENOMINAÇÃO	NOMENCLATURA	DENOMINAÇÃO	NOMENCLATURA
Área da Propriedade Rural Total	APRT	Área da Propriedade Rural por Matrícula e Posse	APRMP
Área da Matrícula	AMR	Área de Reserva Legal	ARL
Área de Reserva Legal Compensada	ARLC	Área de Reserva Legal Degradada	ARLD
Área em Concessão	ACC	Área Desmatada – conversão de solo	ADS
Área a ser Explorada pelo Projeto de Exploração Florestal - PEF	AEP	Área com Exploração Florestal – Corte Seletivo	AEF
Área do Plano de Manejo Florestal Sustentável - PMFS	AMF	Área com Floresta Plantada ou a Plantar	AFP
Área de Preservação Permanente	APP	Área de Limpeza e Reforma de Pastagem	ALRP
Área de Preservação Permanente em Área com Exploração Florestal	APPEF	Área de Preservação Permanente Degradada	APPD
Área de Preservação Permanente em Reserva Legal	APRRL	Área de Preservação Permanente em Área Aberta (Já Explorada)	APPAA
Área de Preservação Permanente em Reserva Legal Compensada	APRLC	Área de Preservação Permanente em Área Remanescente	APPAR
Área de Preservação Permanente em Área a ser Explorada - do PEF	APPAE	Área de Preservação Permanente em Área a ser Manejada – do PMFS	APPMF
Área de Preservação Permanente em Área Comunitária de Ass. Rurais	APPCAR	Área Comunitária em Assentamentos Rurais	ACAR

Título Vencido em: 13/06/2012



Convenção/Legenda Drenagem APP da Propriedade AMF/UPA Propriedade	
Escala 1:60.000	Data da Análise Dezembro / 2010
Fonte Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE Imagem de Satélite Landsat 227065 (05/02/2010)	

Governo do Estado do Pará Secretária de Estado de Meio Ambiente-SEMA	
Interessado / Propriedade MARLENE VIEIRA CABRAL - Fazenda São José	
Município Novo Progresso/PA	
Elaboração e Execução 	Gerência de Geotecnologia GEOTEC/SEMA
Análise Cartográfica Wilson José Dias de Oliveira Analista Ambiental	Visto Vicente de Paula Sousa Gerente da GEOTEC

Título Vencido em: 13/06/2012



GOVERNO DO ESTADO DO PARÁ
SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE - SEMAPA

Anexo I - Autorização para Exploração Florestal

AUTEF Nº: 1626/2011

VALIDADE ATÉ: 13/06/2012

Protocolo Nº: 2010/0000032678
Data do protocolo: 23/11/2010

Cadastro Ambiental Rural Nº: 28197/2010
Licença Atividade Rural Nº: 1696/2011

QUANTIFICAÇÃO DE TORAS DE MADEIRA NATIVA - Autorizado no Plano Operacional Anual

ESPÉCIES FLORESTAIS DO POA		QUANTIDADE (m3)	
NOME CIENTÍFICO	NOME POPULAR	por ha	TOTAL
<i>Apuleia leiocarpa</i> (Vogel) J.F.Macbr.	Garapeira	1,9904	407,1082
<i>Aspidosperma desmanthum</i> Benth. ex Müll.Arg.	Peroba	3,0139	616,4385
<i>Astronium lecontei</i> Ducke	Muiracatiara	0,2382	48,3058
<i>Bowdichia nitida</i> Spruce	Sucupira	0,1772	36,2436
<i>Brosimum parinarioides</i> Ducke	Amapá	0,3026	61,8914
<i>Caryocar microcarpum</i> Ducke	Pequiá	0,4761	97,3709
<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	Sumaúma	0,9778	199,9918
<i>Copaifera guianensis</i> Desf.	Copaíba	0,2163	44,2413
<i>Couratari stellata</i> A.C.Sm.	Tauari	3,5271	721,4112
<i>Dipteryx trifoliata</i> Ducke	Cumaru	0,2794	57,1479
<i>Enterolobium schomburgkii</i> (Benth.) Benth.	Fava-orelha-de-macaco	0,2184	44,2573
<i>Holopterygium jarana</i> (Huber) Ducke	Jarana	0,3885	79,4614
<i>Hymenaea courbaril</i> L. var. <i>courbaril</i>	Jatobá	1,3208	270,1400
<i>Hymenolobium petraeum</i> Ducke	Angelim-pedra	0,9522	194,7586
<i>Hymenolobium</i> sp.	Angelim	0,6685	136,7293
<i>Lecythis zabucajo</i> Aubl.	Sapucaia	0,4470	91,4214
<i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Chevalier	Maçaranduba	1,3343	272,9136
<i>Marupa francoana</i> Miers	Marupá	1,8111	370,4205
<i>Nectandra robusta</i> Loefl.	Canelão	0,4602	94,1331
<i>Peltogyne paradoxa</i> Ducke	Roxinho	0,1746	35,7040
<i>Piptadenia foliolosa</i> Benth.	Timborana	0,3216	65,7760
<i>Pouteria pachycarpa</i> Pires	Goiabão	3,5396	723,9668
<i>Tabebuia capitata</i> (Bureau & K.Schum.) Sandwith	Ipê	0,3412	69,7852
<i>Tachigali paniculata</i> Aubl.	Taxi	0,5331	109,0325
<i>Terminalia amazonica</i> (J.F.Gmel) Exell.	Mirindiba	0,8074	165,1397
<i>Trattinnickia burseraefolia</i> (Mart.) Willd.	Arnescla	0,3938	80,5517
<i>Trattinnickia</i> sp.	Arnescla	0,2593	53,0288
<i>Vatairea guianensis</i> Aubl.	Faveira	1,4013	286,6213
TOTAL DE VOLUME AUTORIZADO		26,5679	5.433,9918

