



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21c/2019/08.15.13.00-TDI

**DINÂMICA DOS FATORES DE DEGRADAÇÃO
FLORESTAL EM FRONTEIRA AGROPECUÁRIA DA
AMAZÔNIA: A REGIÃO DE NOVO PROGRESSO, PARÁ**

Danilo Avancini Rodrigues

Dissertação de Mestrado do
Curso de Pós-Graduação em
Sensoriamento Remoto, orientada
pela Dra. Maria Isabel Sobral
Escada, aprovada em 19 de agosto
de 2019.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3TRFQPB>>

INPE
São José dos Campos
2019

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GBDIR)

Serviço de Informação e Documentação (SESID)

CEP 12.227-010

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/7348

E-mail: pubtc@inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE - CEPPII (PORTARIA Nº 176/2018/SEI-INPE):

Presidente:

Dra. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CGCPT)

Membros:

Dra. Carina Barros Mello - Coordenação de Laboratórios Associados (COCTE)

Dr. Alisson Dal Lago - Coordenação-Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CGCEA)

Dr. Evandro Albiach Branco - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (COCST)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação-Geral de Engenharia e Tecnologia Espacial (CGETE)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação-Geral de Observação da Terra (CGOBT)

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Conselho de Pós-Graduação - (CPG)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon

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

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

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

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Ivone Martins - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

Cauê Silva Fróes - Serviço de Informação e Documentação (SESID)



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21c/2019/08.15.13.00-TDI

**DINÂMICA DOS FATORES DE DEGRADAÇÃO
FLORESTAL EM FRONTEIRA AGROPECUÁRIA DA
AMAZÔNIA: A REGIÃO DE NOVO PROGRESSO, PARÁ**

Danilo Avancini Rodrigues

Dissertação de Mestrado do
Curso de Pós-Graduação em
Sensoriamento Remoto, orientada
pela Dra. Maria Isabel Sobral
Escada, aprovada em 19 de agosto
de 2019.

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3TRFQPB>>

INPE
São José dos Campos
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Rodrigues, Danilo Avancini.

R618d Dinâmica dos fatores de degradação florestal em fronteira agropecuária da Amazônia: a região de Novo Progresso, Pará / Danilo Avancini Rodrigues. – São José dos Campos : INPE, 2019.

xxii + 101 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21c/2019/08.15.13.00-TDI)

Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2019.

Orientadora : Dra. Maria Isabel Sobral Escada.

1. Regressão multivariada. 2. Degradação florestal. 3. Fronteira agropecuária. I. Título.

CDU 504.122(811.5)



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/).

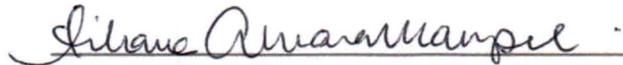
Aluno (a): **Danilo Avancini Rodrigues**

Título: "DINÂMICA DOS FATORES DE DEGRADAÇÃO FLORESTAL EM FRONTEIRA AGROPECUÁRIA DA AMAZÔNIA: A REGIÃO DE NOVO PROGRESSO, PARÁ"

Aprovado (a) pela Banca Examinadora em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de **Mestre** em

Sensoriamento Remoto

Dra. Silvana Amaral Kampel



Presidente / INPE / SJC Campos - SP

() Participação por Vídeo - Conferência

Aprovado () Reprovado

Dra. Maria Isabel Sobral Escada

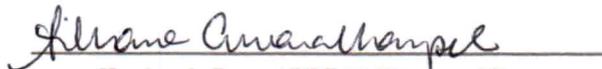


Orientador(a) / INPE / SJC Campos - SP

() Participação por Vídeo - Conferência

Aprovado () Reprovado

Dr. Antonio Miguel Vieira Monteiro



Membro da Banca / INPE / SJC Campos - SP

Participação por Vídeo - Conferência

Aprovado () Reprovado

Dr. Camilo Daleles Rennó

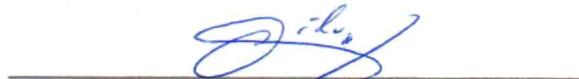


Membro da Banca / INPE / SJC Campos - SP

() Participação por Vídeo - Conferência

Aprovado () Reprovado

Dr. Edson José Vidal da Silva



Convidado(a) / USP/ESALQ / São Paulo - SP

() Participação por Vídeo - Conferência

Aprovado () Reprovado

Este trabalho foi aprovado por:

() maioria simples

unanimidade

São José dos Campos, 19 de agosto de 2019

“O correr da vida embrulha tudo, a vida é assim: esquenta e esfria, aperta e daí afrouxa, sossega e depois desinquieta. O que ela quer da gente é coragem. [...] A vida inventa! A gente principia as coisas, no não saber por que, e desde aí perde o poder de continuação - porque a vida é mutirão de todos, por todos remexida e temperada. [...] O mais importante e bonito, do mundo, é isto: que as pessoas não estão sempre iguais, ainda não foram terminadas - mas que elas vão sempre mudando. Afinam ou desafinam. [...] Viver é muito perigoso; e não é não. Nem sei explicar estas coisas. Um sentir é o do sentente, mas outro é do sentidor...”

JOÃO GUIMARÃES ROSA

Este documento, e todo o processo de crescimento
envolvido em sua construção, dedico
a minha sobrinha, Helena Avancini Moura (*in memoriam*) que, em sua curta passagem pelo
plano material, muito nos ensinou sobre amar e ressignificar,
a minha mãe e irmãos, Edivanir Avancini Rodrigues, André Avancini Rodrigues e Dayana
Avancini Rodrigues. Amo vocês.

AGRADECIMENTOS

Sou muito grato a/às/ao/aos:

minha orientadora, Dr^a. Maria Isabel Sobral Escada, por me proporcionar um ambiente de aprendizagem honesto e justo.;

Bruna Telassim Baggio e Gabriel Crivellaro Gonçalves por terem sido minha família nos últimos meses;

Afonso Henrique Moraes Oliveira e Mateus de Souza Macul por caminharem ao meu lado durante essa jornada e terem me ensinado tanto;

Laboratório de investigação em Sistemas Sócio-ambientais (LiSS) pelo ambiente de cooperação e construção em coletivo;

minha família, pelo apoio recebido em todos os momentos.

Vinicius do Prado Capanema e Taíse Farias Pinheiro pelo auxílio na aquisição, produção e processamento dos dados;

entrevistados em campo pela participação e contribuição imensurável na construção deste trabalho;

equipe de manutenção, limpeza e serviços gerais do INPE por me proporcionarem, diariamente, um excelente local de trabalho;

suporte do Projeto MSA-BNDES (Processo: 1022114003005).

colegas da sala ASA 55; Ana Carol, Gabi, Bragion, Gabo, Thati e Nayla, por tornarem a caminhada mais leve.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

Agradeço a todos os envolvidos, direta ou indiretamente.

RESUMO

A degradação florestal na Amazônia, causada pela exploração seletiva de madeira e pelo fogo florestal, é um dos principais impactos decorrentes da intensificação da ocupação dessa região, com dinâmica e extensão ainda pouco conhecidas. As alterações na vegetação, causadas por degradação florestal, ocorrem de maneira gradual e no longo prazo, demandando longos períodos de observação. Os fatores que influenciam a degradação florestal variam ao longo tempo e se relacionam com os estágios de desenvolvimento de uma região. Este trabalho identificou os principais fatores, e suas respectivas contribuições (pesos), relacionados com a intensidade da degradação florestal na região de Novo Progresso, município da Amazônia paraense, em diferentes períodos. Essa região é considerada uma ativa fronteira agropecuária, cuja ocupação se intensificou a partir dos anos 2000. O procedimento metodológico foi realizado em duas etapas: na primeira, foi realizado o mapeamento da degradação florestal com técnicas de processamento de imagens e, na segunda, foram identificados os fatores explicativos que influenciam a intensidade da degradação florestal. Na etapa de mapeamento foi realizada a classificação espectral de imagens anuais de 2012 a 2017 para a identificação de feições relativas à degradação florestal. Em seguida, foi realizada uma classificação estrutural, para o mapeamento de padrões de intensidade de degradação florestal. Os dados produzidos foram incorporados a um banco de dados, formando uma série histórica de intensidade de degradação florestal na região de Novo Progresso de 34 anos (1984 a 2017). Esta série histórica foi dividida em três períodos que refletem diferentes contextos do desenvolvimento da região de estudo: 1984 a 1994, 1995 a 2004 e 2005 a 2017. A obtenção e análise dos fatores que influenciam a intensidade de degradação florestal foram realizadas por meio de modelos de regressão multivariados. Os modelos demonstraram que o desmatamento e as estradas, representados pelas variáveis *distância de áreas desmatadas*, *proporção de área desmatada*, *distância de estradas vicinais* e *distância da BR-163*, influenciaram a degradação florestal durante todos os períodos de estudo. A variável *distância da BR-163* foi a de maior contribuição para a degradação florestal no primeiro período, apresentando menor contribuição no segundo período, não sendo significativa no terceiro. Esse resultado evidencia o esgotamento dos recursos florestais às margens da BR-163. No segundo período, a variável *distância de estradas vicinais* é incluída mas apresenta uma contribuição relativa inferior no último período. A *distância de área desmatada* teve sua contribuição ascendente, sendo o fator de menor contribuição no segundo período, e o de maior contribuição no último período. A variável *distância de assentamentos rurais* foi incluída nos dois últimos períodos, enquanto a variável *densidade de focos de calor* apareceu apenas no terceiro período. Esses resultados mostram a heterogeneidade de fatores que influenciam a degradação florestal ao longo do tempo e sua identificação é

fundamental para subsidiar ações e políticas para um controle mais eficaz da degradação florestal na Amazônia.

Palavras-chave: Regressão multivariada. Degradação florestal. Fronteira agropecuária.

FOREST DEGRADATION FACTORS' DYNAMICS IN AN AMAZONIAN LOGGING FRONTIER: THE REGION OF NOVO PROGRESSO, PARÁ

ABSTRACT

The forest degradation process in Amazonia, through selective logging and forest fires, is one of the main impacts from the intensification of the occupation in Brazilian Amazon, with dynamics not yet well known. Different from the clear cut, forest degradation changes occur gradually and in long-term, which requires long observation period. The factors related to forest degradation, such as forest fragmentation and logging activity, vary through time, related to the stages of development where it occurs. This work's purpose is to identify the main factors, and its weights, related to the forest degradation intensity in Novo Progresso region, in different time periods. This region is considered an active logging frontier which occupation was intensified after 2000. The methodological procedures were separated in two steps: the first step is mapping forest degradation through digital image processing from Landsat sensors and the second step is the identification of the factors related to forest degradation using multivariate statistical analysis. Both the steps were sustained by field trips to the study area. On the mapping step, images were spectrally classified for the years 2012 to 2017 to identify indicators of forest degradation. Still on the mapping phase, a second step structurally classified the forest degradation polygons into degraded forest intensity patterns. The data produced were combined with the database of forest degradation intensity from Pinheiro (2015), resulting in a 33-years (1984-2017) time-series of forest degradation intensity in the region of Novo Progresso. This time series were divided in three time periods that reflects the study area context of development: 1984 to 1994, 1995 to 2004 and 2005 to 2017. The acquisition and analysis of the factors influencing forest degradation intensity were performed through multivariate regression models. The models showed that deforestation and roads, represented by the variables *distance from deforested areas*, *deforested area proportion*, *distance from roads* and *distance from official roads* influenced forest degradation during the study periods. The variable *distance from rural settlements* was included in the last two periods of analysis because people living in the settlements rely on wood as the primary source of money so they can invest on cattle raising and/or farming. The *distance from the BR-163* was the factor with the highest contribution to forest degradation in the first period, turning out to be the variable with the lowest contribution in the second period, and the variable *distance from unofficial roads* becomes the most important variable. On the last period the *distance from BR-163* was not included in the model, while the *distance from unofficial roads* presented a lower relative contribution than the previous periods, exposing the process of forest resources depletion on the margins of the BR-163 between the two last periods. The *distance from deforested areas* had been ascending throughout the periods. On the last period, the “*kernel heat focus*” was the variable with the second highest influence on forest degradation

intensity. It was not found evidences that measures taken by the federal government to control and reduce forest cover removal had any influence in forest degradation on Novo Progresso, evidencing the lack of governance in the region. The results can subsidize individual actions for a more efficient control of forest degradation in logging frontiers in the Amazon with context and history similar to Novo Progresso.

Keywords: Multivariate regression. Forest degradation. Logging frontier.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 2.1 - Padrões espaciais de degradação florestal por fogo florestal, detectados pelo sistema DEGRAD. a) e b) áreas queimadas em 2017. c) padrão de cicatriz de incêndio florestal mapeado pelo sistema DEGRAD em 2008, composição R5G4B3, TM, Landsat. 15
- Figura 2.2 - Padrões de degradação florestal por exploração seletiva de madeira detectados pelo sistema DEGRAD. a) área que sofreu exploração madeireira em 2017; b) área que sofreu exploração madeireira em 2008. b) padrão de exploração seletiva de madeira mapeado pelo sistema DEGRAD em imagem fusionada Landsat e HRC/CBERS. 15
- Figura 3.1 - Área de estudo: cena que corresponde à órbita/ponto 227/65 do sensor TM/Landsat..... 21
- Figura 4.1 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos empregados: I. Mapeamento da degradação florestal; II. União dos dados produzidos com a base de dados de Pinheiro (2015); III. Definição dos períodos de estudo e obtenção das variáveis; IV. Modelagem da intensidade de degradação florestal. 32
- Figura 4.2 – Ilustra as diversas formas de dados que foram coletados em campo. a) Entrevista com informantes-chave. b) Coleta de pontos de afloramento rochoso. c) Coleta de pontos de degradação florestal: abertura de clareira devido a extração madeireira e; d) Coleta de pontos de degradação florestal: local utilizado para o processamento de madeira extraída sem plano de manejo florestal. 33
- Figura 4.3 – Mapa dos pontos de degradação florestal e afloramento rochoso coletados na região de Novo Progresso em 2017 e 2018 (Imagem Landsat OLI R4G5B6). 34
- Figura 4.4 - Ilustração dos padrões espaciais da cicatriz de fogo florestal e da exploração florestal em imagens TM e OLI/Landsat. a) padrão de cicatriz de fogo florestal observado na banda 4 do TM. b) padrão de exploração florestal observado na banda 4 do OLI..... 36
- Figura 4.5 - Fluxograma da metodologia para classificação espectral da classe de cobertura *floresta degradada*..... 37
- Figura 4.6 - Tipologia de padrões de degradação florestal proposta por Pinheiro (2015) para a órbita/ponto 227/065 do Landsat. 39
- Figura 4.7 - Classificação de padrões de degradação florestal com o GeoDMA em plano celular. Nesta figura, são apresentados o espaço celular (de 1km²) e uma tabela de atributos associada às células. A tabela de atributos contém as informações do plano celular como, a localização da célula (representada pelas colunas Col e Lin), e as informações das métricas de paisagem (c_CA, c_ED, c_LSI, por exemplo), extraídas com o GeoDMA..... 40

Figura 4.8 - 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: IFD1: degradação florestal de intensidade baixa-1; IFD2: 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).	41
Figura 4.9 - Ilustração do preenchimento celular com o operador <i>distância mínima</i>	44
Figura 4.10 - Ilustração do preenchimento celular com o operador <i>quantidade</i>	44
Figura 4.11 – Ilustração da obtenção da métrica <i>total de borda</i>	45
Figura 4.12 – Ilustração da obtenção da métrica <i>número de fragmentos</i>	45
Figura 4.13 – Ilustração da obtenção da métrica <i>área</i> para a variável <i>área de planos de manejo</i>	46
Figura 4.14 - Fluxograma metodológico da modelagem estatística multivariada.	51
Figura 4.15 - População e amostra de células com degradação florestal na região de Novo Progresso em cada período de estudo.	51
Figura 5.1 - Períodos distintos para a exploração madeireira na região de Novo Progresso e seus marcos históricos.	55
Figura 5.2 - Mapas anuais de intensidade de degradação florestal na região de Novo Progresso (cena 227/65) para o período de 2012 a 2017. ..	57
Figura 5.3 – Expansão da área desmatada na região de Novo Progresso (PA) entre o primeiro e o segundo períodos de análise.	68
Figura 5.4 – Fotografias coletadas em expedição de campo das principais coberturas da terra na margem de estradas da região de Novo Progresso (PA). a) Áreas de pasto e indústrias às margens da BR-163. b) Área de pasto às margens de estradas vicinais. c) Área de pasto e fragmentos florestais às margens de estradas vicinais. ...	69
Figura 5.5 – Uso e cobertura da terra às margens da BR-163 na região de Novo Progresso no ano 2004.	70
Figura 5.6 – Área desmatada no interior dos assentamentos rurais na região de Novo Progresso nos períodos 2 e 3.	71
Figura 5.7 – Proporção de área de floresta primária e malha viária da região de Novo Progresso (PA) no terceiro período de estudo.	73
Figura 5.8 – Área plantada (em hectares) com os cultivos de arroz, soja e milho no município Novo Progresso entre 2014 e 2017.	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Imagens LISS III/ResourceSat1 e OLI/Landsat da órbita/ponto 227/65 utilizadas para o mapeamento da degradação florestal em Novo Progresso, Pará (PA).	29
Tabela 4.2 - Descrição dos dados utilizados para a obtenção das variáveis da modelagem estatística. Os fatores representados pelos dados podem ser “A” para fatores ambientais, “PP” para políticas públicas e “Ac” para acesso.	30
Tabela 4.3 - Resumo das variáveis utilizadas na regressão estatística multivariada.....	48
Tabela 5.1 – Matriz de confusão da classificação anual de padrões espaciais de intensidade de degradação florestal em Novo Progresso (PA) de 2012 a 2017.	58
Tabela 5.2 – Estatísticas dos modelos múltiplos para os três períodos de estudo e resultados das análises de multicolinearidade e de resíduos. ...	61

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CBERS	<i>China-Brazil Earth-Resources Satellite</i>
DEGRAD	Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira
DETER	Sistema de detecção de desmatamento em tempo quase real
DETEX	Sistema de Detecção de Exploração Seletiva
DFS	Distrito Florestal Sustentável
DOS	<i>Dark Object Subtraction</i>
HRC	<i>High Resolution Camera</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ICMBio	Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LISS	<i>Linear Imaging Self-Scanner</i>
OLI	<i>Operational Land Imager</i>
PAC	Programa de Aceleração do Crescimento
PRODES	Programa de Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite
REDD+	<i>Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation</i>
TM	<i>Thematic Mapper</i>
UK-DMC2	
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
PDS	Projeto de Desenvolvimento Sustentável
PA	Projeto de Assentamento
ALAP	Área sob Limitação Administrativa Provisória
PPCDAm	Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia
IDF	Intensidade de Degradação Florestal

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivos	4
1.2	Organização da dissertação	5
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	7
2.1	Fronteira agropecuária na Amazônia	7
2.2	Conceitos de degradação florestal	9
2.2.1	Fatores associados ao processo de degradação florestal	10
2.3	Detecção da degradação florestal por sensoriamento remoto	11
2.3.1	Mapeamento e monitoramento da degradação florestal na Amazônia brasileira	13
2.4	Fatores que condicionam a degradação florestal e o emprego de modelos estatísticos multivariados	18
3	ÁREA DE ESTUDO	21
3.1	Descrição geral	21
3.2	Histórico de ocupação	22
3.3	A atividade madeireira na região de Novo Progresso: marcos históricos	24
4	MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.1	Materiais	28
4.1.1	Imagens TM e OLI/Landsat, e LISS III/Resourcesat1	28
4.1.2	Dados espaciais	29
4.2	Procedimentos metodológicos	30
4.2.1	Expedições de campo	32
4.2.2	Complementação da série histórica de degradação florestal (2012 a 2017)	34
4.3	Análise dos fatores causadores da degradação florestal	42
4.3.1	Preparo das variáveis	43
4.3.2	Regressão estatística multivariada	51
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
5.1	Períodos do avanço da exploração madeireira na região de Novo Progresso	55
5.2	Avaliação dos padrões de intensidade de degradação florestal	56

5.3	Mapeamento de estradas não-oficiais	59
5.4	Análise dos fatores relacionados com a intensidade de degradação florestal na região de Novo Progresso, Pará	60
5.4.1	Modelos de regressão multivariados para análise da intensidade de degradação florestal	61
5.4.2	Fatores que influenciam a intensidade de degradação florestal na região de Novo Progresso.....	62
5.4.3	Contribuição relativa das variáveis.....	65
5.4.4	Os fatores que influenciam a degradação florestal em fronteiras agropecuárias da Amazônia: Sinop (MT) e Novo Progresso (PA).....	75
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	80
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	82
	APÊNDICE A – DIAGNÓSTICO DA ANÁLISE DE RESÍDUOS	93
	APÊNDICE B - ROTEIRO DE PERGUNTAS APLICADO AOS PRODUTORES OU PROPRIETÁRIOS DE TERRA NA REGIÃO DE NOVO PROGRESSO (PA).	95
	APÊNDICE C - ROTEIRO DE PERGUNTAS APLICADO AOS PRODUTORES OU PROPRIETÁRIOS DE TERRA NA REGIÃO DE NOVO PROGRESSO (PA).	96
	APÊNDICE D - ROTEIRO DE PERGUNTAS APLICADO AO SINDICATO RURAL E SECRETARIA DE AGRICULTURA DE NOVO PROGRESSO (PA).97	
	APÊNDICE E - ROTEIRO DE PERGUNTAS APLICADO AO INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA).....	98
	APÊNDICE F - ROTEIRO DE PERGUNTAS APLICADO AO INSTITUTO CHICO MENDES DE BIODIVERSIDADE (ICMBIO).	99
	APÊNDICE G - ROTEIRO DE PERGUNTAS APLICADO À EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL (EMATER).	100
	APÊNDICE H – AUTORIZAÇÃO DE USO DE IMAGEM E SOM INDIVIDUAL ESPECÍFICA.....	101

1 INTRODUÇÃO

As políticas de incentivo à ocupação da Amazônia brasileira, a partir da década de 60, aceleraram o processo de ocupação desse bioma, gerando impactos ecológicos e sociais na região. Um dos principais resultados da ocupação sobre a floresta foi o desmatamento, abrindo áreas de floresta para assentamentos rurais, de responsabilidade do Instituto de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) e, modelos de colonização privados. Responsável por grande parte das alterações da paisagem na Amazônia, o desmatamento passou a ser monitorado pelo governo federal no final da década de 80 através do Programa de Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite (PRODES). Esse programa foi criado e executado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), cujo objetivo é inventariar o desmatamento por corte raso¹ para subsidiar políticas de combate ao desmatamento (INPE, 2019a). Contudo, existem outros processos de perda da cobertura florestal, como o fogo florestal e atividades de extração madeireira, que não removem completamente a cobertura florestal.