APENAS VISUALIZAÇÃO

Título Vencido em: 13/06/2012

APÊNDICE D - MÉTRICAS DE ECOLOGIA DA PAISAGEM

A ecologia da paisagem estuda padrões da paisagem, a interação entre manchas no interior do mosaico da paisagem, e como padrões e interações mudam no tempo (METZGER, 2001). Considera ainda a heterogeneidade espacial e os seus efeitos nos processos ecológicos que mantêm a floresta.

A habilidade para quantificar a estrutura da paisagem é um pré-requisito para estudar as interações entre elementos espaciais, as alterações de estrutura ao longo do tempo e como padrões ecológicos são afetados por esses fatores. Com esse objetivo, diversas métricas de ecologia da paisagem foram desenvolvidas, genericamente categorizadas em métricas de forma, composição e área, e analisadas em diferentes níveis, tais como mancha, classe e paisagem.

A seguir são apresentadas as formulações das métricas utilizadas na classificação de padrões de degradação florestal:

- *Class Area (CA)*: é uma medida da composição da paisagem representada pela soma de áreas de todas as manchas de determinada classe em hectares (ha) e dividido por 10,000 (para converter em hectares). $CA > 0$, sendo que o valor de CA aproxima-se de 0 quando há poucas manchas da classe na paisagem. Unidade: ha

$$CA = \sum_{j=1}^n a_{ij} \left(\frac{1}{10.000} \right) \quad (\text{A.1})$$

Onde a_{ij} é a área (m^2) da mancha ij

- *Edge Density* (ED): é uma medida de forma da paisagem representada pela soma de todas as bordas (m) de todas as manchas associadas a uma classe, dividida pelo total de área da paisagem (m²), multiplicado por 10,000 (para converter em hectares). ED ≥ 0, sendo que o valor ED se aproxima de 0 quando toda a paisagem é representada por um mesma mancha. Unidade: m/ha

$$ED = \frac{\sum_{k=1}^m e_{ik}}{A} (10,000) \quad (\text{A.2})$$

Onde e_{ik} é a soma total de borda (m) de todas as manchas associadas a uma classe (i), A = total da área (m²)

- *Mean Patch Size* (MPS): é uma medida de configuração espacial da paisagem que representa a soma das áreas (m²) de todas as manchas de uma mesma classe, dividido pelo número de manchas da classe. MPS ≥ 0. Unidade: ha

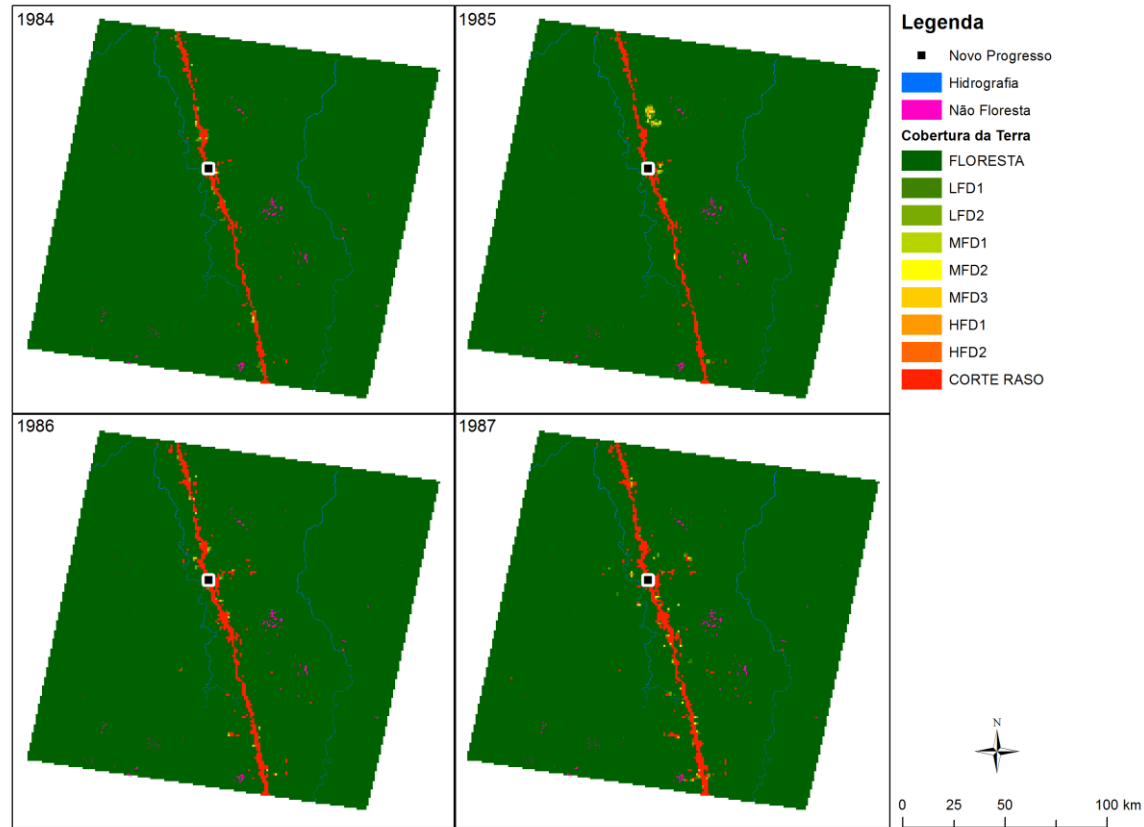
$$MPS = \frac{\sum_{j=1}^n a_j}{n} \left(\frac{1}{10,000} \right) \quad (\text{A.3})$$