De acordo com o INPE (2008), a degradação florestal é um processo de perda da cobertura florestal, gradual e de longo prazo, por extração seletiva de madeira e incêndios florestais. A importância das alterações causadas pela degradação florestal ao meio biofísico fez com que o processo fosse incluído, juntamente com o desmatamento, no programa *Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation* (REDD+) em 2013. Esse programa foi criado pela Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), e funciona como um instrumento que recompensa financeiramente países em desenvolvimento pela redução da emissão de carbono em suas florestas tropicais (UNFCCC, 2016). Entretanto, esse processo é menos conhecido do que o desmatamento e passou a ser monitorado anualmente, pelo INPE, apenas a partir de 2007, pelo DEGRAD - Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira (INPE, 2019b). Esse programa foi descontinuado em 2016 e as feições relativas à degradação florestal, como corte seletivo e queimada, passaram a ser monitoradas pelo DETER - Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (INPE, 2019c).

¹ O desmatamento por corte raso é a remoção completa da cobertura florestal em um curto intervalo de tempo (INPE, 2006).

Por se tratar de um processo de perda florestal diferente do corte raso, a degradação florestal não é incluída no monitoramento e nas taxas de desmatamento estimadas pelo PRODES. Entretanto, o mapeamento e monitoramento da degradação florestal é de suma importância para a compreensão das mudanças na composição e no microclima de ecossistemas florestais, estimativas de emissão de carbono e desenvolvimento de políticas públicas de fiscalização e conservação da floresta (JOHNS; BARRETO; UHL, 1996; GERWING; VIDAL, 2002; FIORINI, 2012). Imagens provenientes de sensores orbitais são fundamentais para o monitoramento da cobertura florestal, pois possibilitam a identificação e mapeamento de amplas áreas florestais, além de estimativas de área e taxas de mudanças na cobertura da terra ao longo do tempo. Com o monitoramento contínuo e a produção de séries históricas de dados sobre a cobertura florestal, a eficácia dos esforços no combate ao desmatamento tem sido continuamente avaliada, e a base de dados gerada tem possibilitado analisar o desmatamento e a degradação florestal, sua distribuição espacial e dinâmica temporal.

Para melhor compreensão do desmatamento, diversos trabalhos utilizam modelos estatísticos relacionando variáveis socioeconômicas e ambientais com dados de desmatamento (REIS; GUZMÁN, 1992; LAURANCE et al., 1998; SOARES-FILHO et al., 2004; FEARNSIDE et al., 2009; AGUIAR, 2012; DE ESPINDOLA et al., 2012). Entretanto, poucos são os estudos que relacionam a degradação florestal com variáveis ambientais e socioeconômicas, como o estudo desenvolvido por Matricardi et al. (2010) e Kury (2016), que relacionam a degradação florestal com variáveis ambientais em períodos de tempo de 6 e 10 anos, respectivamente. Esses autores apontam a extração seletiva de madeira e o desmatamento como os fatores de maior influência sobre a degradação florestal. Adicionalmente, Kury (2016) particionou a Amazônia Legal brasileira em regiões e constatou que os fatores atuam de forma diferente no espaço. Entretanto, ambos os trabalhos utilizam séries temporais curtas, não consideram diferentes períodos de tempo e, portanto, não capturam o comportamento dos fatores que influenciam a degradação florestal ao longo do tempo.

Pinheiro (2015) e Azeredo et al. (2016) identificaram e analisaram trajetórias de degradação florestal utilizando séries temporais de 28 anos. Nesses estudos, o

foco foi o mapeamento de padrões de intensidade de degradação florestal, a avaliação e quantificação de trajetórias de degradação florestal. Não foi utilizada uma abordagem estatística para explorar e identificar fatores que influenciam a degradação florestal ao longo do tempo. Nesse sentido, o trabalho de Capanema (2017), realizado com técnicas de análise de regressão linear multivariada, contribui para explicar os fatores que influenciam a degradação florestal em diferentes estágios da fronteira agropecuária na região do município de Sinop, Mato Grosso. O autor estimou o peso de contribuição das variáveis para modelos obtidos em três períodos entre 1984 e 2015, representando diferentes estágios da fronteira agropecuária. No período mais próximo do início da ocupação da região, variáveis relacionadas com o fogo, desmatamento e estradas foram as que apresentaram maior relação estatística com a intensidade de degradação, e persistiram durante os três períodos analisados. Nos outros dois períodos, que representaram estágios mais avançados dessa fronteira, uma nova variável, relacionada com a presença de planos de manejo, passou a contribuir com o modelo, que, segundo o autor, deveu-se ao estabelecimento de políticas de controle do desmatamento que definiram critérios para a exploração dos recursos florestais. Também é importante salientar que o peso de contribuição das variáveis modificou-se ao longo dos anos, mostrando que as estradas foram importante no primeiro período, quando se deu o início da ocupação e também no último período, quando o agronegócio se consolidou na região, aumentando e melhorando a rede de estradas para o transporte da produção agrícola e, conseqüentemente, aumentando o acesso às áreas florestais.

O trabalho realizado por Capanema (2017) tratou de uma região de ocupação consolidada em 2015, último ano de análise, cuja ocupação iniciou na década de 70, juntamente com a abertura e pavimentação da BR-163. No presente trabalho, a metodologia desenvolvida por Capanema (2017) foi replicada, porém para uma região que apresenta histórico e estágio de ocupação diferente de Sinop, e se constitui no que Becker (2005) chama de nova fronteira de ocupação dos anos 2000. A região de Novo Progresso é conhecida pelas altas taxas de desmatamento, especialmente em 2002 (650 km²) e 2004 (739 km²) (INPE, 2019a) e, embora tenha sido inicialmente ocupada na década de 70, com a abertura da BR-163, somente no final dos anos 90, com a perspectiva de

asfaltamento dessa rodovia, é que sua ocupação foi intensificada. Nesse estudo, são identificados os fatores relacionados com a intensidade de degradação florestal e suas contribuições em diferentes períodos de tempo. Pretende-se também verificar se as variáveis identificadas em Novo Progresso, e suas respectivas contribuições, são similares às identificadas por Capanema (2017), no estudo de Sinop (MT). Durante esta análise, é feita uma correspondência entre os estágios de ocupação das duas regiões, sendo apontadas diferenças em relação às dinâmicas de ocupação e de desmatamento, bem como diferenças em relação aos contextos políticos e institucionais das duas regiões.

Neste trabalho, é utilizada uma série temporal de dados anuais de degradação florestal, para o período de 1984 a 2017. Esses dados são analisados juntamente com dados socioeconômicos e ambientais por meio do uso de técnicas de regressão estatística multivariada. Modelos estatísticos são utilizados para explicar a degradação florestal identificando os principais fatores que influenciam sua intensidade, em diferentes recortes temporais: 1984 a 1994; 1995 a 2004 e; 2005 a 2017. Foram definidos recortes temporais a partir da identificação de marcos históricos relacionados com a exploração seletiva de madeira e o desmatamento. Com esses recortes temporais, objetiva-se analisar a dinâmica e/ou persistência dos fatores identificados, bem como sua contribuição nos modelos obtidos nos três períodos de análise. Com os resultados obtidos espera-se analisar a heterogeneidade espaço-temporal do processo e os fatores envolvidos na degradação florestal. Os resultados obtidos são importantes para auxiliar no entendimento sobre os fatores que influenciam a degradação florestal, sendo úteis para subsidiar políticas voltadas ao monitoramento e manejo florestal, ao planejamento territorial, e à elaboração de ações de fiscalização e controle mais eficazes para a conservação da floresta.

1.1 Objetivos

Considerando que os estudos de degradação florestal requerem longos períodos de observação e que os fatores que influenciam a intensidade da degradação modificam-se ao longo do tempo, delineou-se como o principal objetivo deste estudo a identificação de fatores, por meio de análise de regressão multivariada, que mais influenciaram a intensidade da degradação florestal, em três diferentes períodos de tempo, na fronteira agropecuária localizada na região Novo

Progresso, Pará. Neste trabalho, baseado nos resultados obtidos por Pinheiro (2015) e Capanema (2017), supõe-se que os fatores que influenciam a intensidade de degradação florestal modificam-se de acordo com os estágios de ocupação da fronteira agropecuária. Por esta razão, neste estudo, foi utilizada uma série longa de dados para compor a base de dados anual de degradação florestal obtida com imagens Landsat, para o período de 1984 a 2017, totalizando 34 anos. Baseado neste período, marcos históricos relativos à ocupação e aos processos socioeconômicos da região foram levantados para a definição dos períodos de análise. As duas perguntas que nortearam esse trabalho foram: Quais são os principais fatores que explicam a intensidade da degradação florestal nos diferentes períodos analisados? Como o conjunto de fatores relacionados com a degradação florestal e a sua contribuição variam ao longo do tempo? Para responder a estas perguntas foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

1. Estabelecer períodos históricos relacionados ao processo de ocupação que influenciaram a intensidade de degradação florestal na região de Novo Progresso;
2. Complementar a série histórica de dados de intensidade de degradação florestal para Novo Progresso de Pinheiro (2015) de 2011 a 2017
3. Identificar os principais fatores que influenciaram a intensidade de degradação florestal em três períodos da fronteira agropecuária da região de Novo Progresso;
4. Verificar se e como o conjunto e a contribuição relativa das variáveis que influenciaram a degradação florestal modificaram-se ao longo do tempo.

1.2 Organização da dissertação

Esta dissertação está organizada em seis capítulos. O primeiro capítulo é a introdução, nela são apresentadas a motivação para a realização do trabalho, as premissas que direcionam o delineamento das análises, os objetivos e a organização do documento. O segundo capítulo apresenta a fundamentação teórica que apoia o assunto em análise, neste capítulo são apresentados conceitos fundamentais à degradação florestal, revisão de trabalhos pretéritos relacionados a degradação florestal e ao método utilizado.

Em sequência, o terceiro capítulo apresenta a descrição da área de estudo, em que são apresentadas as características gerais da região, e seus históricos de ocupação e da atividade madeira. No capítulo 4 são apresentados os materiais utilizados, como dados e sistemas, e os métodos empregados. O capítulo 5 apresenta os resultados obtidos e suas respectivas discussões. Este capítulo está subdividido em 5 seções, a primeira seção apresenta os períodos de avanço da exploração madeireira na área de estudo. A segunda e terceira seções dos resultados apresentam a avaliação do mapeamento da degradação florestal e de estradas não-oficiais respectivamente. As duas últimas seções dos resultados dedicam-se a apresentar os modelos e fatores que influenciam a intensidade de degradação florestal, a contribuição relativa (pesos) das variáveis incluídas nos modelos, e as principais diferenças entre os fatores identificados para a região de Novo Progresso neste trabalho e os fatores identificados por Capanema (2017) para Sinop, Mato Grosso.

A dissertação é encerrada no sexto capítulo com a apresentação das conclusões, considerações finais e perspectivas futuras para trabalhos que busquem identificar e discutir fatores relacionados ao processo de degradação florestal. Também são incluídos no último capítulo as principais contribuições obtidas a partir deste estudo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A definição dos conceitos fundamentais para compreender o desenvolvimento deste trabalho é abordada nesta seção. Tendo em vista que o sensoriamento remoto orbital é a principal fonte de dados para este estudo, os conceitos baseiam-se em uma perspectiva operacional, e são apresentados a seguir.

2.1 Fronteira agropecuária na Amazônia

Nesta seção, são expostos os diversos conceitos de fronteira relacionados com Amazônia, de forma a apresentar uma noção geral sobre ele e os estágios evolutivos, sem a pretensão de esgotar o assunto. Apesar do conceito de fronteira ser discutido por diversos autores sob diferentes contextos e perspectivas como a econômica, a de limites administrativos e a demográfica, entre outras, este trabalho se concentra principalmente nos autores que discutem especificamente a fronteira de ocupação. Sob essa perspectiva, atividades econômicas associadas ao uso da terra são utilizadas para caracterizar os diferentes estágios evolutivos da fronteira Amazônica.

Para Sawyer (1983), a fronteira é vista como uma área potencial, um espaço que oferece condições à expansão de atividades relacionadas com a agropecuária. De maneira similar, para Becker (2005) a fronteira é vista como “um espaço não plenamente estruturado e, por isso, capaz de gerar realidades novas”. Dentro deste espaço ocorrem surtos de atividades, denominadas frentes, que avançam e se retraem como as frentes de agricultura comercial, frentes de agricultura de subsistência, frentes especulativas (ocupação de novas áreas) e as frentes de pecuária extensiva (e rudimentar) (MUELLER, 1992).

Dentro de uma perspectiva sociológica, Martins (1996) caracteriza e define fronteira a partir da situação de conflito social, considerando a fronteira como o lugar do contraste, do encontro dos que são diferentes entre si, como os índios e os civilizados; os grandes proprietários de terra e os camponeses. Sendo assim, o conflito torna a fronteira também um lugar do desencontro, o desencontro de temporalidades históricas, pois cada grupo se situa diversamente no tempo da história. Ao discutir o conceito e aspectos temporais da fronteira, o autor menciona a possibilidade de fazer uma datação histórica,

em que as faixas de fronteira teriam seu próprio tempo histórico e diferentes níveis de desenvolvimento econômico e modos de vida.

É importante considerar que regiões de fronteira oferecem um atrativo econômico à população a medida que oferecem importantes recursos naturais e recebem investimentos públicos e privados. Os investimentos públicos sobre as regiões fronteiriças na Amazônia buscam, não apenas o retorno financeiro oferecido pelos recursos disponíveis, mas também o desenvolvimento e aproximação da região de fronteira com as regiões economicamente mais desenvolvidas.

Considerando a temporalidade da fronteira, Diniz (2002) elaborou uma tipologia, agrupando-a em diferentes fases da ocupação na Amazônia, estabelecendo quatro fases distintas: pioneira, transitória, consolidada e urbanizada. A fase pioneira da fronteira é marcada pela preocupação em ocupar a terra e fazê-la produzir. Ainda que a imigração esteja promovendo um rápido crescimento populacional, e a disponibilidade de terra seja alta, não há um mercado de terra e trabalho, a população é predominantemente rural, com economias baseadas em extração e agricultura de subsistência. A fase em que a fronteira se encontra mais ativa e em expansão é a fase que o autor denomina de fronteira transitória, em que práticas agrícolas de subsistência convivem com a agricultura comercial, e a taxa de imigração é alta, ocorrendo intensificação do processo de ocupação. Nessa fase, as taxas de desmatamento são altas e a terra torna-se um recurso escasso. Na fase posterior, em que a fronteira está em consolidação, a economia passa a se basear em uma agricultura comercial, quando começam a se estabelecer os grandes empreendimentos agrícolas, as áreas de pastagens passam a predominar na paisagem, as taxas de desmatamento se reduzem e a densidade populacional é mais baixa, pois há um processo de emigração para outras regiões, em processo de expansão. A fase urbanizada se caracteriza pela evolução das áreas de assentamento, cujas transformações estruturais no seu entorno intensificam os movimentos rural-urbano, aumentando o tamanho e a complexidade dos núcleos urbanos, que crescem em organização e complexidade, podendo se tornar sede de novos municípios.

Nas fronteiras agropecuárias na Amazônia, o recurso madeireiro é um atrativo econômico importante e, devido ao seu alto valor comercial e abundância, tem

uma grande capacidade de atrair capital, tecnologia e população, representando um importante investimento na região. Considerando os tipos de fronteira e seus estágios, Lentini et al (2003), estabelecem 4 estágios da fronteira madeireira na Amazônia e aponta algumas regiões, considerando tipologias florestais, a idade da exploração e as condições de acesso (fluvial ou terrestre), sendo elas: 1) Antigas (mais de 30 anos): localizadas ao sul e à leste da Amazônia (Paragominas, Tailândia e Rondon do Pará (PA), Sinop e Feliz Natal (MT)), apresentam melhor acesso rodoviário (estradas asfaltadas) e cobertura florestal reduzida; 2) Intermediárias (10 a 30 anos): municípios de Cláudia e Marcelândia (MT), Porto Velho e Buritis (RO) e Rio Branco (AC); 3) Novas (menos de 10 anos): destacando-se o sudoeste do Pará (Novo Progresso e Castelo de Sonho) e o extremo noroeste de Mato Grosso (Aripuanã e Colniza), que apresentam importantes estoques de florestas, com pouca infraestrutura de acesso; 4) Estuarina: região em que a exploração madeireira ocorre de forma seletiva e esporádica desde o século XVII.

2.2 Conceitos de degradação florestal

Os diversos conceitos de degradação florestal apresentados na literatura variam de acordo com os fatores que a causam, a fitofisionomia envolvida e o objetivo do estudo (LUND, 2009; PINHEIRO, 2015). Em seu trabalho, Pinheiro (2015) apresenta uma revisão sobre as definições mais comumente utilizadas em diferentes escopos e contextos de análise. Neste trabalho, foram utilizados dados de Pinheiro (2015) e, portanto, é adotada a mesma definição de degradação florestal utilizada pela autora, que também é a definição estabelecida no programa de monitoramento da floresta Amazônica do INPE, em que a degradação florestal é definida como um processo gradual, de longo prazo, da perda da cobertura florestal por meio da extração seletiva de madeira e da ocorrência de incêndios florestais (INPE, 2008).