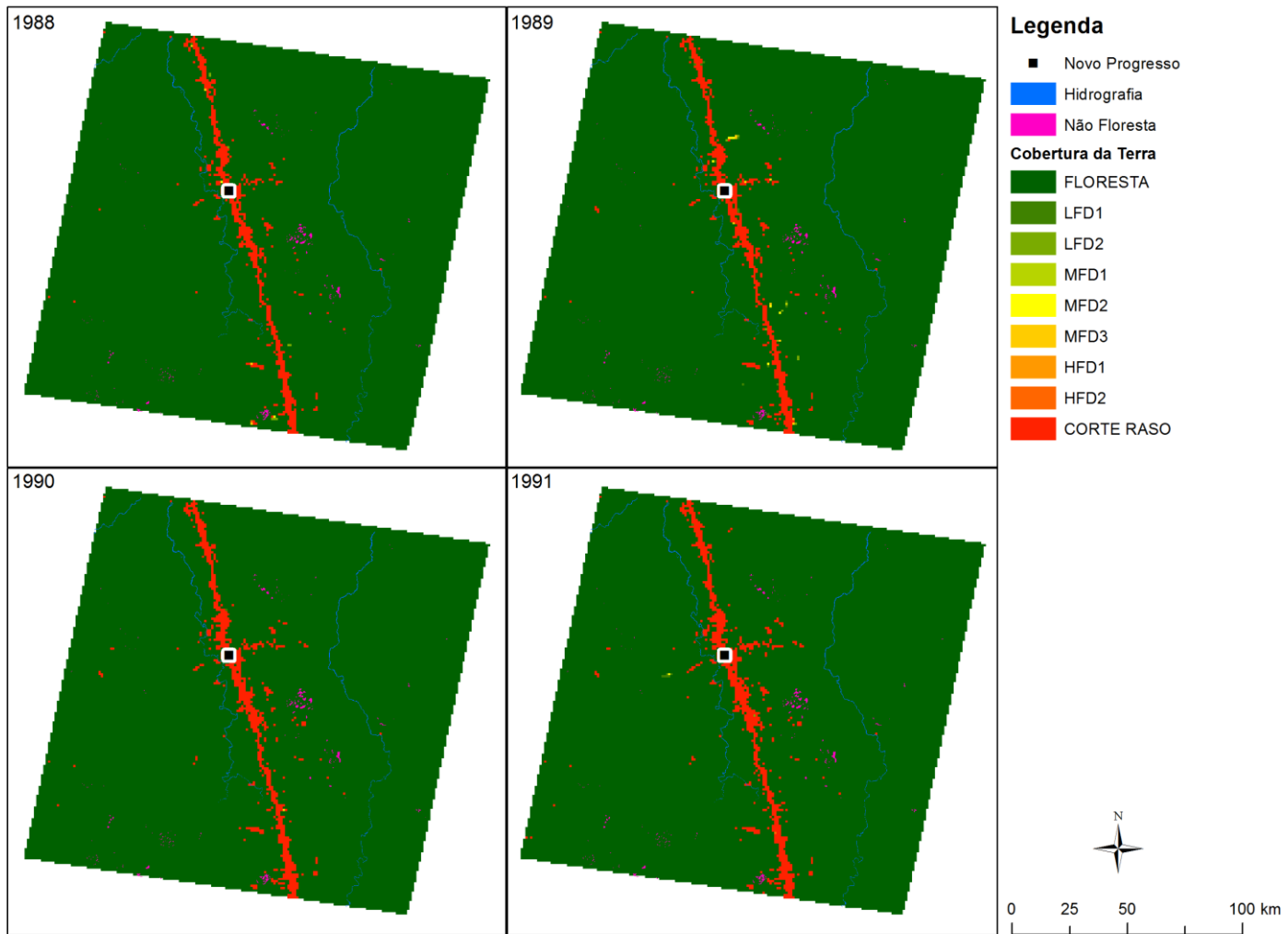
- *Numbers of Patches* (NP): é uma medida de subdivisão de um tipo mancha. É calculada pelo número de manchas relacionado a um tipo de mancha (classe). NP ≥ 1, sem limite.

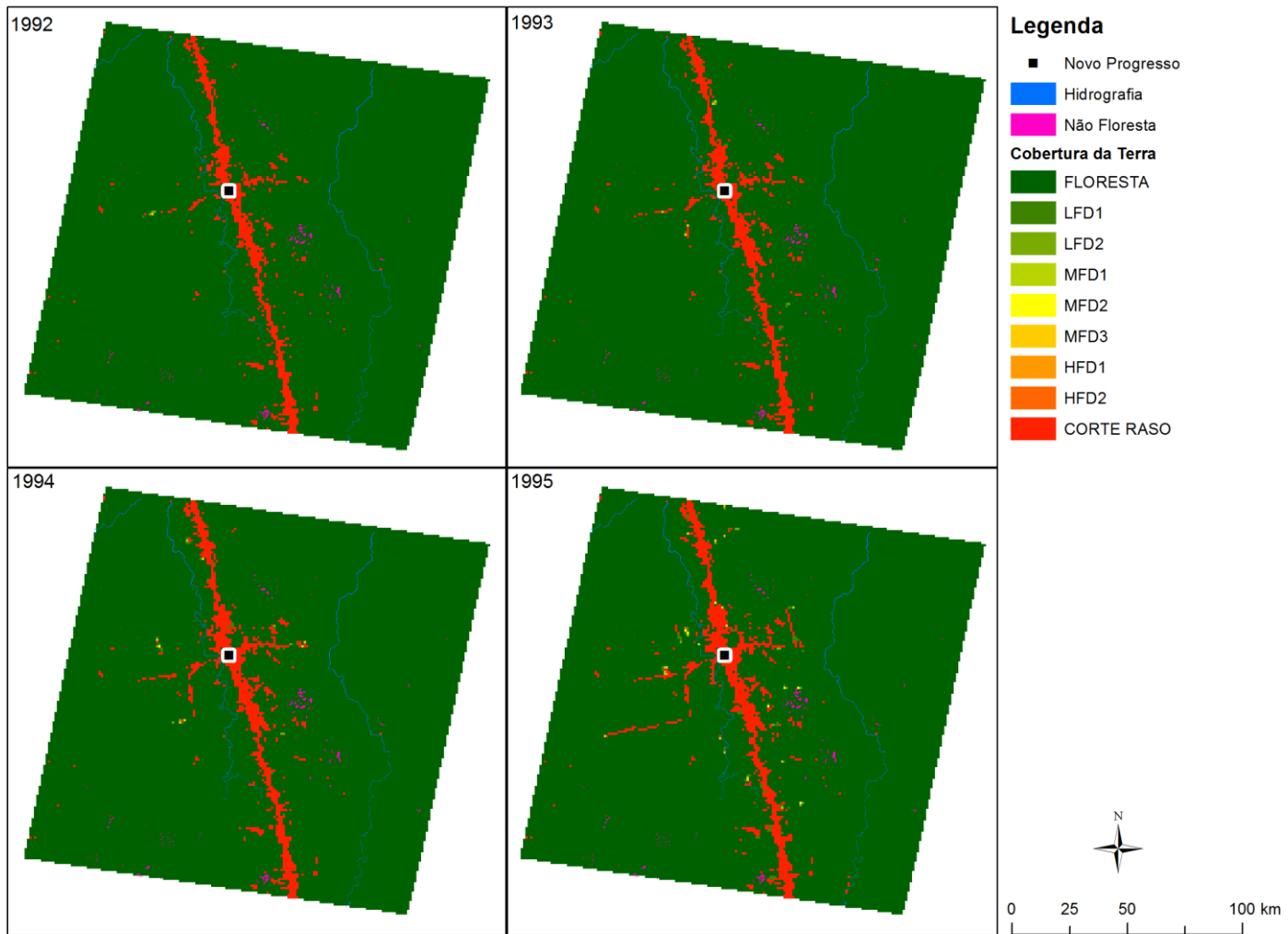
$$NP = n_i \quad (\text{A.4})$$

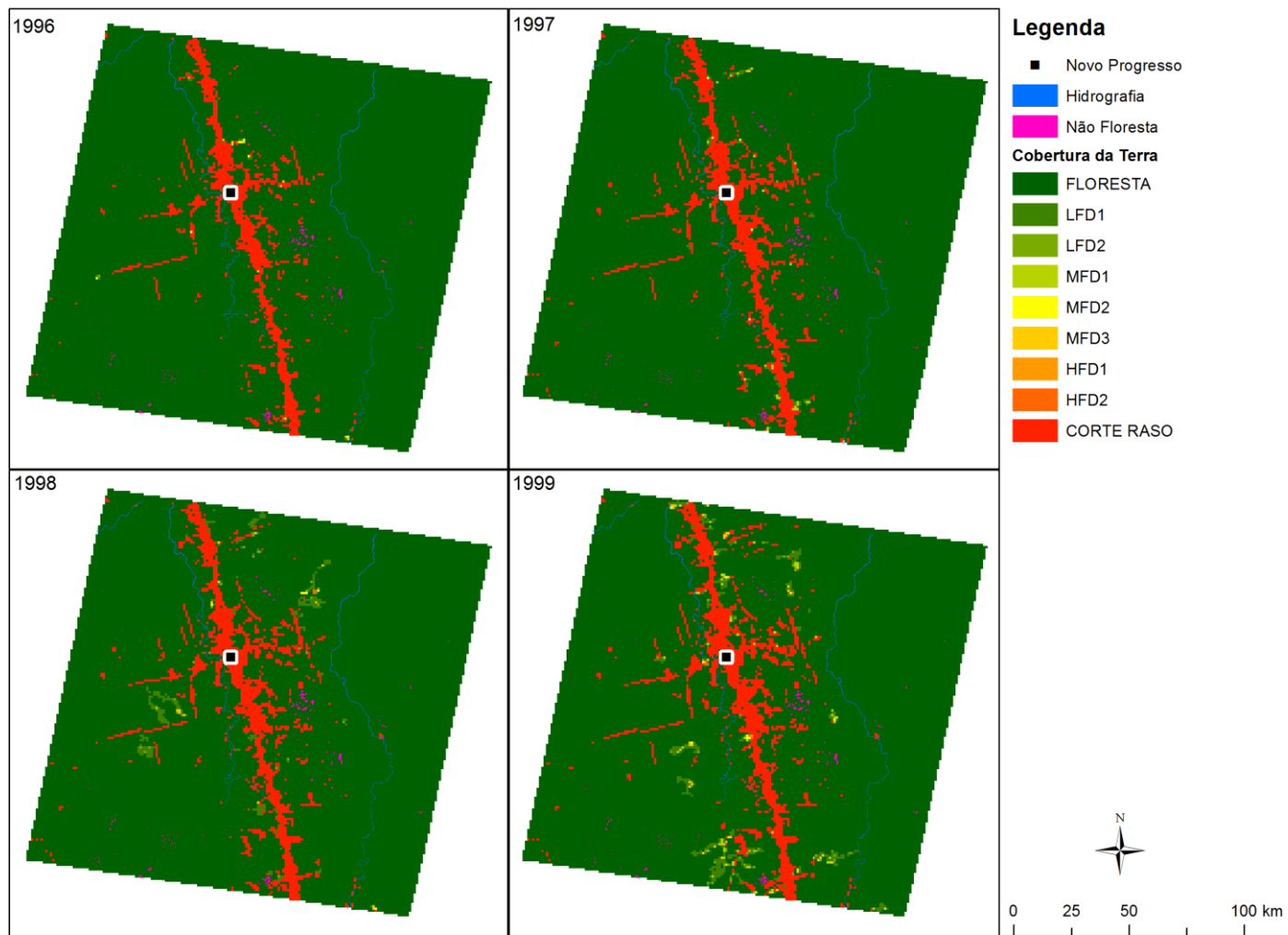
Onde n_i é o número de manchas de um tipo (classe) i na paisagem