A mesma definição foi utilizada por Pinheiro et al. (2016), Capanema (2017) e Capanema et al. (2018) para elaborar e analisar padrões de intensidade de degradação florestal, construir trajetórias de degradação florestal e identificar os principais fatores que influenciam esse fenômeno em regiões de fronteiras agropecuárias do Mato Grosso e Pará. Apesar de serem adotados diferentes conceitos para a degradação florestal nos diversos estudos desenvolvidos na

Amazônia, não há divergência entre os autores no que diz respeito às causas da degradação florestal (ASNER et al., 2005; BARLOW; PERES, 2008; BROADBENT et al., 2008; PINHEIRO, 2015; CAPANEMA, 2017). A degradação florestal está ligada diretamente à fragmentação florestal da paisagem, à extração seletiva de madeira e ao fogo florestal. Devido à sinergia entre estes fenômenos, eles podem ser estudados separadamente ou em conjunto (LAURANCE et al., 1998; PEREIRA et al., 2002; BARLOW; PERES, 2008; MATRICARDI et al., 2010). As causas da degradação florestal serão abordadas de forma mais detalhada na seção a seguir.

2.2.1 Fatores associados ao processo de degradação florestal

Os eventos que influenciam o processo de degradação florestal podem ter origem natural ou antrópica. Os principais eventos naturais que ocasionam a degradação florestal são a saturação hídrica devido à eventos de inundação, que resulta na morte de espécies adaptadas a solos bem drenados, e o fenômeno conhecido como *blowdown* na Amazônia, provocado pelo deslocamento brusco de massas de ar que atingem a superfície do terreno ocasionando a morte de indivíduos arbóreos (NELSON et al., 1994; NELSON, 2006). Contudo, a mortalidade de árvores por eventos naturais não resulta na exposição do solo da floresta devido à permanência da vegetação danificada no local, dificultando sua detecção por plataformas orbitais. Os eventos de origem antrópica, como a exploração seletiva de madeira, o fogo e a fragmentação florestal, resultam na exposição do solo devido à abertura do dossel (GEIST; LAMBIN, 2002; PINHEIRO, 2015), como as formas geométricas de pátios e trilhas de arraste de madeira, e as formas cônicas da cicatriz de fogo florestal (PEREIRA; SETZER, 1993; SOUZA; ROBERTS; COCHRANE, 2005).

Os fatores que causam a degradação florestal também podem ser agrupados de acordo com o período de tempo entre a ocorrência do fenômeno e a degradação causada. Geist e Lambin (2002) definem os *fatores imediatos* como aqueles que causam alterações diretamente na cobertura florestal, como os fenômenos antrópicos mencionados anteriormente, enquanto os *fatores subjacentes* influenciam a ocorrência e a intensidade dos fatores imediatos, tendo origens política, econômica, institucional, tecnológica, cultural e/ou demográfica.

Contudo, ambos os fatores, imediatos e subjacentes, são sinérgicos e se relacionam.

O Quadro 2.1 apresenta os principais fatores antrópicos que causam a degradação florestal e o padrão espacial que pode ser observado nos dados obtidos por sensores a bordo de plataformas orbitais. A exploração seletiva de madeira pode atender a objetivos econômicos, quando árvores saudáveis com alto valor comercial são extraídas para comercialização da madeira, ou objetivos silviculturais, quando árvores doentes, velhas ou defeituosas são removidas da floresta para garantir a regeneração da floresta e proteção do solo e da hidrografia (JOHNS, 1985). A ocorrência de fogo florestal na Amazônia, em geral, está associada às atividades antrópicas. Em determinados casos, o fogo é atado sobre a floresta de maneira intencional para a remoção da cobertura florestal e apropriação da terra (MENDONÇA et al., 2004). O fogo também é utilizado como prática de manejo para o preparo da terra, renovação de pasto e eliminação de resíduo agrícola (NEPSTAD et al., 1999). Contudo, o produtor pode, não intencionalmente, perder o controle da frente de fogo, que passa a avançar sobre a floresta (MENDONÇA et al., 2004). A fragmentação da paisagem é o processo de ruptura da continuidade de uma paisagem a partir de sua subdivisão em áreas relativamente homogêneas (manchas), provocada por perturbações externas, em sua maioria antrópicas (FORMAN; GODRON, 1986; METZGER, 2001). No contexto deste trabalho as manchas da paisagem referem-se aos fragmentos florestais, resultado do processo de fragmentação da floresta devido ao desmatamento e fogo.

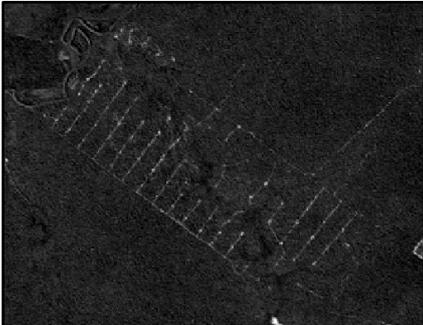
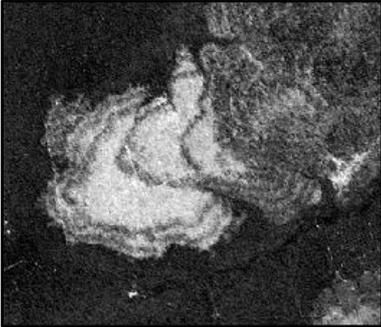
2.3 Detecção da degradação florestal por sensoriamento remoto

Neste estudo, é adotada a definição de degradação florestal que provém do sistema de monitoramento por sensoriamento remoto do INPE. O mapeamento da degradação florestal é realizado utilizando dados obtidos por sensoriamento remoto. As seções a seguir se dedicam a explicar como esta tecnologia pode ser utilizada para a detecção da degradação florestal.

A degradação florestal ocasiona alterações na estrutura física da floresta que são passíveis de detecção pelas ferramentas de sensoriamento remoto. Os

principais dados utilizados para a detecção destas alterações são as imagens provenientes de sensores a bordo de plataformas orbitais.

Quadro 2.1 – Padrão espacial dos principais fatores que causam a degradação florestal: exploração seletiva de madeira, fogo e fragmentação florestal.

Fator	Descrição	Representação espacial
Exploração seletiva de madeira	Retirada de indivíduos arbóreos previamente selecionados. Altera a composição florística e o microclima. Ocasiona abertura de clareiras no dossel florestal, devido à retirada de indivíduos, abertura de estradas, trilhas de arraste e pátios de estocagem de madeira. ¹	 <p data-bbox="898 786 1321 808">Imagem-fração solo (R3G4B5, TM, Landsat5)</p>
Fogo Florestal	Causa a morte de indivíduos arbóreos em qualquer estrato do dossel florestal. Altera a composição florística e simplifica a estrutura da vegetação. Aumenta a vulnerabilidade aos danos causados pelo vento. À medida que o fogo avança sobre a floresta, forma faixas circulares concêntricas intercaladas por faixas de vegetação. ²	 <p data-bbox="898 1193 1321 1216">Imagem-fração solo (R3G4B5, TM, Landsat5)</p>
Fragmentação florestal	Ruptura da continuidade da paisagem devido à formação de manchas (fragmentos florestais). Intensifica o efeito de borda, que é a alteração no microclima, composição e abundância de espécies na borda dos fragmentos. ³	 <p data-bbox="935 1644 1284 1664">Composição R3G4B5, TM, Landsat5</p>

¹(RAPERA, 1978; JOHNS, 1985; JOHNS; BARRETO; UHL, 1996; GERWING; VIDAL, 2002; FIORINI, 2012; PINHEIRO, 2015)

²(NEPSTAD et al., 1999; MENDONÇA et al., 2004; GRAÇA, 2006; BARLOW; PERES, 2008; VASCONCELOS et al., 2013; SILVÉRIO et al., 2019)

³(FORMAN; GODRON, 1986; FORMAN, 1995; METZGER, 2001; FAHRIG, 2003; HADLEY; BETTS, 2012)

Fonte: Produção do autor.

Os sensores de média resolução, como os da série Landsat, apresentam boa relação custo/benefício para a detecção da degradação florestal, devido às suas características de resolução espacial e temporal, bem como o grande acervo de

dados produzidos e com disponibilidade gratuita (MATRICARDI et al., 2010; PINHEIRO, 2015). Os sensores da série Landsat apresentam resolução espacial de 30 metros. Análises demonstram que, comparando o mapeamento da degradação florestal a partir de dados Landsat, com sensores de alta resolução espacial, como Sentinel-2 e RapidEye (10 e 5 metros de resolução espacial respectivamente), a área de floresta degradada mapeada com Landsat pode ser superestimada devido à sua maior resolução espacial, porém não há diferenças significativas na acurácia da detecção de floresta degradada entre estes sensores (LIMA et al., 2019; SHIMABUKURO et al., 2019).

Diversos estudos utilizam os dados Landsat para a detecção da degradação florestal por fogo e exploração seletiva em larga escala, bem como os programas de monitoramento da floresta amazônica desenvolvidos pelo INPE. Entretanto, alguns níveis de degradação florestal se tornam indetectáveis dentro de 2 a 3 anos após o distúrbio causado (MATRICARDI et al., 2010), evidenciando a necessidade da realização de mapeamentos anuais no estudo do processo de degradação florestal na Amazônia.

2.3.1 Mapeamento e monitoramento da degradação florestal na Amazônia brasileira

Os programas aqui abordados produzem as informações acerca da cobertura florestal da Amazônia utilizadas para o desenvolvimento de políticas públicas e ferramentas de fiscalização direcionadas ao combate à degradação florestal. As informações aqui apresentadas provêm de documentos publicados pelo INPE, órgão público responsável por planejar e executar o monitoramento da Floresta Amazônica (INPE, 2003, 2008).

O monitoramento da Amazônia por sensoriamento remoto foi iniciado em 1988 pelo INPE com o PRODES (Programa de Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite). Este sistema utiliza imagens provenientes do programa americano Landsat, do programa sino-brasileiro CBERS-2 e CBERS-2b, do programa indiano Resourcesat-1 e do programa inglês UK-DMC2 para o mapeamento do desmatamento, produzindo taxas anuais de área desmatada. Adotando uma área mínima de mapeamento de 6,25 hectares, o mapeamento temático era realizado de forma analógica até 1996 até

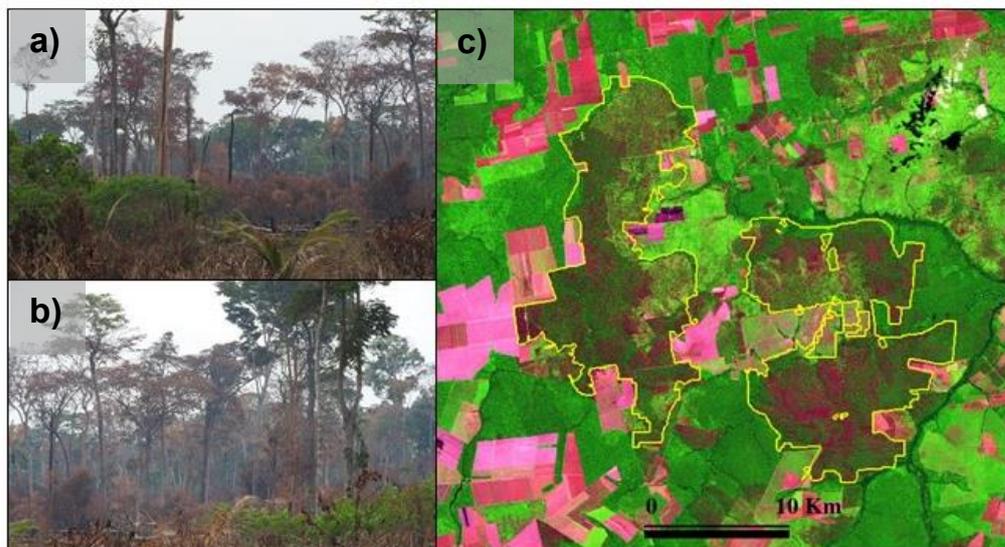
que, em 1997, passa a ser digital. Entretanto, até 2007 apenas o corte raso era mapeado.

Em 2007, o INPE desenvolveu os sistemas DEGRAD e DETEX, que utilizam dados Landsat e CBERS. O DEGRAD mapeou anualmente áreas em processo de degradação florestal, ou seja, onde a cobertura florestal não foi totalmente removida, enquanto o sistema DETEX (Sistema de Detecção de Exploração Madeireira) monitorou a extração seletiva de madeira em concessões florestais na Amazônia de 2007 a 2015. Ambos os sistemas aplicavam técnicas de realce de contraste sobre as imagens obtidas pelos sensores orbitais, para destacar as feições que evidenciam a degradação florestal por exploração seletiva de madeira, como os pátios de estocagem e trilhas de arraste, e por fogo florestal, como as cicatrizes de incêndio (Figuras 2.1 e 2.2).

A compreensão do processo de degradação florestal exige análises de longo prazo para capturar a natureza gradual do processo. Apesar da livre disponibilidade dos dados de degradação florestal pelos sistemas de monitoramento do INPE, o mapeamento pelos sistemas DETEX e DEGRAD foi iniciado em 2007 e, portanto, para a produção de dados de degradação florestal anterior a esse período, diversos autores optam por realizar a produção dos dados para serem utilizados em seus trabalhos. Adicionalmente, os programas DETEX e DEGRAD foram descontinuados e o último mapeamento foi realizado para o ano de 2015. A partir de 2015, portanto, o DETER passa a ser o único programa de monitoramento da degradação florestal para a gestão pública a partir de dados produzidos pelo INPE. Para contribuir com os métodos empregados no mapeamento da degradação florestal, pelos sistemas de monitoramento públicos, e por particulares, são desenvolvidos trabalhos que buscam aprimorar as técnicas de detecção da degradação.

Além dos sistemas de monitoramento, diversos trabalhos são desenvolvidos para aperfeiçoar os métodos de detecção e mapeamento da degradação florestal, contribuindo para a compreensão deste fenômeno. Shimabukuro et al. (2014), por exemplo, desenvolveram um método para identificar e mapear a degradação florestal discriminando a extração seletiva de madeira e fogo florestal utilizando segmentação e classificação de imagens multi-temporais. Estes autores apontam que, para o mapeamento da degradação florestal por

Figura 2.1 - Padrões espaciais de degradação florestal por fogo florestal, detectados pelo sistema DEGRAD. a) e b) áreas queimadas em 2017. c) padrão de cicatriz de incêndio florestal mapeado pelo sistema DEGRAD em 2008, composição R5G4B3, TM, Landsat.



Fonte: Adaptada de INPE (2008).

Figura 2.2 - Padrões de degradação florestal por exploração seletiva de madeira detectados pelo sistema DEGRAD. a) área que sofreu exploração madeireira em 2017; b) área que sofreu exploração madeireira em 2008. b) padrão de exploração seletiva de madeira mapeado pelo sistema DEGRAD em imagem fusionada Landsat e HRC/CBERS.



Fonte: Adaptada de INPE (2008).

fogo, é imprescindível o uso de séries temporais de dados, pois assim é possível evitar o mapeamento do fogo utilizado para a abertura de áreas, relacionado com o processo de desmatamento. Andere et al. (2015) propõem um método para o mapeamento da degradação por fogo florestal que utiliza dados temporais do sensor MODIS. A metodologia proposta pelos autores utiliza técnicas de

segmentação e classificação (combinando classificação não supervisionada e supervisionada) em dados diários MODIS que possibilitam o monitoramento diário de incêndios florestais. Morton et al. (2011) desenvolveram um algoritmo para identificar, de forma automática, cicatrizes de fogo florestal em séries temporais de imagens de satélite. Por ser automático, o algoritmo desenvolvido pelos autores pode ser utilizado para o mapeamento do fogo florestal em grandes áreas geográficas, como a floresta Amazônica, e longas séries temporais, além de possibilitar a avaliação da variabilidade sazonal e interanual do fogo florestal.

Graça et al. (2015) analisam mudanças radiométricas em imagens multitemporais de sensores ópticos para caracterizar extração seletiva de madeira na Floresta Amazônica. Os autores analisaram atributos da frequência espacial das bandas espectrais do vermelho e infravermelho próximo em pixels de transição entre floresta e área desmatada, partindo do pressuposto que as respostas radiométricas entre a floresta, que sofreu exploração seletiva, e a borda da floresta são relacionadas, e observaram que a resposta espectral da extração seletiva de madeira muda de acordo com o ângulo de elevação solar. Nas imagens obtidas em períodos de baixo ângulo de elevação solar, a copa das árvores causa o sombreamento das infraestruturas da exploração madeireira e, portanto, comprometem o mapeamento da extração seletiva de madeira.

O mapeamento da degradação florestal produz dados que podem ser utilizados, por exemplo, para avaliar o impacto do estabelecimento da infraestrutura de empreendimentos sobre a floresta. A exemplo, o trabalho de Chen et al. (2015) mapeou a degradação florestal e desmatamento na região da barragem da usina hidrelétrica de Tucuruí, no Pará, em um período de 25 anos (1988 a 2013), para avaliar a influência da barragem sobre a dinâmica destes processos ao longo do tempo. Utilizando os dados produzidos, os autores observaram que a extensão do desmatamento e da degradação florestal se mantiveram estáveis após a construção da barragem.

Miettinen et al. (2016) realizaram o mapeamento da degradação florestal por fogo nos biomas Amazônia e Cerrado do estado do Mato Grosso em 2000, 2005 e 2010 para quantificar a extensão de área queimada e avaliar sua distribuição no estado em diferentes períodos de tempo. No mapeamento de 2010, foram

quantificadas áreas queimadas de 316.600 hectares na Floresta Amazônica e 568.900 hectares no Cerrado mato-grossense, contra 71.400 e 138.000 hectares queimados nos respectivos biomas em 2005, e 148.700 e 38.300 hectares, respectivamente, em 2000, alertando para a necessidade de investigação sobre a causa dos incêndios em 2010.

Nos trabalhos de Pinheiro (2015) e Pinheiro et al. (2016), foi mapeada a ocorrência de degradação florestal em duas regiões de fronteira agropecuária na Amazônia, em Sinop (MT) e em Novo progresso (PA), para a caracterização de padrões de intensidade de degradação florestal e análise das trajetórias deste processo em série temporal de 28 anos. Com os mesmos dados, Azeredo et al. (2016) caracterizaram trajetórias de degradação florestal utilizando algoritmo de mineração de dados. Ao analisar as trajetórias das duas áreas, Pinheiro (2015) identifica que, em Novo Progresso, aproximadamente 50% da floresta degradada nessa região foi convertida em corte raso no prazo de até 3 anos, e 90% em até 8 anos. Na região de Sinop (MT), as trajetórias indicam que 50% da floresta degradada foi convertida em corte raso no prazo de 7 a 8 anos e 90% em até 14 anos. As diferenças encontradas pela autora para as duas regiões são reflexos de suas particularidades em relação ao processo de ocupação, às principais atividades econômicas e uso da terra desenvolvidos, e dos diferentes estágios de desenvolvimento da região. Outros trabalhos, analisam trajetórias de exploração seletiva de madeira como o de Asner et al. (2005), que abrangeu os estados do Acre, Rondônia, Mato Grosso e Pará. Entretanto, as trajetórias observadas pelos autores, entre 2001 e 2004, são curtas não permitindo observar o processo de forma mais completa e conclusiva.

Sato et al. (2011) utilizam grades celulares para propor uma metodologia de identificação de padrões de intensidade de exploração seletiva na Amazônia. O uso de células ou de uma grade regular possibilita englobar um conjunto de polígonos indicativos da degradação florestal. O interior da célula engloba uma área de provável dano além dos polígonos (PINHEIRO, 2015), o que torna esta abordagem interessante para a análise da degradação florestal, uma vez que para cada árvore extraída da floresta, estima-se que aproximadamente 20 outras árvores são danificadas nas operações de extração seletiva (JOHNS; BARRETO; UHL, 1996). O estabelecimento de uma unidade espacial fixa para

análises temporais, e o reconhecimento de padrões da paisagem, permite extrair dos polígonos variáveis como as métricas (ou índices) da paisagem, que podem descrever a estrutura da paisagem no interior da célula, e observar sua evolução no tempo.

Apesar das contribuições para a compreensão do processo de degradação, os trabalhos mencionados nessa seção não buscam compreender os fatores que causam a degradação em suas áreas de estudo. Nesse sentido, os padrões identificados por Pinheiro (2015), que deram origem a uma tipologia de padrões de intensidade de degradação florestal, foram utilizados por Capanema (2017) que, por meio de análise de regressão, identificou fatores que influenciaram a degradação florestal na região de Sinop (Mato Grosso). A metodologia de Capanema (2017) será replicada para Novo Progresso e é descrita na seção a seguir.

2.4 Fatores que condicionam a degradação florestal e o emprego de modelos estatísticos multivariados

A caracterização e o mapeamento do uso da terra são fases importantes para intermediar a construção de modelos com base nos reais processos (ESCADA et al., 2005). Desta forma, é necessário compreender os fatores envolvidos no processo de degradação florestal para o desenvolvimento de modelos cujos resultados nos aproxime da compreensão dos impactos da ocupação humana sobre a floresta.

Modelos de regressão permitem a modelagem de fenômenos através da adição ou remoção de variáveis, possibilitando a identificação de variáveis e fatores que mais explicam a ocorrência do fenômeno analisado (BALIEIRO, 2008). Os modelos de regressão foram utilizados por diversos autores para a análise de mudanças na cobertura da floresta amazônica. Trancoso et al (2007) utilizam modelos de regressão para avaliar o processo de distribuição dos padrões de desmatamento na Amazônia Legal, enquanto Silva e Ribeiro (2004), e Balieiro (2008) utilizam os modelos para analisar alterações na vegetação, e Caldas (2001) explica a relação entre área desmatada e variáveis sócio demográfica utilizando modelos de regressão.

Na análise de padrões de degradação florestal, Matricardi et al. (2010) utilizam modelos de regressão para a análise da degradação florestal na região de Sinop, Mato Grosso. Kury (2016) utiliza os dados do sistema DEGRAD para modelar a degradação florestal em toda a Amazônia. Nestes trabalhos, a degradação florestal foi adotada como variável dependente dos modelos de regressão, que foi relacionada a variáveis referentes à área, porcentagem e distância das áreas desmatadas, distância de áreas de exploração seletiva de madeira, área e distância de cicatrizes de incêndio florestal, distância a infraestruturas, como rodovias, centros urbanos, polos madeireiros, portos e assentamentos e a fertilidade do solo. Em ambos os trabalhos, o desmatamento demonstrou apresentar grande contribuição para o processo de degradação, além da extração seletiva de madeira e sua conectividade com o mercado nacional, representados pela distância aos polos madeireiros e eixos de transporte. Estes autores também constataram variações na importância relativa destes fatores no espaço, ocasionadas pelas diferenças políticas, econômicas, sociais e históricas na Amazônia. Entretanto, Matricardi et al. (2010) e Kury (2016) restringiram suas análises a curtos períodos de tempo (11 e 5 anos, respectivamente) e, portanto, não capturam possíveis alterações nos fatores relacionados à degradação florestal ao longo do tempo. Desta forma, estes trabalhos puderam expressar a natureza heterogênea da degradação florestal no espaço, contudo não refletem o comportamento heterogêneo deste fenômeno no tempo.

O trabalho de Capanema (2017) utiliza modelos de regressão multivariados para capturar a relação da degradação florestal com variáveis ambientais e socioeconômicas na região de Sinop, no Mato Grosso, em diferentes períodos de tempo, e a contribuição relativa destes fatores para a intensidade de degradação florestal. O autor dividiu o histórico da região de estudo em três períodos de estudo delimitados por marcos históricos que representavam diferentes estágios de avanço da fronteira agropecuária na região. Nos modelos de regressão, a intensidade de degradação florestal foi relacionada a variáveis que indicavam a ocorrência de fogo florestal, desmatamento, acesso a eixos de transporte, planos de manejo, terras indígenas, indústrias madeireiras, unidades de conservação e hidrografia. No primeiro período de análise do autor (1984 a 1994), a *distância de áreas queimadas* foi a variável de maior importância

relativa, para a intensidade de degradação florestal, refletindo um período em que o fogo era muito utilizado como técnica para a abertura de áreas e prática de manejo, associado ao controle de queimadas ainda não efetivo. O desmatamento e o acesso a estradas também tiveram importante contribuição para a degradação neste período. No segundo período de análise (1995 a 2004), a variável de maior contribuição para o modelo passa a ser a *distância de áreas desmatadas*. Além das mesmas variáveis observadas para o período anterior, a *distância aos planos de manejo florestal* passa a ser uma importante variável no período de 1995 a 2004, pois é neste período que se tem início a regulamentação e obrigatoriedade da exploração madeireira via plano de manejo florestal sustentável. No terceiro período de análise (2005 a 2015), ocorre redução da contribuição da variável *distância de áreas desmatadas*, e a maior contribuição para o modelo passa a ser da variável *distância a estradas*, que agora reflete a ampliação da malha viária e melhor estruturação da logística de transportes no momento em que a agricultura se expande na região e o estado se consolida como grande produtor de grãos. Neste período, a contribuição da variável *distância aos planos de manejo florestal* praticamente triplica em relação ao período anterior.

A dinâmica temporal dos fatores que influenciam a degradação florestal foi evidenciada pelo trabalho de Capanema (2017) para a fronteira agropecuária da região de Sinop, no Mato Grosso. Como identificado pelo autor, os fatores e suas importâncias relativas para os modelos de degradação florestal variam com o avanço da fronteira agropecuária. Neste sentido, o presente trabalho se propõe a aplicar a metodologia proposta por Capanema (2017) para capturar a dinâmica temporal dos fatores que influenciam a degradação florestal na fronteira agropecuária da região de Novo Progresso (PA), uma região com histórico de ocupação diferente de Sinop (MT).

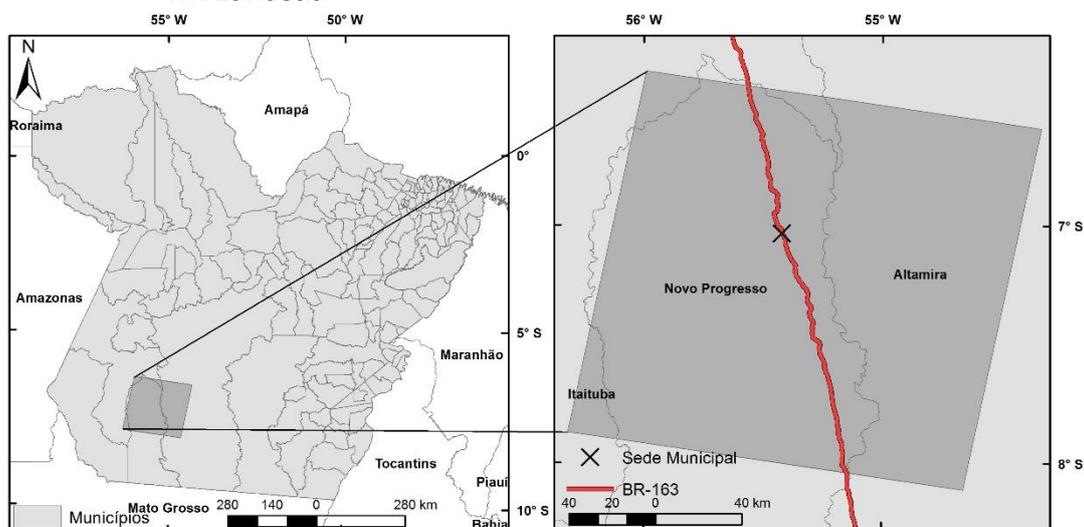
3 ÁREA DE ESTUDO

Nesta seção, é apresentada a descrição geral da área de estudo, seu histórico de ocupação e os principais marcos históricos da atividade madeireira na região. O processo histórico da ocupação humana na Amazônia, sua construção histórica e geográfica, tiveram início muito antes dos colonizadores europeus (BRASIL, 2010). O histórico de ocupação da região de Novo Progresso abordado nesta seção refere-se exclusivamente ao período mais atual, a partir da década de 80, quando os imigrantes, oriundos principalmente da região sul do Brasil, chegaram ao quilômetro 1.085, referência ao ponto da BR-163 em que os primeiros migrantes se instalaram, onde localiza-se a sede municipal de Novo Progresso. Os marcos históricos aqui apresentados foram fundamentais para a definição dos recortes temporais utilizados na modelagem estatística.

3.1 Descrição geral

A área de estudo deste trabalho é delimitada pela órbita/ponto 227/65 da grade TM/Landsat (Figura 3.1) e compreende parte do município de Novo Progresso, às margens da BR-163 no sudoeste do estado do Pará (PA). A região de estudo possui uma área de 27.278 km² dos quais 50% pertencem ao município de Novo Progresso, 42% ao município de Altamira e 8% a Itaituba.

Figura 3.1 - Área de estudo: cena que corresponde à órbita/ponto 227/65 do sensor TM/Landsat.



Fonte: Produção do autor.

A vegetação natural da região é caracterizada predominantemente pela formação Floresta Ombrófila Densa, com árvores que podem atingir até 50m de

altura e biomassa média de 281 Mg.ha⁻¹ (VIEIRA et al., 2004; BRASIL, 2010). O clima é quente e úmido, com precipitação aproximada de 1.500mm.ano⁻¹, e estações bem definidas, como a estação chuvosa, de janeiro a julho (>250mm.mês⁻¹), e a estação seca (<250mm.mês⁻¹), de agosto a dezembro (SOMBROEK, 2001).

A região de Novo Progresso é caracterizada pela presença de grandes propriedades rurais, pecuária extensiva e pelas altas taxas de desmatamento (PRINTES, 2017). A área representa um importante polo madeireiro na Amazônia (PEREIRA et al., 2010), e tem sido apontada como uma das principais áreas de expansão da fronteira agropecuária na Amazônia (BECKER, 2004; ESCADA et al., 2009; PEREIRA et al., 2010) e, portanto, onde se deve concentrar políticas governamentais de prevenção e combate ao desmatamento e à degradação florestal, seja pela queimada ou pela extração seletiva de madeira.

3.2 Histórico de ocupação

Até meados da década de 1950 a ocupação humana da região de Novo Progresso era, predominantemente, de populações indígenas que habitavam as margens do Rio Jamanxim (IBGE, 2017). Durante este período, inicia-se na região, a atividade garimpeira, baseando-se na extração manual, em depósitos de ouro aluvial (CARMO, 2012). A atividade garimpeira transformou o sudoeste do Pará em um grande centro de mineração, o que promoveu uma forte atração populacional para esta região (BEZERRA; VERISSIMO; UHL, 1996).

Impulsionado pelos projetos de colonização e pela abertura da BR-163, observa-se na década de 70 e 80 um fenômeno associado à colonização espontânea na região, que até então recebia o nome de Progresso (IPAM, 2006), caracterizado pela ocupação ilegal de terras por pequenos produtores agrícolas, que praticavam a agricultura de subsistência, ou garimpo. O intenso fluxo migratório para o povoado Progresso na década de 80 culminou em sua elevação à categoria de município pela Lei Estadual nº 5.700, de 13 de dezembro de 1991. Com o território desmembrado de Itaituba, o município passa a ser denominado Novo Progresso (OLIVEIRA, 2011).

Apesar da abertura da BR-163 na década de 70, o estado precário da rodovia na região era um dos obstáculos para o desenvolvimento e melhoria da qualidade de vida da população, até que, no final da década de 90 a perspectiva de pavimentação da rodovia volta a fazer parte dos planos governamentais. O Programa Avança Brasil, lançado pelo governo federal em 1999, tinha como objetivo, a partir da melhoria da infraestrutura de transporte, energia e comunicações, reduzir os desequilíbrios regionais e a desigualdade social, proporcionando o aumento da competitividade do setor produtivo e a melhora da qualidade de vida da população (CARDOSO, 2008). Entre os empreendimentos previstos no projeto constava a pavimentação da BR-163, no trecho do estado do Pará, que tinha como principal objetivo facilitar o transporte de produtos até os portos de exportação de Manaus e Belém. Com a perspectiva de asfaltamento da BR-163, a população de Novo Progresso passa de 6.137 habitantes em 1991 para 24.948 em 2000 (IBGE, 2017), diversas madeireiras se instalaram na região e o mercado de terras se aqueceu (ESCADA et al., 2009).

Em 2005, é iniciada uma série de intervenções federais para impedir a exploração predatória dos recursos naturais e iniciar um processo de ordenamento fundiário na região. Essas intervenções envolvem o estabelecimento da Área de Limitação Administrativa Provisória (ALAP)² em 2005, o Distrito Florestal Sustentável da BR-163³ em 2006 e a criação, no mesmo ano, de um mosaico de unidades de conservação, entre elas a Área de Proteção Ambiental (APA) do Tapajós e a Floresta Nacional do Jamanxim. Em paralelo às restrições impostas pelas intervenções federais à exploração dos recursos naturais, ocorreu a redução da população, passando de 24.948 habitantes em 2000 para 21.598 em 2007 (IBGE, 2017).

Segundo os dados do IBGE (2010), o município de Novo Progresso, em 2010, era composto por 13.544 indivíduos (53,91% do total da população) cuja naturalidade não era o estado do Pará. O maior percentual de imigrantes no município apresentou sua localidade de nascimento o estado do Paraná (12,22%

² Limitação provisória do exercício de atividades e empreendimentos causadores de degradação ambiental e corte raso (BRASIL, 2005).

³ Complexo geoeconômico e social estabelecido com a finalidade de priorizar a implementação de políticas públicas que estimulem o desenvolvimento integrado com atividades de base florestal (BRASIL, 2006).

do total da população), seguido dos estados de Mato Grosso (11,44%) e Maranhão (9,09%). Ainda segundo o IBGE (2010), uma outra forma de identificar os imigrantes foi considerar as pessoas de cinco anos ou mais de idade, natural ou não natural do município de residência atual, que residiam em outros estados cinco anos antes da data de referência do Censo Demográfico 2010. Este dado permitiu verificar que 2.140 pessoas (8,52% do total da população) residiam em outros estados cinco anos antes da data de referência do Censo Demográfico 2010. Deste total, 48,27% (1,033 indivíduos) dos migrantes do município de Novo Progresso residiam no estado do Mato Grosso.

3.3 A atividade madeireira na região de Novo Progresso: marcos históricos

Embora seja elevada a riqueza produzida pela mineração artesanal, parte do capital gerado por essa atividade nas décadas de 70 e 80, na região de Novo Progresso, foi enviada para as regiões de origem dos garimpeiros, ou utilizada para financiar o desmatamento com a finalidade de conversão da floresta em pastos ou áreas agrícolas (BEZERRA; VERISSIMO; UHL, 1996) para que terras públicas fossem inadequadamente apropriadas, ocasionando um processo de ocupação espontânea na região.

Durante a década de 80, e início da década de 90, a exploração madeireira em Novo Progresso era altamente seletiva, pois o elevado custo de transporte na BR-163, ainda não asfaltada, limitava a extração de um grande número de espécies. Apenas as espécies de alto valor eram viáveis na comercialização (PINHEIRO, 2015). Durante este período, apesar de haver serrarias estabelecidas na região, a indústria de base madeireira não estava presente, a madeira era vendida para outras regiões e parte dela era utilizada para o desenvolvimento da infraestrutura local (ORAVEC, 1998).

À medida que a região norte do estado de Mato Grosso vivenciou o forte crescimento da produção de soja na década de 90, a BR-163 que liga Cuiabá a Santarém, passando por Novo Progresso, passa a figurar nos planos governamentais de desenvolvimento nacional (Plano Avanço Brasil, descrito na Seção 3.2) como uma alternativa de escoamento da produção (NEPSTAD et al., 1999). Diante disso, a perspectiva de um possível asfaltamento da BR-163 no

final da década de 90 intensifica o processo de ocupação nas margens da rodovia no município de Novo Progresso. Nesse período, ocorre o aumento da exploração predatória de madeira, muitas vezes em terras públicas apropriadas, irregularmente (VERÍSSIMO; LIMA; LENTINI, 2002). Não obstante, o elevado valor comercial da madeira no final da década de 90 também levou a um aumento na exploração desse recurso (VERÍSSIMO; LIMA; LENTINI, 2002). Um indicativo disso, é o aumento no número de indústrias madeireiras na região, que passa de 10 serrarias em 1997 para 60 em 2000 (CARVALHO et al., 2002). Também neste período, ocorre um aumento de área degradada na região. A somatória das áreas degradadas de 1984 a 1997 saltou de 557 km² para 4.084km² de 1998 a 2004 (PINHEIRO, 2015).

Em 2004, é registrada a segunda maior taxa de desmatamento da Amazônia, com 27.772 km² de área desmatada, tendo os estados do Mato Grosso e Pará, como o primeiro e o segundo maiores desmatadores, respectivamente (INPE, 2004). Também em 2004, é registrada a maior taxa de desmatamento da história do estado do Pará, 8.870km², e de Novo Progresso, 739,5km², o que posicionou o município como segundo maior desmatador do estado do Pará, e o terceiro da Amazônia em 2004 (INPE, 2017). Durante este período é observado um salto no número de indústrias madeireiras em Novo Progresso, que passa de 10 indústrias em 1997 para 83 indústrias em 2004 (CARVALHO et al., 2002; LENTINI et al., 2005; ESCADA et al., 2009).

Na tentativa de conter o aumento do desmatamento, a partir de 2004 é estabelecido, por parte do governo federal, um conjunto de ações para ampliar a fiscalização e garantir o cumprimento da legislação ambiental (Tabela 3.1), entre elas, a criação de um mosaico de Unidades de Conservação em 2006, como mencionado anteriormente. Como resultado das iniciativas do governo federal, o número de indústrias madeireiras em Novo Progresso, que era de 83 em 2004, caiu para 43 em 2009 (PEREIRA et al., 2010). No período de 2005 a 2011, houve uma redução no total de área de floresta degradada em relação ao período de 1998 a 2004, que passou a somar 1.515km² (PINHEIRO, 2015).

Em 2007, a pavimentação de trechos da BR-163 no estado do Pará, passa a fazer parte do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC) do governo

federal, estimulando empresas como Bunge e Cargill a construírem terminais portuários e armazéns em Miritituba, onde se situa o Porto de Itaituba, passando a oferecer menores custos de transporte pela hidrovia Tapajós-Amazonas (LACERDA, 2015).

Tabela 3.1 – Medidas tomadas pelo governo federal para frear a elevada taxa de desmatamento da Amazônia Legal em 2004.

Instrumento	Ação	Ano	Instrumento legal	Abrangência
Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm)	Série de ações para monitoramento, controle e fiscalização do desmatamento, como a criação do DETER.	2004	-	Amazônia Legal
Área de Limitação Administrativa Provisória (ALAP)	Limitação provisória do exercício de atividades e empreendimentos causadores de degradação ambiental e corte raso.	2005	Decreto Presidencial s/n de 18 de fevereiro de 2005.	Novo Progresso, Trairão, Altamira, Itaituba e Jacareacanga (5.709.022 ha)
Área de Proteção Ambiental (APA) do Tapajós	Criação da APA para assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais e disciplinar o processo de ocupação da região.	2006	Decreto Presidencial s/n de 13 de fevereiro de 2006.	Novo Progresso, Trairão, Itaituba e Jacareacanga (2.059.496 ha)
Floresta Nacional (FLONA) do Jamanxim (1.301.120ha)	Cria a FLONA do Jamanxim para promover o manejo de uso múltiplo sustentável dos recursos florestais, manutenção e proteção dos recursos hídricos e da biodiversidade.	2006	Decreto Presidencial s/n 13 de fevereiro de 2006.	Novo Progresso (1.301.120 ha)
Distrito Florestal Sustentável (DFS) da BR-163	Cria o DFS da BR-163 para estimular a produção florestal sustentável.	2006	Decreto Presidencial s/n 13 de fevereiro de 2006.	Municípios ao longo da BR-163 de Santarém a Altamira (19.022.363 ha)

Fonte: Produção do autor.

Apesar da redução do desmatamento, em 2014, Novo Progresso encontrava-se na 7ª posição entre os municípios líderes em desmatamento por corte raso da Amazônia Legal, com 114,5km² desmatados (INPE, 2019a). Apesar de ser considerada como região prioritária de ações de fiscalização e prevenção ao desmatamento e de ter uma base permanente do IBAMA (Instituto Brasileiro de

Meio Ambiente) desde 2007, a dificuldade na aplicação das penas previstas na legislação, devido à dificuldade em se detectar o responsável pela infração ambiental, reduz a efetividade das medidas de controle do desmatamento. Em 2017, a taxa de desmatamento no município diminuiu, acompanhando a tendência geral de redução, apresentando cerca de 55,6km² de áreas desmatadas (INPE, 2019a).