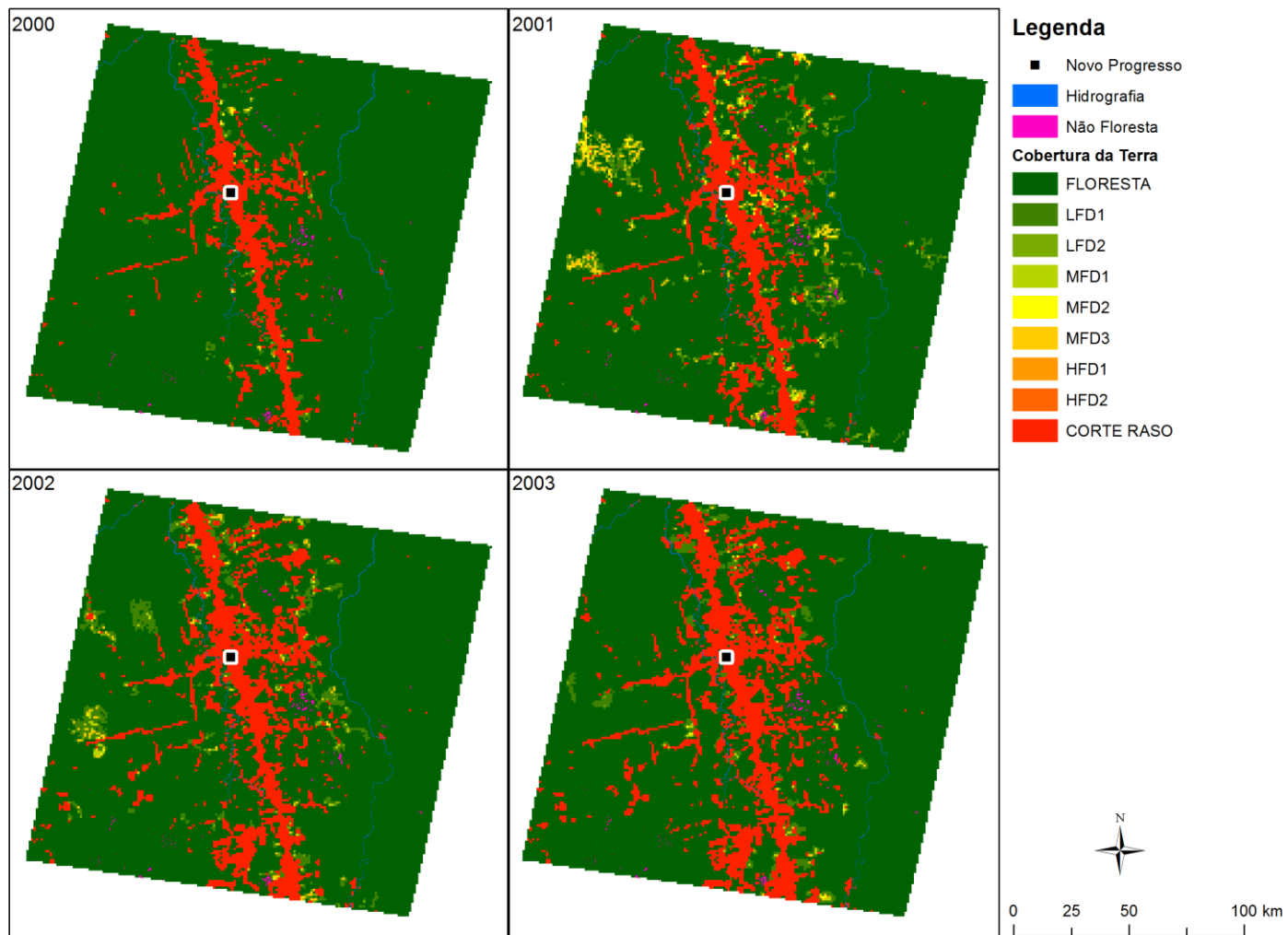
APÊNDICE E - CLASSIFICAÇÃO ANUAL EM CÉLULAS DE PADRÕES DE DEGRADAÇÃO FLORESTAL EM NOVO PROGRESSO, PARÁ: 1984 – 2011