Um dos grandes problemas associados ao desmatamento é o conflito por terras. Novo Progresso é um município onde historicamente ocorrem esses conflitos. Um exemplo é o caso que envolve a FLONA Jamanxim. A FLONA foi criada em 2006, porém, antes da sua criação já havia uma ocupação nessa área, o que tem gerado inúmeros conflitos e pedidos de regularização das terras protocolados no INCRA. Apesar das pressões, ainda não há terras registradas dentro dos limites da FLONA. Frente a falta de perspectiva de regularização das terras, os posseiros desta região continuam explorando a floresta, desmatando e grilando as terras públicas (PRINTES, 2017).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta seção são apresentados os materiais (seção 4.1) e os procedimentos metodológicos (seção 4.2) utilizados neste trabalho. Os materiais e os procedimentos metodológicos foram organizados e são apresentados em três etapas. A primeira etapa refere-se às expedições de campo realizadas na área de estudo, a segunda etapa se refere ao mapeamento da degradação florestal e de estradas, e a última etapa trata dos procedimentos estatísticos para a modelagem da degradação florestal com dados socioeconômicos, ambientais e de infraestrutura. Seguindo essa lógica, na seção 4.1.1 é apresentado o conjunto de dados provenientes de sensores orbitais utilizados no mapeamento da degradação florestal e estradas, enquanto na seção 4.1.2 é apresentado o conjunto de dados cartográficos, de uso e cobertura da terra que foram utilizados na etapa de modelagem estatística da intensidade de degradação florestal. Em seguida, os procedimentos metodológicos são apresentados nas seções 4.2.1 e 4.2.2.

4.1 Materiais

4.1.1 Imagens TM e OLI/Landsat, e LISS III/Resourcesat1

Foram utilizadas imagens obtidas por sensores orbitais para o mapeamento anual da degradação florestal dos anos de 2012 a 2017. O produto do mapeamento foi integrado à série histórica anual de 1984 a 2011, produzida por Pinheiro (2015), totalizando 34 anos (1984 a 2017). As imagens também foram utilizadas para a geração de dados de estradas para os anos 1994, 2004 e 2017, utilizados na modelagem estatística. Estes dados foram gerados tendo como base os dados de estradas não oficiais da Amazônia produzido pelo Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON) para o ano 2012 seguindo a metodologia de Brandão e Souza (2006).

Os dados de degradação florestal de 1984 a 2011 de Pinheiro (2015) foram produzidos a partir de imagens do sensor *Thematic Mapper* (TM) Landsat 5 enquanto os dados de degradação florestal produzidos neste trabalho foram produzidos com imagens da série Landsat, neste caso, do sensor *Operational Land Imager* (OLI), Landsat 8. Devido à descontinuidade dos dados Landsat no

ano 2012, foram utilizados dados do sensor *Linear Imaging Self-Scanner III* (LISS III), Resourcesat 1.

Os dados de estradas produzidos pelo Imazon para a Amazônia Legal, e utilizados neste trabalho, baseou-se no uso de mosaicos de imagens Landsat TM e ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*). No presente trabalho, parte dos dados de estradas foram gerados com imagens TM/Landsat 5 para o mapeamento dos anos de 1994 e 2004, e OLI/Landsat 8, para as estradas de 2017.

As imagens utilizadas foram obtidas nos meses de junho a setembro, relativos à estação seca na área de estudo. As imagens foram adquiridas no catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e do Serviço Geológico Norte-Americano (USGS) e estão listadas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Imagens LISS III/ResourceSat1 e OLI/Landsat da órbita/ponto 227/65 utilizadas para o mapeamento da degradação florestal em Novo Progresso, Pará (PA).

Sensor	Código da cena	Data
TM	LT52270651994216CUB00	04/08/1994
	LT52270652004196CUB00	14/07/2004
LISS III ¹	P6LIS332008220120806	06/08/2012
	P6LIS332008120120806	06/08/2012
	P6LIS331908120120801	01/08/2012
	P6LIS331908220120801	01/08/2012
OLI	LC82270652013236LGN01	24/08/2013
	LC82270652014255LGN01	12/09/2014
	LC82270652015226LGN01	14/08/2015
	LC82270652016197LGN01	15/07/2016
	LC82270652017215LGN00	03/08/2017

Fonte: Produção do autor.

¹ São necessárias quatro imagens LISS III para abranger a extensão territorial coberta por uma cena Landsat.

4.1.2 Dados espaciais

Os dados utilizados para a obtenção das variáveis envolvidas na modelagem estatística são apresentados na Tabela 4.2, bem como a forma de representação do dado, o ano e a fonte. O conjunto de dados foi utilizado para a geração de variáveis que representam fatores ambientais, sócio-econômicos, de infraestrutura e acesso, provenientes de diferentes fontes.

Tabela 4.2 - Descrição dos dados utilizados para a obtenção das variáveis da modelagem estatística. Os fatores representados pelos dados podem ser “A” para fatores ambientais, “PP” para políticas públicas e “Ac” para acesso.

Dado	Fator	Formato	Ano/Período	Fonte
Focos de calor (NOAA e AQUA)	A	Vetor (ponto)	1992-2017	Projeto Queimadas (2019)
Desmatamento	A	Vetor (polígono)	1984-2017	PRODES e Pinheiro (2015)
Malha viária	Ac	Vetor (linha)	1994; 2004; 2017	Imazon (2012) e classificação de imagens
Degradação florestal	A	Vetor (polígono)	1984-2017	Pinheiro (2015) e Classificação de imagens
Planos de manejo	PP	Vetor (polígono)	1984-2017	SEMAS-PA
Terra indígena	PP	Vetor (polígono)	2010	FUNAI
Hidrografia	Ac	Vetor (linha)	2010	Banon e Novo (2018)
Unidades de conservação	PP	Vetor (polígono)	2010	ICMBio
Uso da terra	A	Vetor (polígono)	2004 e 2014	TerraClass
Assentamentos rurais	PP	Vetor (polígono)	2018	INCRA
Sede municipal	Ac	Vetor (ponto)	2017	IBGE
Núcleos populacionais	Ac	Vetor (ponto)	2011	Amaral et al. (2012)

Fonte: Produção do autor.

4.2 Procedimentos metodológicos

Os procedimentos metodológicos utilizados no presente trabalho basearam-se nos procedimentos desenvolvidos por Pinheiro et al. (2016) e Capanema (2017) e compreenderam duas principais etapas: (1) mapeamento da degradação florestal de 2012 a 2017, utilizando a metodologia desenvolvida por Pinheiro (2015), para garantir a comparabilidade entre os dados; e (2) a modelagem da intensidade de degradação florestal por meio de análise de regressão multivariada, de acordo com metodologia proposta por Capanema (2017). Estas duas etapas metodológicas tiveram como subsídio os conhecimentos e dados levantados nas expedições de campo realizadas em 2017 e 2018 à área de estudo. Desta forma, o primeiro procedimento metodológico a serem apresentados explicará as visitas a campo. Adicionalmente, foi realizado o mapeamento de estradas na área de estudo nos períodos estabelecidos para a análise de regressão, tendo como referência os dados de estradas gerados pelo Imazon para o ano 2012.

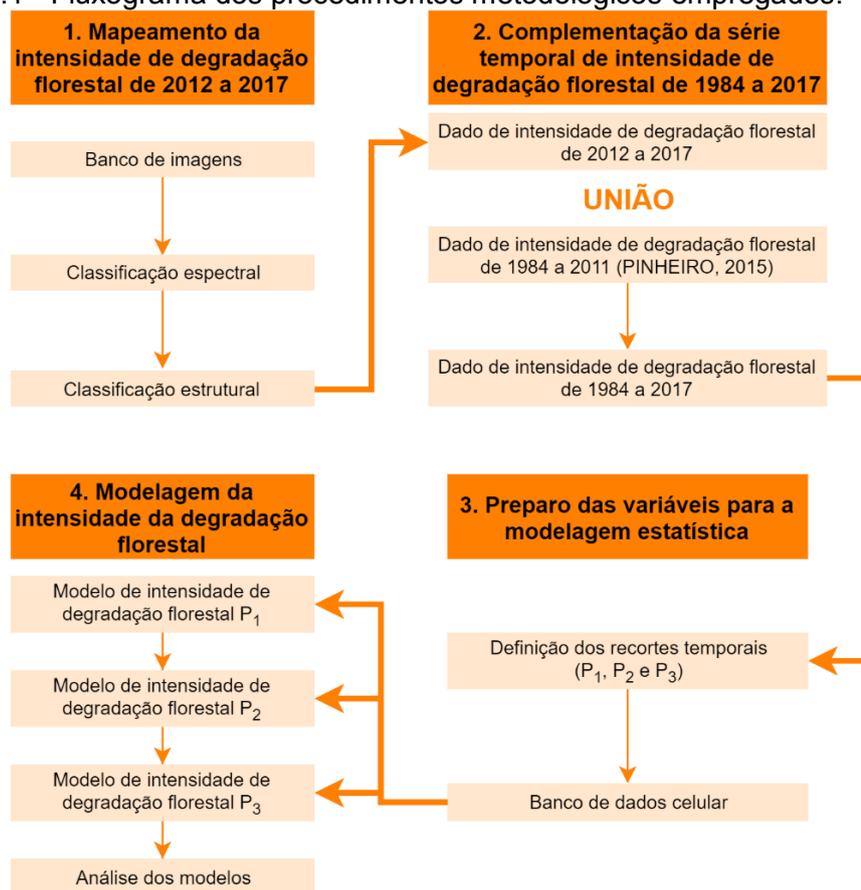
Modelos de regressão estatística relacionando a intensidade de degradação florestal com diferentes fatores foram desenvolvidos para três diferentes recortes temporais possibilitando, compará-los entre si. A definição dos recortes temporais (seção 5.1) foi realizada baseada em pesquisa bibliográfica e em marcos históricos relativos ao processo de ocupação da região como apresentado na Seção 3.3.

Após a complementação da série histórica de intensidade de degradação florestal e a definição dos recortes temporais para o estudo, três modelos de regressão foram construídos para a obtenção dos principais fatores explicativos em relação à intensidade de degradação florestal nos três períodos de análise. Os procedimentos metodológicos deste trabalho podem ser organizados em quatro etapas:

- A. Processamento digital de imagens para obtenção dos mapas anuais de intensidade de degradação florestal para os anos de 2012, 2013, 2014, 2015, 2016 e 2017;
- B. Compatibilização e união dos dados obtidos no processamento digital de imagens com os dados de Pinheiro (2015) de 1984 a 2011, para obtenção da série histórica 1984-2017;
- C. Definição dos períodos de estudo baseado nas dinâmicas e no histórico de ocupação da região e obtenção das variáveis dependente e independentes de cada período estabelecido;
- D. Modelagem, análise e comparação dos fatores que influenciaram a intensidade de degradação florestal em cada período de estudo utilizando análise de regressão linear.

Para dar uma visão geral dos procedimentos empregados, as principais etapas da metodologia são representadas na Figura 4.1 e são detalhadas nas seções a seguir.

Figura 4.1 - Fluxograma dos procedimentos metodológicos empregados.



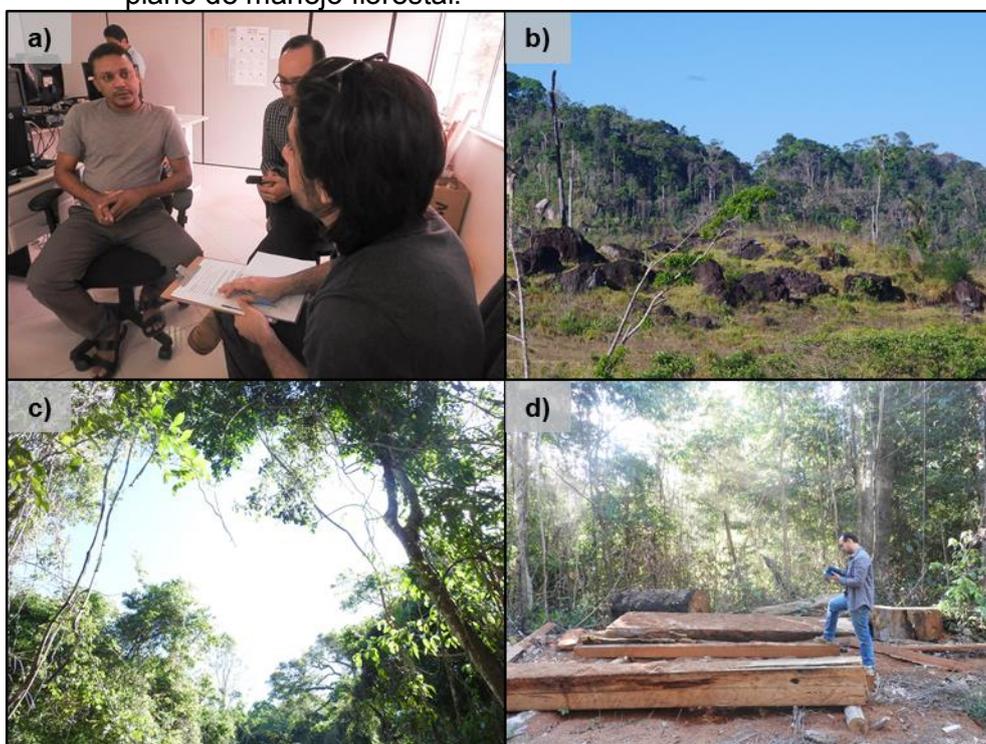
Fonte: Adaptado de Capanema (2017).

4.2.1 Expedições de campo

Foram realizadas expedições a campo na região de Novo Progresso para reconhecimento da área de estudo, verificação de pontos de dúvida e coleta de dados (Figura 4.2). Foram realizadas duas expedições, a primeira delas no mês de setembro de 2017 e a segunda no mês de julho de 2018. Parte da coleta de dados se deu através de entrevistas com informantes-chave a respeito da exploração florestal e o uso da terra na região de Novo Progresso. Foram entrevistados produtores locais e representantes de instituições. As instituições que foram incluídas nas entrevistas foram: EMATER (Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural), ICMBio (Instituto Chico Mendes de Biodiversidade), Secretaria de Agricultura, Secretaria de Meio Ambiente, Sindicato de Produtores Rurais. Adicionalmente, foi realizada entrevista com representantes do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), cuja sede está no município de Santarém. As entrevistas foram conduzidas a partir de roteiros que direcionavam as perguntas e assuntos abordados, registradas com gravador de

áudio e fotografias. Os roteiros utilizados nas entrevistas são apresentados nos Apêndices B, C, D e E.

Figura 4.2 – Ilustra as diversas formas de dados que foram coletados em campo. a) Entrevista com informantes-chave. b) Coleta de pontos de afloramento rochoso. c) Coleta de pontos de degradação florestal: abertura de clareira devido a extração madeireira e; d) Coleta de pontos de degradação florestal: local utilizado para o processamento de madeira extraída sem plano de manejo florestal.



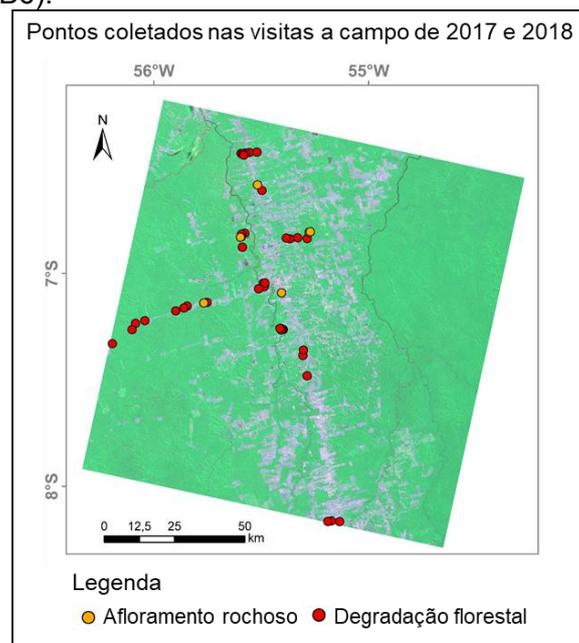
Fonte: Produção do autor.

Foram coletados pontos de ocorrência de degradação florestal e afloramento rochoso com GPS Garmin MAP e coletadas fotografias com câmera digital com GPS. Os pontos de degradação florestal a serem visitados em campo foram definidos a partir dos polígonos mapeados como degradação florestal na classificação de imagens realizado neste trabalho (Seção 4.2.2). Foram coletados 44 pontos que representavam feições de degradação florestal, sendo elas cicatrizes de queimadas, pátios de estocagem de madeira, estradas primárias e secundárias (de acesso a áreas de exploração florestal) e clareiras abertas pelo corte de árvores.

A classe *não floresta* do PRODES inclui regiões de afloramento rochoso que formam manchas de solo exposto em formato circular nas imagens de satélite. As manchas formadas pelos afloramentos rochosos podem ser confundidas com

feições de exploração madeireira por representarem aberturas em meio à floresta. Desta forma, os polígonos de *não-floresta* foram utilizados como máscara para evitar que essas áreas fossem classificadas como degradação florestal nas imagens. Foram coletados 5 pontos de afloramento rochoso em campo, que posteriormente foram utilizados para complementar a classe *não floresta* do PRODES. Os pontos coletados em campo estão ilustrados na Figura 4.3.

Figura 4.3 – Mapa dos pontos de degradação florestal e afloramento rochoso coletados na região de Novo Progresso em 2017 e 2018 (Imagem Landsat OLI R4G5B6).



Fonte: Produção do autor.

4.2.2 Complementação da série histórica de degradação florestal (2012 a 2017)

A série histórica de padrões de degradação florestal de Pinheiro (2015) para a região de Novo Progresso (PA) inicia-se no ano de 1984 e se estende até 2011. Para a atualização destes dados, foi aplicada a mesma metodologia desenvolvida por Pinheiro (2015) para a cena 227/65, para os anos 2012 a 2017, resultando em uma série de padrões de intensidade de degradação florestal de 34 anos (1984 a 2017). Os procedimentos são descritos nas seções a seguir.

4.2.2.1 Pré-processamento dos dados

Devido à natureza multitemporal deste trabalho, foi realizado o pré-processamento das imagens para evitar distorções geométricas e radiométricas entre as imagens. No pré-processamento, as imagens foram compatibilizadas e convertidas para a projeção WGS 84/UTM zona 21S (EPSG: 32721), e também foi aplicada uma normalização dos níveis de cinza das imagens para minimizar as variações de amplitude radiométrica entre as imagens LISS III causadas, principalmente, pela interferência atmosférica.

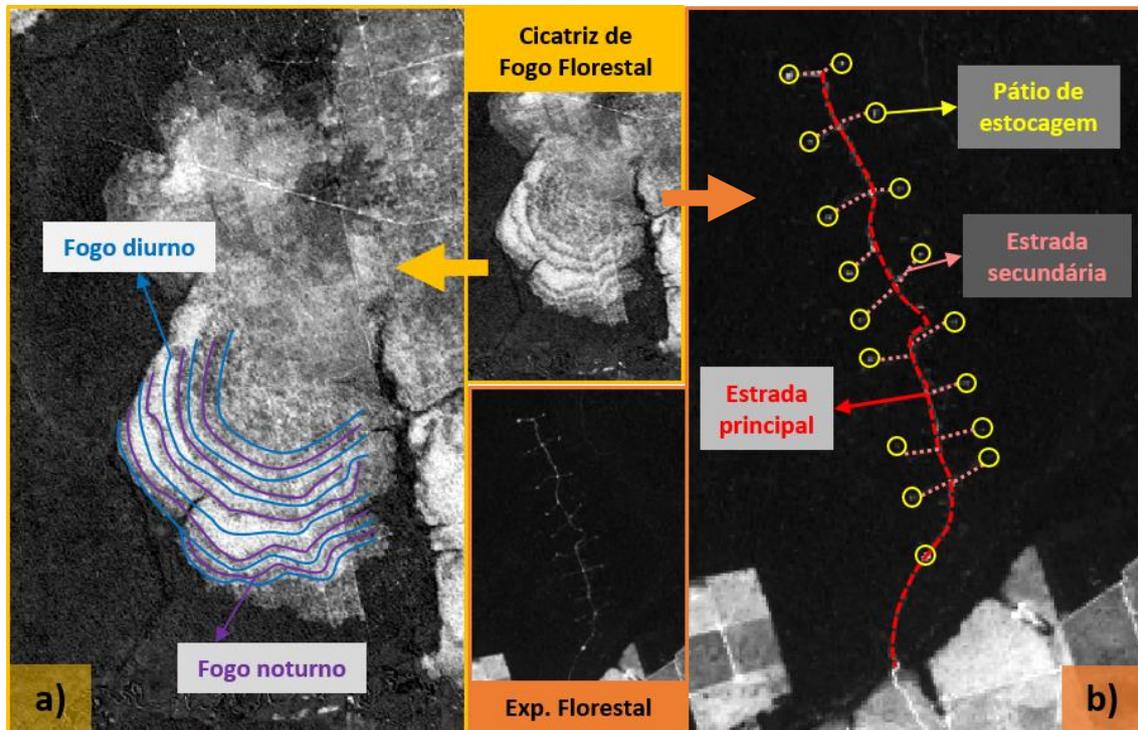
A normalização dos níveis de cinza das imagens LISS III foi realizada com o método *Dark Object Subtraction* (DOS). Este método utiliza dados da própria imagem e considera o espalhamento atmosférico para a correção, além de utilizar o histograma dos números digitais de uma banda para identificar o menor nível digital que expresse a resposta espectral do alvo, geralmente a banda composta pelos menores comprimentos de onda, que são os que sofrem as maiores interferências atmosféricas (CHAVEZ, 1988).

4.2.2.2 Classificação espectral

Com as imagens pré-processadas foram realizadas as etapas de classificação espectral e estrutural utilizando a metodologia e a tipologia propostas por Pinheiro (2015). Para o mapeamento da floresta degradada, foram utilizados elementos da paisagem característicos de degradação florestal como as cicatrizes de fogo florestal, pátios de estocagem de madeira e estradas. As cicatrizes de fogo florestal foram identificadas pelo padrão espacial de círculos concêntricos, ou anéis, causados pela variação diária na intensidade da linha de fogo (RAPPAPORT et al., 2018). Durante o momento do dia em que a temperatura é mais alta (geralmente durante o dia) a linha de fogo do incêndio florestal se torna mais intensa, causando a mortalidade da vegetação e, conseqüentemente, expondo o solo. Nos momentos em que a temperatura é mais baixa (geralmente durante a noite) a linha de fogo se torna menos intensa e, portanto, nem todos os indivíduos da vegetação são mortos e o solo não fica completamente exposto. Este processo causa as cicatrizes de incêndio florestais na forma de anéis concêntricos, conforme ilustrado na Figura 4.4. A exploração

madeira é identificada pela distribuição espacial dos pátios de estocagem de madeira que frequentemente estão ligados a uma estrada principal através de estradas secundárias.

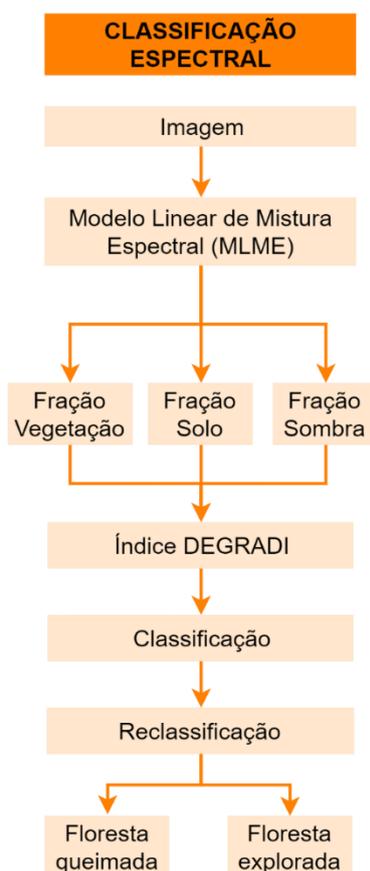
Figura 4.4 - Ilustração dos padrões espaciais da cicatriz de fogo florestal e da exploração florestal em imagens TM e OLI/Landsat. a) padrão de cicatriz de fogo florestal observado na banda 4 do TM. b) padrão de exploração florestal observado na banda 4 do OLI.



Fonte: Produção do autor.

Inicialmente as bandas originais do sensor TM/Landsat foram decompostas em imagens-fração solo, vegetação e água/sombra com o Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME). A decomposição das bandas pelo MLME estima a proporção dos componentes solo, vegetação e água/sombra em cada pixel baseado nas assinaturas espectrais de pixels puros de cada classe (SHIMABUKURO; SMITH, 1991). Em seguida, as imagens foram classificadas, utilizando técnicas de fatiamento, conforme pode ser visto na Figura 4.5.

Figura 4.5 - Fluxograma da metodologia para classificação espectral da classe de cobertura *floresta degradada*.



Fonte: Produção do autor.

Os pixels puros foram obtidos diretamente das bandas da imagem, e as respectivas assinaturas espectrais foram comparadas às curvas de reflectância espectral típica dos componentes solo, vegetação e água/sombra. Foram coletadas amostras de pixels nas imagens representativas de solo, vegetação, e da água/sombra (geralmente coletados em corpos d'água sem sedimentos). Para este processo foram utilizadas imagens obtidas no intervalo espectral do vermelho ($\lambda \approx 630 - 690$ nm), infravermelho próximo ($\lambda \approx 760 - 900$ nm) e infravermelho médio ($\lambda \approx 1,550 - 1,750$ nm), obtidas em cada ano, de 2012 a 2017.

Para realçar os fatores envolvidos na degradação florestal (fogo florestal e extração seletiva de madeira) foi gerada uma imagem com o índice de degradação florestal, o DEGRADI (INPE, 2008), que é espectralmente sensível à degradação florestal.

O índice DEGRADI foi utilizado pelo sistema DEGRAD do INPE, que monitora a degradação florestal na Amazônia. Esse índice é resultado de uma operação de contraste entre as frações solo e sombra, destacando e facilitando a detecção das principais feições criadas pela extração seletiva de madeira e pelo fogo florestal:

$$DEGRADI = G*(IS/IV)+Off \quad (4.1)$$

onde G é o ganho (um fator multiplicativo geralmente utilizado para realçar diferenças espectrais em imagens); IS é a imagem-fração solo; IV é a imagem-fração vegetação e; Off é o *offset* (fator aditivo geralmente empregado para compensar os efeitos do ganho). O ganho e *offset* foram aplicados de maneira empírica para cada imagem.

As imagens índice DEGRADI foram classificadas por meio de fatiamento, aplicando limiares definidos empiricamente para as imagens de cada ano, resultando no mapeamento temático da classe “floresta degradada”.

Essa classe abrange alvos como floresta queimada e floresta explorada, que precisam ser discriminados para a definição dos padrões de alta intensidade de degradação causados por fogo e por exploração seletiva de madeira, respectivamente. Esta diferenciação foi realizada a partir de métodos de interpretação visual de imagens, tendo como referência os padrões espaciais de cicatriz de fogo florestal e exploração florestal apresentados na figura 4.4.

4.2.2.3 Classificação estrutural de padrões de intensidade de degradação florestal

Após o mapeamento da floresta degradada, a classificação estrutural dos polígonos de degradação florestal no plano celular estabeleceu, para cada célula da área de estudo, um padrão de intensidade de degradação florestal, definidos na tipologia criada por Pinheiro (2015), para a cena 227/65, e apresentada na Figura 4.6.

Figura 4.6 - Tipologia de padrões de degradação florestal proposta por Pinheiro (2015) para a órbita/ponto 227/065 do Landsat.

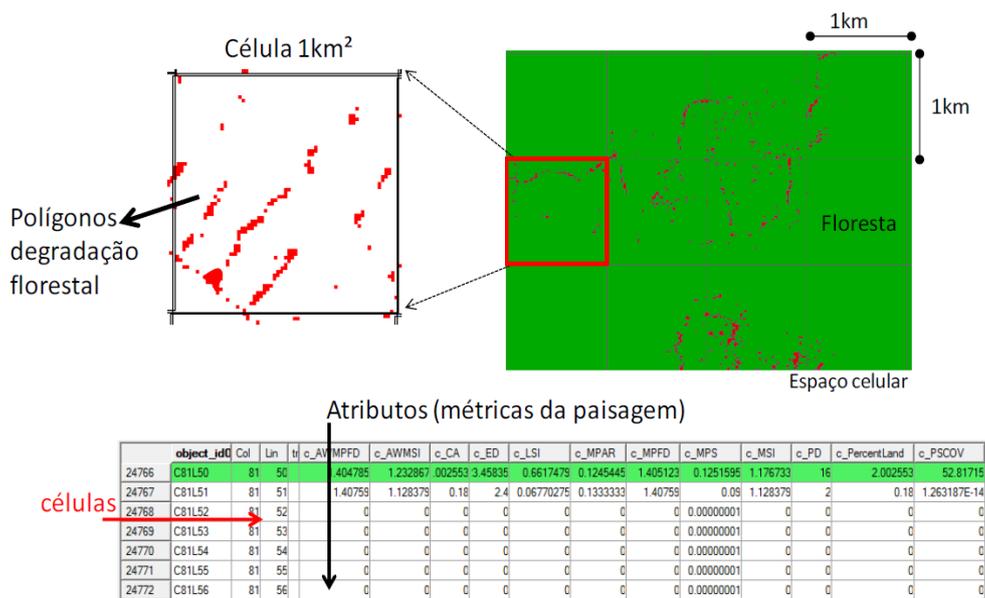
Padrão espacial	Classe de intensidade de degradação florestal	Índice de degradação florestal
	LFD1 – Degradação florestal por extração de madeira de baixa intensidade.	0,2
	LFD2 – Degradação florestal por extração de madeira de baixa intensidade: extração convencional. Pode estar associada ao fogo florestal.	0,3
	MFD1 – Degradação florestal por extração de madeira de intensidade moderada.	0,4
	MFD3 – Degradação florestal por extração de madeira de intensidade moderada. Representa o início das operações madeireiras.	0,5
	MFD2 – Degradação florestal por extração de madeira de intensidade moderada: extração convencional. Fogo florestal pode estar associado.	0,6
	HFD1 – Degradação florestal por extração de madeira de intensidade alta.	0,7
	HFD2 – Degradação florestal por extração de madeira de alta intensidade. Pode estar associada ao fogo florestal.	0,9

Fonte: Pinheiro (2015).

A tipologia de intensidade de degradação florestal baseia-se em células de dimensão de 1x1 km. A dimensão das células foi definida empiricamente, considerando parâmetros como área mínima dos pátios de estocagem e distância mínima entre eles, tendo como referência resultados obtidos em outros estudos (SATO et al., 2011; PINHEIRO e ESCADA, 2013). Os valores associados aos padrões espaciais representam o índice de degradação florestal.

Com a tipologia definida, a classificação das células com degradação florestal foi realizada no GeoDMA (*Geographic Data Mining Analyst*) (KORTING et al., 2008). O GeoDMA utiliza métricas de paisagem para extrair atributos estruturais dos polígonos delimitados pela célula e, através de técnicas de mineração de dados, que utiliza essas métricas como atributos para classificar os padrões de degradação florestal. Os dados de entrada no GeoDMA foram os polígonos relativos aos pátios de estocagem, estradas principais e secundárias, trilhas de arraste e cicatriz de fogo florestal obtidos na etapa de classificação espectral. Os polígonos foram agregados em células, possibilitando o reconhecimento de padrões associados à intensidade de degradação florestal. O processo de extração de métricas de paisagem pelo GeoDMA é ilustrado na figura 4.7, em que cada linha da tabela apresentada representa uma célula, e as colunas representam as métricas da paisagem.

Figura 4.7 - Classificação de padrões de degradação florestal com o GeoDMA em plano celular. Nesta figura, são apresentados o espaço celular (de 1km²) e uma tabela de atributos associada às células. A tabela de atributos contém as informações do plano celular como, a localização da célula (representada pelas colunas Col e Lin), e as informações das métricas de paisagem (c_CA, c_ED, c_LSI, por exemplo), extraídas com o GeoDMA.

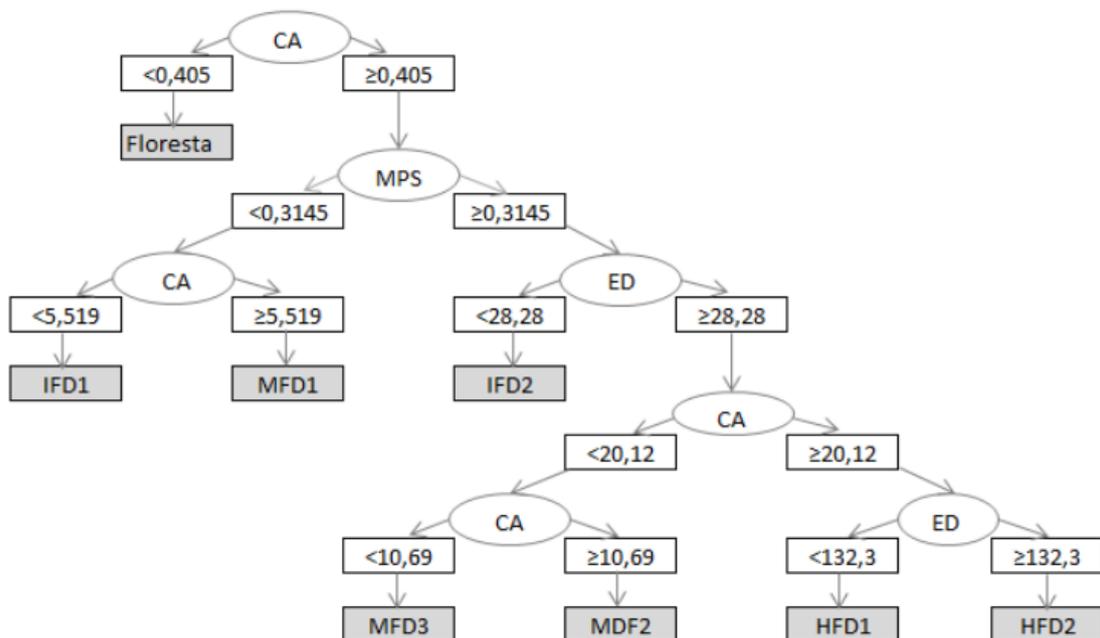


Fonte: Pinheiro (2015).

Posterior à extração de atributos das células, um algoritmo de mineração de dados por meio de árvore de decisão é utilizado para a classificação dos padrões, a partir de um conjunto de amostras de treinamento e de células de referência utilizando o algoritmo C4.5 (QUINLAN, 1993). Neste processo, foi

utilizada a árvore de decisão produzida por Pinheiro (2015) para classificar as células com degradação florestal nos padrões de intensidade de degradação florestal apresentados na figura 4.4. A árvore de decisão utilizada é apresentada na figura 4.8.

Figura 4.8 - 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: IFD1: degradação florestal de intensidade baixa-1; IFD2: 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).



Fonte: Pinheiro (2015).

4.2.2.4 Atualização do dado de estradas

O dado de estradas disponibilizado pelo Imazon foi gerado pela classificação de imagens TM/Landsat para o ano 2012. Para obtenção do dado de estradas para os períodos estabelecidos neste estudo foi necessária a reclassificação das estradas para os anos 1994, 2004 e 2017.

A partir do dado de 2012 e das imagens TM e OLI de 1994, 2004 e 2017 foi realizado o mapeamento das estradas utilizando a metodologia proposta por Brandão Júnior e Souza Júnior (2005). Foram utilizadas imagens Landsat para

a extração das imagens-fração solo com o Modelo Linear de Mistura Espectral (SHIMABUKURO; SMITH, 1991). As áreas de vegetação e solo exposto apresentam grande contraste na imagem fração solo e, portanto, a detecção de estradas é facilitada.

Para os dois primeiros períodos (1994 e 2004) o dado do Imazon de 2012 foi sobreposto às imagens fração solo de 1994 e de 2004. As estradas que não foram identificadas nas imagens foram excluídas, dando origem à malha viária dos dois primeiros períodos. Para o terceiro período (2017), o dado do Imazon foi sobreposto à imagem fração solo de 2017. As estradas que foram identificadas na imagem-fração solo de 2017, mas que não faziam parte do dado de 2012, foram mapeadas manualmente, dando origem à malha viária do terceiro período.

4.3 Análise dos fatores causadores da degradação florestal

A partir da série histórica dos padrões de intensidades de degradação florestal de 1984 a 2017 e dos dados espaciais mencionados na Seção 4.1.2, foi realizada a detecção dos fatores que influenciam a intensidade de degradação florestal em cada um dos períodos relativos aos estágios estabelecidos da fronteira agropecuária da região de Novo Progresso. Os fatores que influenciam na degradação florestal foram definidos a partir de pesquisa bibliográfica.

Foram definidos três períodos de estudo que representam diferentes dinâmicas dos processos de exploração florestal e fogo florestal na região de estudo. O primeiro período se estende de 1984 a 1994 (11 anos) e representa o período de maior ocorrência de padrões de baixa intensidade de degradação florestal na região. O segundo período, de 1995 a 2004 (10 anos) representa o período de maior intensidade das atividades de exploração madeireira e pouco controle desta atividade. O terceiro período, de 2005 a 2017 (13 anos), representa intensidades de exploração madeireira reduzidas, quando comparadas ao período anterior devido ao aumento do controle desta atividade por parte do poder público.

A partir dos dados espaciais foram extraídas variáveis que representam os fatores que influenciam a degradação florestal na cena 227/65. Em seguida

foram desenvolvidos modelos de regressão multivariados para cada período de estudo. Os procedimentos para a obtenção das variáveis e produção dos modelos é descrito a seguir.

4.3.1 Preparo das variáveis

Os dados de intensidade de degradação florestal foram representados em grade celular com valores numéricos entre zero e um. Considerando que zero representa a floresta intacta e 1 representa o corte raso, os valores mais próximos a zero representam menores intensidades de degradação florestal, enquanto valores mais próximos a um, representam maiores intensidades de degradação florestal. Desta forma, a série histórica é representada por grades celulares de intensidade de degradação florestal para cada ano de 1984 a 2017

Foram excluídas das análises todas as células que apresentaram desmatamento identificado pelo PRODES, em algum ano de cada período de estudo. Também foram excluídas as células que permaneceram como floresta durante os períodos, ou seja, células que não sofreram degradação florestal. Portanto, as análises foram conduzidas apenas com células que sofreram degradação florestal durante os períodos de estudo e que não foram convertidas a corte raso.

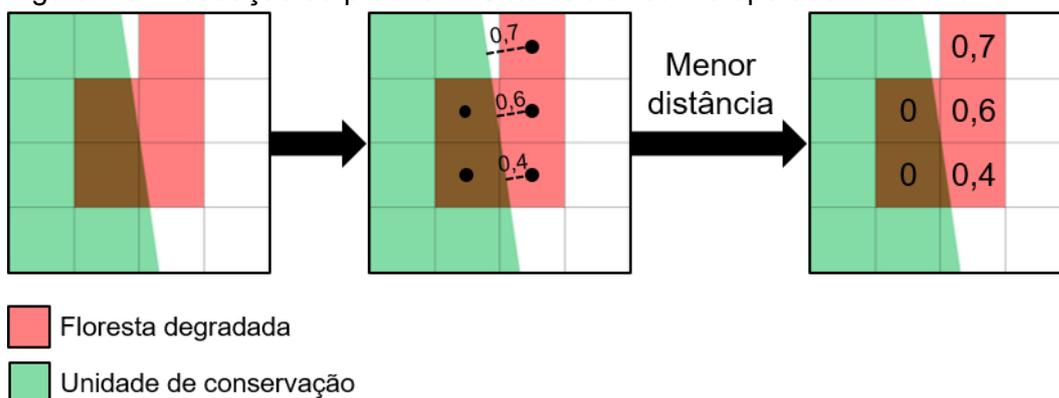
A intensidade de degradação florestal é a variável dependente no modelo de regressão multivariada a ser utilizado. Para a construção desta variável, foi utilizada a média aritmética dos valores numéricos do índice intensidade de degradação florestal na mesma célula para cada ano dentro dos três períodos. O resultado da média aritmética passou a ser o indicador de intensidade de degradação florestal para cada período. Foram testadas outras estatísticas para representar a intensidade de degradação florestal nos períodos, como valor máximo, valor mínimo, moda e mediana, contudo, o resultado da média foi o que melhor representou a intensidade dentro de cada período, semelhante ao encontrado por Capanema (2017).