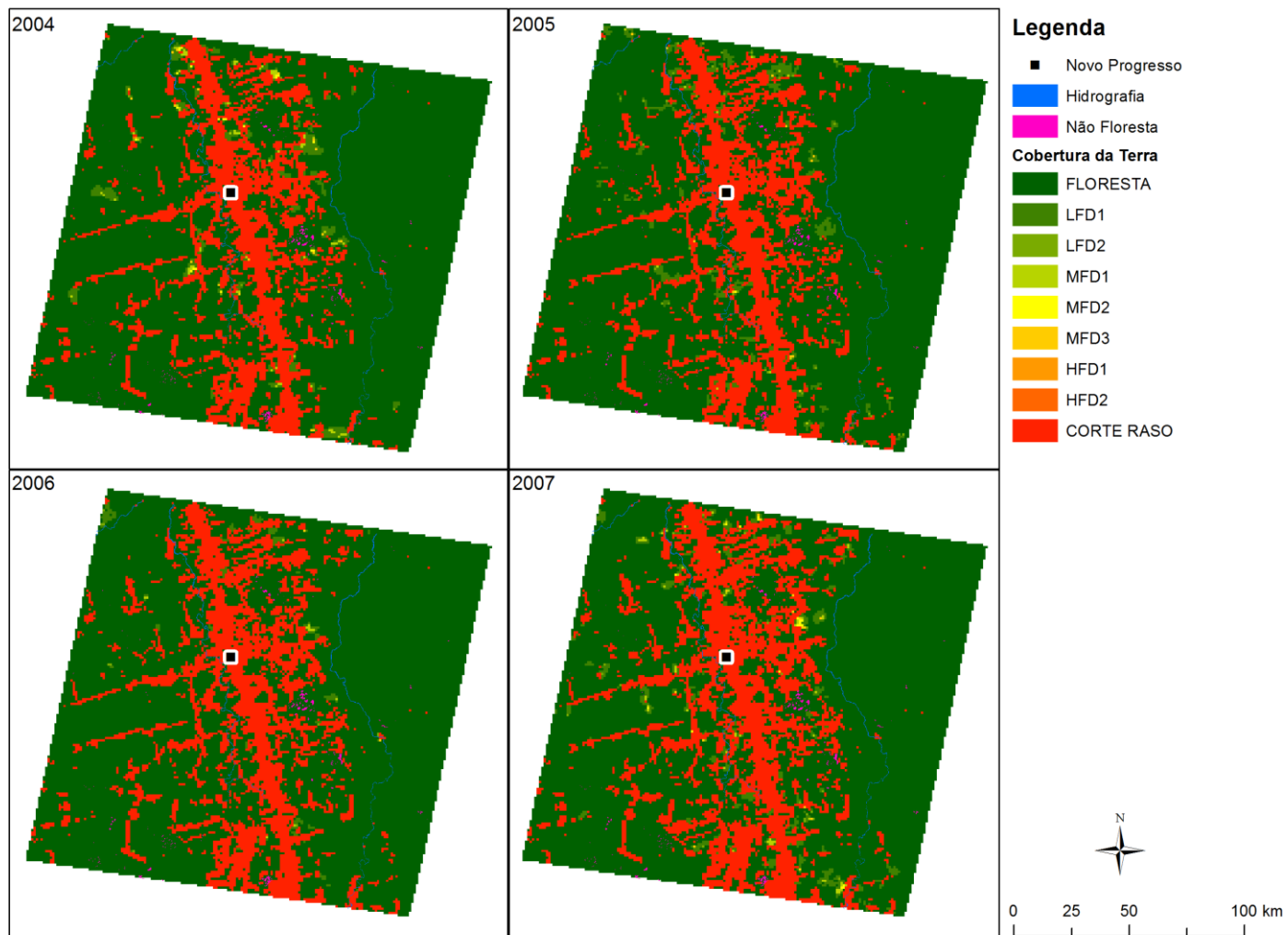


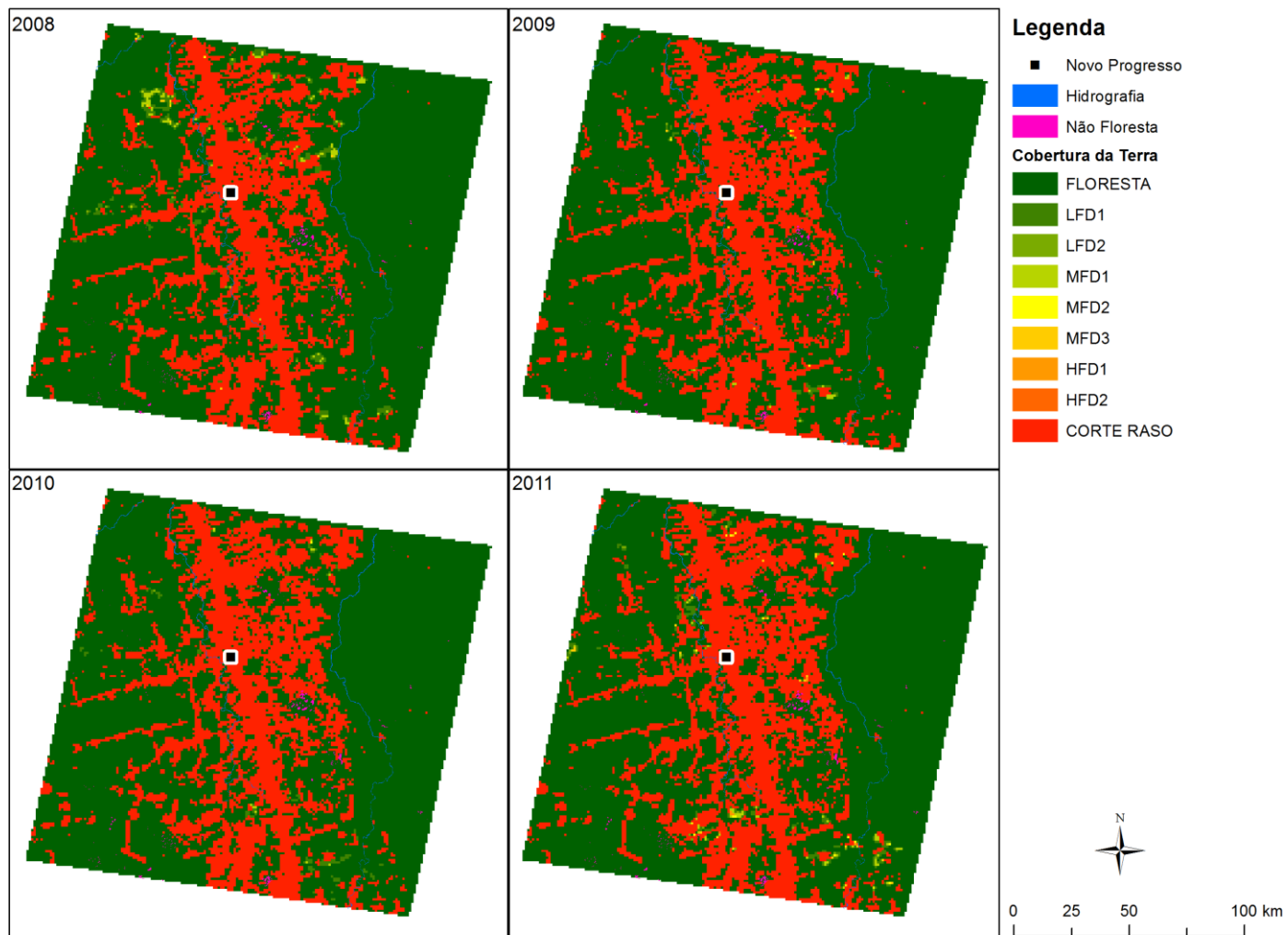












**APÊNDICE F - CLASSIFICAÇÃO ANUAL EM CÉLULAS DE PADRÕES DE DEGRADAÇÃO FLORESTAL EM SINOP,
MATO GROSSO: 1984 – 2011**