As variáveis independentes utilizadas nos modelos representam os diversos dados espaciais obtidos a partir de diferentes fontes. Para a integração destes dados à grade celular, foram utilizados diferentes operadores de preenchimento de células do TerraView (INPE, 2010) definidos de acordo com a natureza da

variável. Neste processo, são consideradas apenas as variáveis cujos dados contemplem os três períodos de análise, de maneira que seja garantida a comparabilidade entre os períodos. A variável *distância de estradas*, por exemplo, foi obtida com o mapeamento, conforme descrito na seção 4.2.2.4, da malha viária para cada período da modelagem, representando a realidade de cada período. Para as demais variáveis, os dados estavam disponíveis para todos os períodos de estudo.

As variáveis de distância foram obtidas a partir do operador *distância mínima* do *plugin* de preenchimento de células do TerraView. Este operador calcula a distância mínima, em metros, entre o vetor mais próximo e o centroide de cada célula. Os valores obtidos são armazenados na tabela associada ao plano celular. Este operador foi utilizado para obter as variáveis *distância dos focos de calor*, *distância da área desmatada*, *distância de pastos*, *distância de rios*, *distância dos núcleos populacionais*, *distância de estradas*, *distância de terras indígenas*, *distância de unidades de conservação*, *distância de planos de manejo* e *distância de assentamentos rurais*. O processo de obtenção das variáveis de distância é ilustrado na figura 4.9 para a variável *distância de unidades de conservação*.

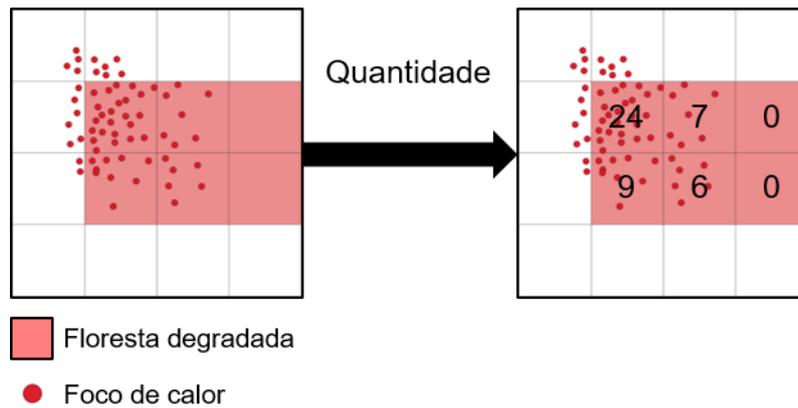
Figura 4.9 - Ilustração do preenchimento celular com o operador *distância mínima*.



Fonte: Produção do autor.

A variável *número de focos de calor* foi obtida com o operador *quantidade*. Este operador faz a contagem de todos os pontos dentro da célula. O preenchimento de células com o operador *quantidade* é apresentado na figura 4.10.

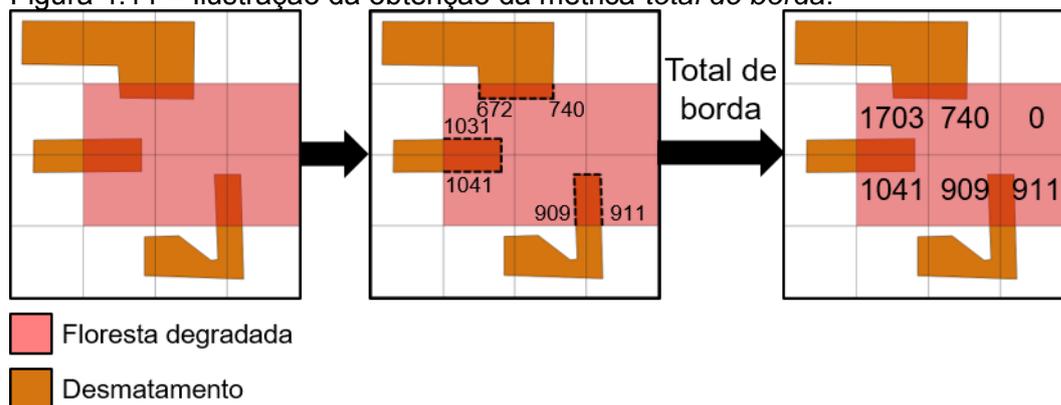
Figura 4.10 - Ilustração do preenchimento celular com o operador *quantidade*.



Fonte: Produção do autor.

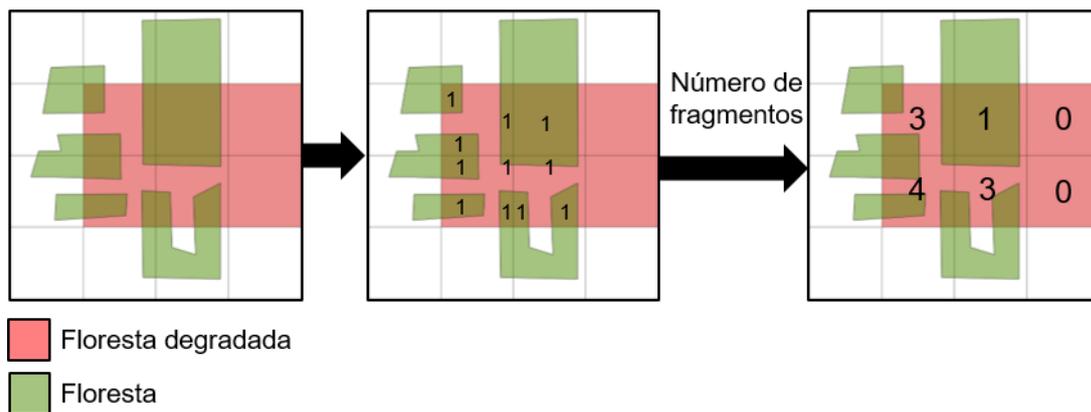
As variáveis *total de borda*, *densidade de borda* e *número de fragmentos* foram obtidas a partir da extração de métricas da paisagem no GeoDMA. O *total de borda* é obtido pela soma do tamanho das bordas dos fragmentos florestais, em metros, dentro da célula. A razão entre o total de bordas e a área dos fragmentos (em hectares) produz a variável *densidade de borda*. O *número de fragmentos* é obtido da contagem da quantidade de fragmentos florestais existentes em cada célula. As figuras 4.11 e 4.12 ilustram, respectivamente, a obtenção das variáveis *total de borda desmatada* e *número de fragmentos florestais*.

Figura 4.11 – Ilustração da obtenção da métrica *total de borda*.



Fonte: Produção do autor.

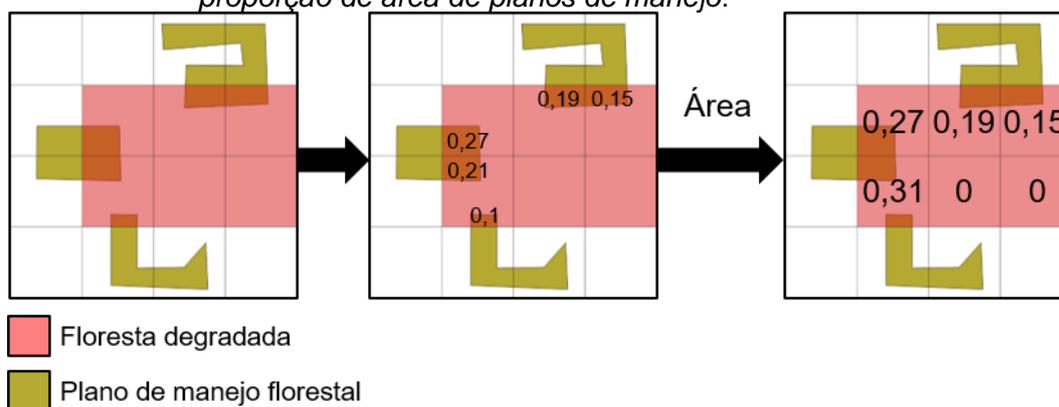
Figura 4.12 – Ilustração da obtenção da métrica *número de fragmentos*.



Fonte: Produção do autor.

As variáveis de área também foram obtidas com a extração de métricas de paisagem do GeoDMA. Esta métrica representa a soma de todas as áreas ocupadas por um ou mais polígonos pertencentes a uma mesma classe dentro da célula. Com esta métrica foram obtidas as variáveis *proporção de área desmatada*, *área de pasto*, *área de terra indígena*, *área de unidades de conservação*, *área de planos de manejo* e *área de assentamentos rurais*. A figura 4.13 ilustra o processo de obtenção da variável *área*.

Figura 4.13 – Ilustração da obtenção da métrica *proporção de área* para a variável *proporção de área de planos de manejo*.



Fonte: Produção do autor.

Por fim, os valores numéricos das variáveis dependente e independente foram associados a uma única grade celular, resultando em uma única tabela em que as linhas representam cada unidade celular, e as colunas representam os valores numéricos de cada variável (dependente e independentes).

A tabela 4.3 descreve todas as variáveis independentes utilizadas na regressão estatística multivariada. São apresentados o nome da variável e o fator

representado por esta variável, bem como a premissa que determinou a escolha da variável, a forma de obtenção da variável e o dado de origem.

Tabela 4.3 - Resumo das variáveis utilizadas na regressão estatística multivariada.

Fator - Variável	Premissa	Operação	Dado	Fonte
Fogo - Densidade Kernel de focos de calor.	Células com maior densidade de focos de calor possuem intensidade de degradação mais alta.	União dos focos de calor do período e uso do estimador densidade de Kernel.	Focos de calor	Portal Queimadas do INPE
Fogo - Número de focos de calor.	Células com maior número de focos de calor possuem intensidade de degradação mais alta.	Contagem dos focos de calor dentro das células (<i>plug-in</i> de preenchimento de células) nos períodos analisados.		
Fogo - Distância de focos de calor	Células com menor distância dos focos de calor possuem intensidade de degradação mais alta.	Mapa de distância euclidiana gerado a partir dos focos de calor do período analisado.		
Ambiental - Distância de áreas desmatadas	Células com menor distância dos polígonos de desmatamento possuem intensidade de degradação mais alta.	Mapa de distância euclidiana gerado a partir dos polígonos de desmatamento acumulado nos períodos.	Desmatamento anual	PRODES e Pinheiro (2015)
Ambiental – Proporção de área desmatada	Células com maior área de desmatamento possuem intensidade de degradação mais alta.	Mapa de células com a área de desmatamento acumulado nos períodos.		
Ambiental - Densidade de borda de áreas desmatadas	Células com maior densidade de borda de área desmatada possuem intensidade de degradação mais alta.	Mapa de células com a densidade de bordas dos polígonos de desmatamento (GeoDMA) dos períodos.		
Ambiental - Total de Borda desmatada	Células com maiores valores do total de borda possuem intensidade de degradação mais alta.	Mapa de células com o comprimento de bordas dos polígonos de desmatamento. (GeoDMA) de 1996, 2004 e 2017.		
Ambiental - Número de Fragmentos Florestais	Células com maior número de fragmentos possuem intensidade de degradação mais alta.	Mapa de células com número de fragmentação (GeoDMA) dos períodos.		
Ambiental - Área de pasto	Células com maior área de pasto possuem intensidade de degradação mais alta.	Mapa de células com a área de pasto acumulado nos períodos.	Uso e cobertura da terra nas áreas desmatadas da Amazônia Legal brasileira	TerraClass
Ambiental – Distância de pastos	Células com menor distância dos pastos possuem intensidade de degradação mais alta.	Mapa de distância euclidiana gerado a partir dos polígonos de pasto acumulados nos períodos.		
Acesso – Distância de rios	Células com menor distância dos rios possuem intensidade de degradação mais alta.	Mapa de distância euclidiana gerado a partir dos da hidrografia.	Hidrografia	Banon e Novo (2018)
Acesso – Distância de estradas	Células com menor distância das estradas possuem intensidade de degradação mais alta.	Mapa de distância euclidiana gerado a partir dos da malha viária dos períodos.	Malha viária	Imazon e Processamento Digital de Imagens
Acesso – Distância da BR-163	Células com menor distância da BR-163 possuem intensidade de degradação mais alta.	Mapa de distância euclidiana gerado a partir do vetor da BR-163 dos períodos.		

Tabela 4.3 – Resumo das variáveis utilizadas na regressão estatística multivariada (continuação).

Fator/Variável	Premissa	Operação	Dado	Fonte
Acesso – Distância das estradas secundárias	Células com menor distância das estradas secundárias possuem intensidade de degradação mais alta.	Mapa de distância euclidiana gerado a partir do vetor das estradas secundárias dos períodos.	Malha viária	Imazon e PDI
Acesso – Distância aos núcleos populacionais	Células com menor distância dos núcleos populacionais possuem intensidade de degradação mais alta.	Mapa de distância euclidiana gerado a partir dos vetores de núcleos populacionais dos períodos.	Núcleos populacionais	Amaral et al. (2012)
Políticas públicas – Área de terra indígena	Células com menor área de terra indígena possuem intensidade de degradação mais alta.	Mapa de células com a área das TIs dos períodos.	Polígonos de terras indígenas	FUNAI
Políticas públicas – Distância da terra indígena	Células com menor distância dos polígonos de TI possuem intensidade de degradação mais baixa.	Mapa de células com a área de TI nos períodos.		
Políticas públicas – Área das unidades de conservação	Células com menor área de unidades de conservação possuem intensidade de degradação mais alta.	Mapa de células com a área das UCs dos períodos.	Polígonos de Unidades de Conservação	ICMBio
Políticas públicas – Distância das unidades de conservação	Células com menor distância dos polígonos de UC possuem intensidade de degradação mais baixa.	Mapa de distância euclidiana gerado a partir dos polígonos de UC dos períodos.		
Políticas públicas - Distância das unidades de conservação de proteção integral (UCPI)	Células com menor distância dos polígonos de UCPI possuem intensidade de degradação mais baixa.	Mapa de distância euclidiana gerado a partir dos polígonos de UCPI dos períodos.		
Políticas públicas - Distância das unidades de conservação de uso sustentável (UCUS)	Células com menor distância dos polígonos de UCUS possuem intensidade de degradação mais baixa.	Mapa de distância euclidiana gerado a partir dos polígonos de UCUS dos períodos.		
Políticas públicas - Distância da FLONA do Jamanxim	Células com menor distância da FLONA do Jamanxim possuem intensidade de degradação mais baixa.	Mapa de distância euclidiana gerado a partir do polígono da FLONA		
Políticas públicas – Área de assentamentos rurais	Células com maior área de assentamentos rurais possuem intensidade de degradação mais alta.	Mapa de células com a área dos assentamentos rurais dos períodos.	Polígonos de assentamentos rurais	INCRA
Políticas públicas - Distância de assentamentos rurais	Células com menor distância dos assentamentos rurais possuem intensidade de degradação mais alta.	Mapa de distância euclidiana gerado a partir dos assentamentos rurais.		
Políticas públicas - Distância de Projetos de Assentamento (PA)	Células com menor distância dos PA possuem intensidade de degradação mais alta.	Mapa de distância euclidiana gerado a partir dos polígonos de projetos de assentamento.		

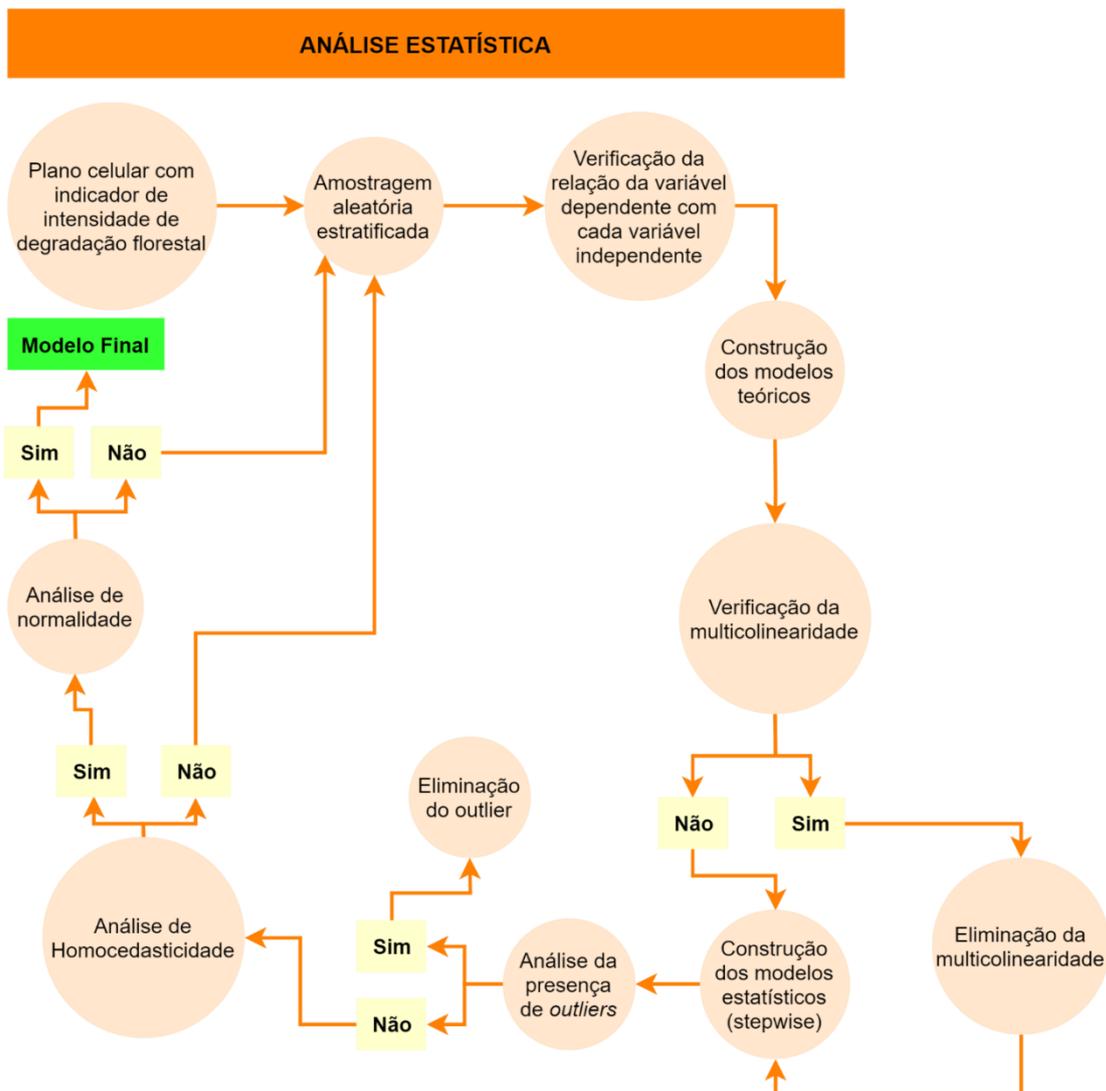
Tabela 4.3 – Resumo das variáveis utilizadas na regressão estatística multivariada (continuação).

Fator/Variável	Premissa	Operação	Dado	Fonte
Políticas públicas – Distância de Projetos de Desenvolvimento Sustentável (PDS)	Células com menor distância dos PDS possuem intensidade de degradação mais alta.	Mapa de distância euclidiana gerado a partir dos polígonos de projetos de desenvolvimento sustentável.	Polígonos de assentamentos rurais	INCRA
Políticas públicas - Distância de assentamentos rurais em fase 3	Células com menor distância dos assentamentos rurais em fase 3 possuem intensidade de degradação mais alta.	Mapa de distância euclidiana gerado a partir dos polígonos de assentamentos rurais em fase 3.		
Políticas públicas - Distância de assentamentos rurais em fase 5	Células com menor distância dos assentamentos rurais em fase 5 possuem intensidade de degradação mais alta.	Mapa de distância euclidiana gerado a partir dos polígonos de assentamentos rurais em fase 5.		
Políticas públicas – Área de planos de manejo (PMFS)	Células com menor área dos PMFS possuem intensidade de degradação mais alta.	Mapa de células com a área dos PMFS dos períodos.	Planos de manejo florestal sustentável (PMFS)	SEMAS-PA
Políticas públicas – Distância de planos de manejo (PMFS)	Células com menor distância dos PMFS possuem intensidade de degradação mais alta.	Mapa de distância euclidiana gerado a partir dos polígonos de PMFS dos períodos.		

4.3.2 Regressão estatística multivariada

Nesta seção são apresentados os procedimentos para a regressão estatística da degradação florestal para cada período de estudo estabelecido preliminarmente na Seção 4.2.2. Foi adotado um delineamento amostral estratificado para garantir que todas as classes de intensidade de degradação florestal fossem representadas. A Figura 4.14 apresenta as etapas de processamento para a modelagem, cada etapa é detalhada nas seções a seguir.

Figura 4.14 - Fluxograma metodológico da modelagem estatística multivariada.



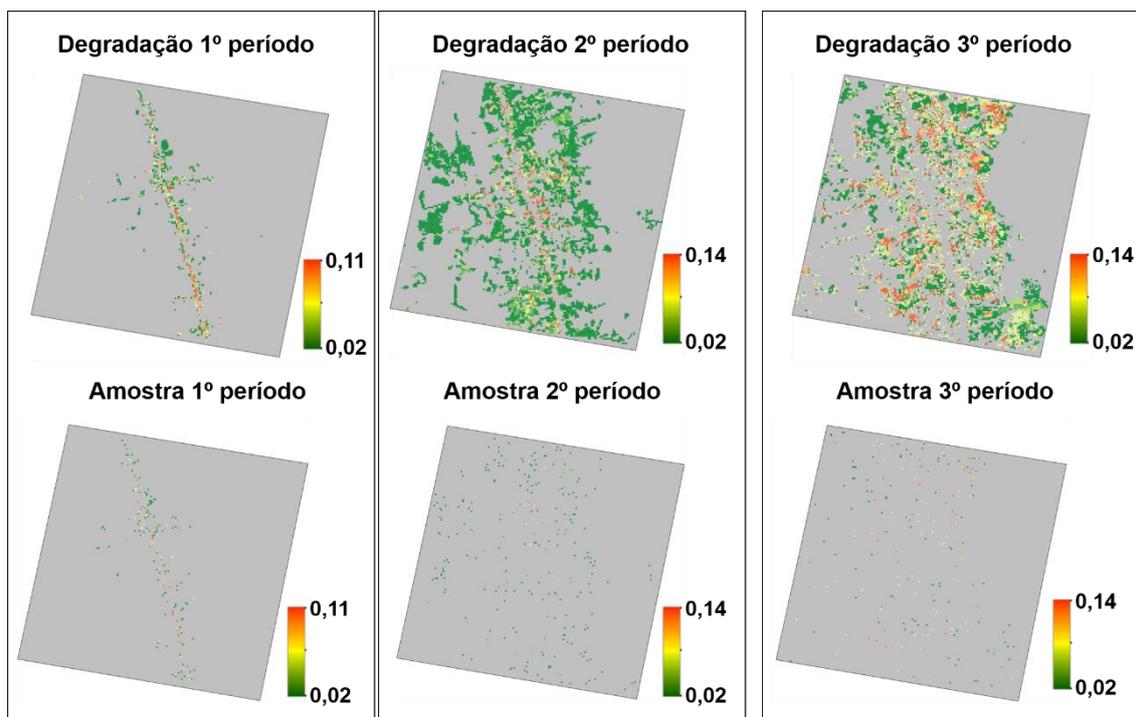
Fonte: Produção do autor.

4.3.2.1 Amostragem aleatória estratificada

Foi realizada a amostragem das células que fizeram parte da análise. A amostragem foi conduzida de forma a reduzir a dependência espacial das

amostras. As amostras foram selecionadas de maneira aleatória e estratificada, por classes de intensidade de degradação, para garantir que todas as classes de intensidade fossem representadas na amostra. Durante o primeiro período, que representa o início do processo de ocupação da região, ainda não intensificado, houveram 522 células com alguma intensidade de degradação florestal, enquanto para os períodos 2 e 3 o total de observações foi de 3.371 e 4140 células, respectivamente. Devido ao menor número de observações para o primeiro período comparado aos demais, foi necessário amostrar uma maior proporção de células neste período. Foram selecionadas, aleatoriamente, 120 células para o primeiro período, 236 para o segundo período e 207 para o terceiro período que representam, respectivamente, 23%, 7% e 5% do total de células com degradação florestal de cada período. A Figura 4.15 ilustra a distribuição espacial da intensidade de degradação florestal da população e das amostras para cada período.

Figura 4.15 - População e amostra de células com degradação florestal na região de Novo Progresso em cada período de estudo.



Fonte: Produção do autor.

Após a amostragem, a análise de regressão multivariada foi conduzida seguindo os procedimentos recomendados por Neter et al., (1996), que envolve as etapas apresentadas na Figura 4.14.

4.3.2.2 Relação entre as variáveis, construção dos modelos e análise da multicolinearidade

Inicialmente, foram analisados os gráficos de dispersão entre a variável dependente e as variáveis independentes para verificar se a relação entre elas era linear, e assim, determinar o modelo de regressão a ser utilizado. A análise dos gráficos de dispersão permitiu identificar a necessidade de transformação das variáveis independentes para melhorar a relação entre cada uma delas e a variável dependente.

Após a análise da relação entre as variáveis, os modelos de regressão foram construídos utilizando o método *stepwise forward*, em que o modelo é gerado com apenas uma variável independente e as demais são adicionadas, uma a uma. Foram excluídas variáveis estatisticamente não significativas para o modelo. A determinação do melhor modelo para cada período foi feita a partir da análise do coeficiente de determinação (r^2) e dos resultados dos testes de significância estatística.

A multicolinearidade deve ser analisada na construção de modelos para evitar que as variáveis explicativas do modelo tenham relação linear entre si. A existência de multicolinearidade tem forte influência na qualidade do ajuste do modelo e, conseqüentemente afeta as inferências que possam ser feitas a partir dos modelos. Para esta análise, foi utilizado o *variance inflation factor* (VIF). Segundo Fox e Monette (1992), o VIF mede a variância dos coeficientes β em comparação com os valores deste coeficiente se os dados forem ortogonais. Valores de VIF superiores a 10 indicam a existência de multicolinearidade entre variáveis independentes (NETER, 1996). Neste caso, as variáveis com VIF superiores a 10 foram excluídas da análise.

4.3.2.3 Análise de resíduos

A análise dos resíduos do modelo de regressão nos permite verificar a adequabilidade dos dados aos pressupostos estabelecidos na análise de regressão, como a presença de *outliers*, homocedasticidade e normalidade. A presença de valores extremos nos resíduos, os *outliers*, podem gerar pontos de

alavancagem que influenciam o comportamento da variável resposta, o coeficiente angular ou o resultado dos testes de hipóteses e, portanto, exerce forte influência sobre a confiabilidade do modelo. A análise dos *outliers* foi realizada por meio das observações do gráfico *leverage* no R e pelo gráfico de relação dos resíduos padronizados *versus* valores estimados.

A homocedasticidade dos resíduos é um importante pressuposto da análise de regressão, pois comprova que os erros padrões dos estimadores, obtidos pelo método dos Mínimos Quadrados, estão corretos, trazendo confiabilidade às inferências estatísticas feitas a partir do modelo. Por fim, a normalidade dos resíduos também é um pressuposto fundamental para a análise de regressão, pois é necessário que os resíduos apresentem distribuição normal, ou seja, não apresente tendências, para que os testes F e t sejam válidos.

Foram conduzidos testes estatísticos para a verificação da homocedasticidade e da normalidade dos resíduos. Para verificar a homocedasticidade dos resíduos foi conduzido o teste Breush-Pagan. Para verificar a normalidade dos resíduos foi conduzido o teste Shapiro-Wilk.

4.3.2.4 Determinação da importância relativa das variáveis

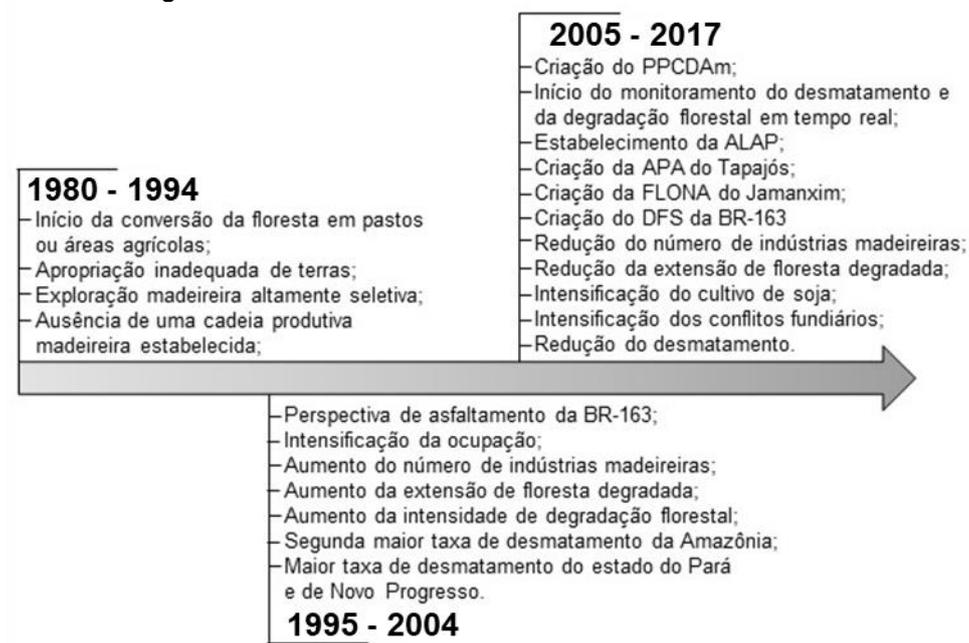
Foi conduzida uma análise para identificar os pesos de cada variável incluída nos modelos de cada período. Esta análise permitiu discutir a variação da importância de cada variável à degradação entre os períodos em estudo. Para capturar a dinâmica dos fatores que influenciam a intensidade de degradação florestal, além das possíveis alterações nas variáveis que influenciam o modelo, foi estimada a contribuição de cada variável independente para cada modelo através de sua importância relativa. Para identificar a contribuição de cada variável independente foi utilizada a análise *effect size* da ANOVA, uma medida do grau de relação entre duas variáveis, com o estimador *eta squared*, que expressa o quanto a variável dependente pode ser explicada pela variável independente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Períodos do avanço da exploração madeireira na região de Novo Progresso

Para a análise dos fatores que influenciam a intensidade de degradação florestal ao longo do tempo, a série temporal de 1984 a 2017 foi dividida em três períodos delimitados em função dos marcos históricos de relevância para a exploração madeireira na região em estudo. Para auxiliar no entendimento da evolução da atividade madeireira desta fronteira, os fatores que influenciaram a intensidade de degradação florestal foram analisados dentro dos períodos, individualmente, e comparativamente, entre si. Foram identificados 3 períodos com distintas características no contexto da exploração madeireira e desmatamento. A figura 5.1 apresenta os principais marcos históricos de cada período de estudo.

Figura 5.1 - Períodos distintos para a exploração madeireira na região de Novo Progresso e seus marcos históricos.



Fonte: Produção do autor.

O primeiro período (de 1984 a 1996) é marcado pelo início de um novo processo de ocupação na região de Novo Progresso e, conseqüentemente, pela ausência de uma cadeia produtiva de base florestal estabelecida. Neste período, a exploração madeireira é altamente seletiva, pois apenas espécies de elevado valor comercial eram exploradas para compensar os elevados custos de

transporte. Também é nesse período que se inicia a intensificação da remoção da floresta para a apropriação ilícita, na maior parte das vezes, de terras.

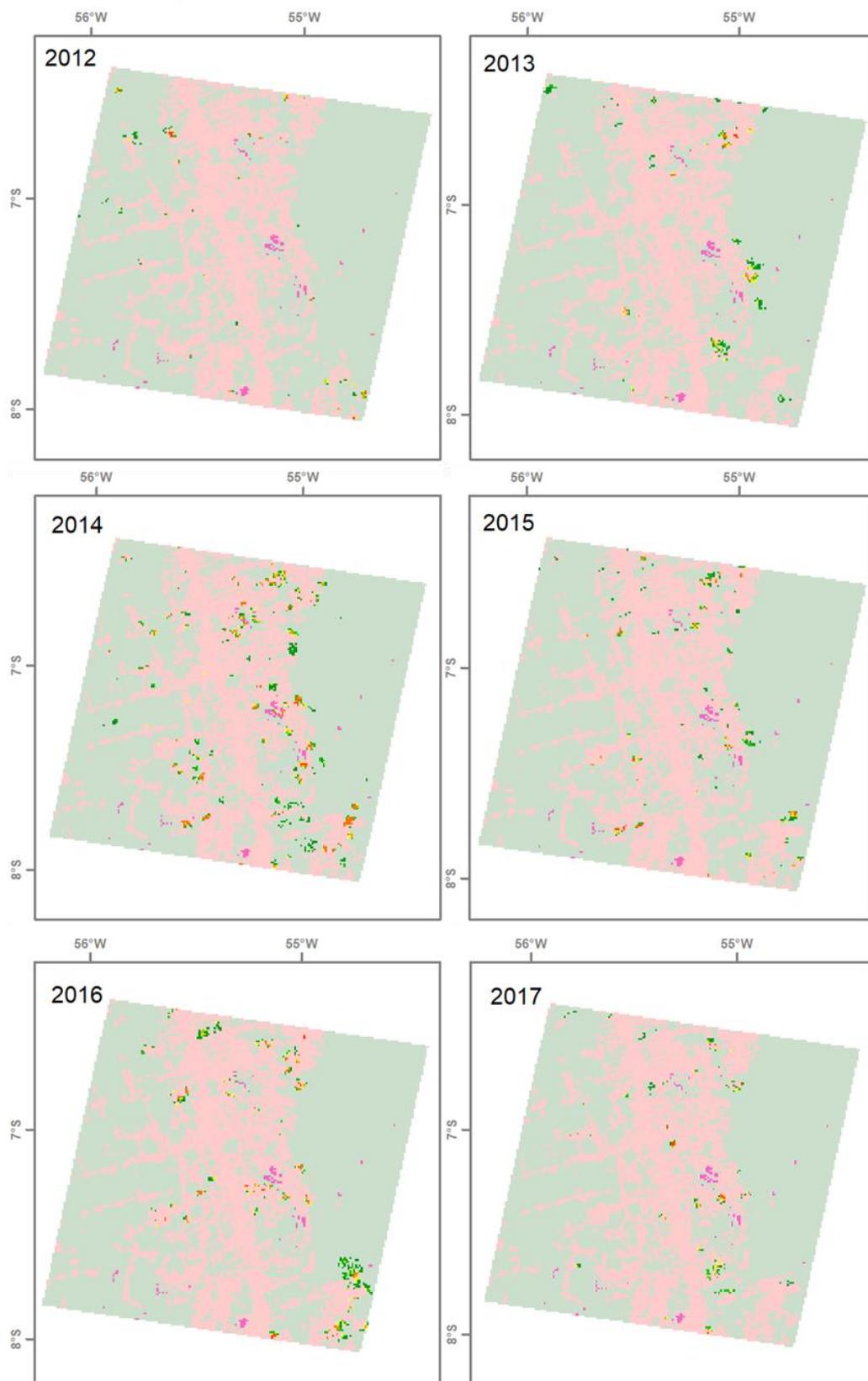
No segundo período de estudo (de 1997 a 2004), a perspectiva de pavimentação da BR-163 intensifica a ocupação em Novo Progresso, atraindo novas indústrias madeireiras que se instalam na região, resultando no aumento de áreas sobre exploração florestal e na intensidade da exploração. Este período também é marcado pelas maiores taxas históricas de desmatamento no estado do Pará e no município de Novo Progresso, que apresenta a segunda maior taxa de desmatamento da Amazônia Legal.

O terceiro período de estudo (de 2005 a 2017), é marcado pela redução das taxas de desmatamento na região frente às diversas medidas tomadas pelo governo federal para monitorar e controlar o desmatamento. Comparativamente, este é o período de maior controle das atividades de exploração madeireira, fogo florestal e desmatamento por meio de políticas públicas. Apesar da intensificação dos conflitos fundiários, neste período ocorre redução do avanço da degradação florestal, e do número de indústrias madeireiras na região, em relação ao período anterior.

5.2 Avaliação dos padrões de intensidade de degradação florestal

O mapeamento anual da degradação florestal produziu mapas anuais de intensidade de degradação florestal para a região de Novo Progresso para os anos de 2012, 2013, 2014, 2015, 2016 e 2017. Os mapas são apresentados na Figura 5.2 e é composto pelas classes Floresta, que representa a floresta primária; a classe Corte raso, representada pelas áreas desmatadas; a classe Não floresta, que representa áreas de afloramento rochoso e, por fim; a classe Intensidade de degradação florestal que representa o grau de perturbação causado por eventos de exploração seletiva e fogo florestal.

Figura 5.2 - Mapas anuais de intensidade de degradação florestal na região de Novo Progresso (cena 227/65) para o período de 2012 a 2017.



Fonte: Produção do autor.

Durante todos os anos mapeados houve prevalência dos padrões de menor intensidade de degradação florestal, IFD1 e IFD2 que, juntos, representaram mais de 50% dos padrões de intensidade de degradação florestal identificados para cada ano, enquanto o padrão MFD1 foi o de menor ocorrência. Com exceção de 2012, a degradação florestal tem se concentrado na direção leste da BR163, em especial na região sudeste.

Foi gerada uma matriz de confusão para avaliar o mapeamento dos padrões de intensidade de degradação florestal. A matriz de confusão é apresentada na tabela 5.1 em que as colunas representam o resultado da classificação automática produzida pelo GeoDMA e as linhas representam o a validação por foto intérprete independente. A avaliação apresentou exatidão global estimada em 87,5% e apontou, como principais erros, a classificação incorreta da classe MFD3 como LFD2, MFD1 e MFD2. Estes erros de classificação são decorrentes das infraestruturas de exploração de madeira representadas por esses padrões, pois o padrão MFD3 está associado aos pátios de estoque de madeira e estradas principais e secundárias, que podem causar ampla degradação na vegetação, similar aos padrões LFD2 e MFD2 (PINHEIRO, 2015). Adicionalmente, e o padrão MFD3 também apresenta estradas madeireiras abertas para o acesso às áreas exploradas, similar ao padrão MFD1.

Tabela 5.1 – Matriz de confusão da classificação anual de padrões espaciais de intensidade de degradação florestal em Novo Progresso (PA) de 2012 a 2017.

Padrão espacial	Classificação estrutural no GeoDMA (referência)								FLORES TA	Total	Erro de comissão (%)
	LFD1	LFD2	MFD1	MFD2	MFD3	HFD1	HFD2	FLORES TA			
LFD1	17	2	1	0	0	0	0	0	20	15,0	
LFD2	2	18	1	0	1	0	0	0	22	18,2	
MFD1	0	0	17	1	2	0	0	0	20	15,0	
MFD2	0	1	0	16	1	0	0	0	18	11,1	
MFD3	0	1	1	2	15	0	0	0	19	21,1	
HFD1	0	0	0	0	0	18	2	0	20	10,0	
HFD2	0	0	0	0	0	2	19	0	21	9,5	
FLORESTA	0	0	0	0	0	0	0	20	20	0	
Total	19	22	20	19	19	20	21	20	160		
Erro de omissão (%)	10,5	18,2	15,0	15,8	21,1	10,0	9,5	0			
Exatidão Global (%)	87,5										

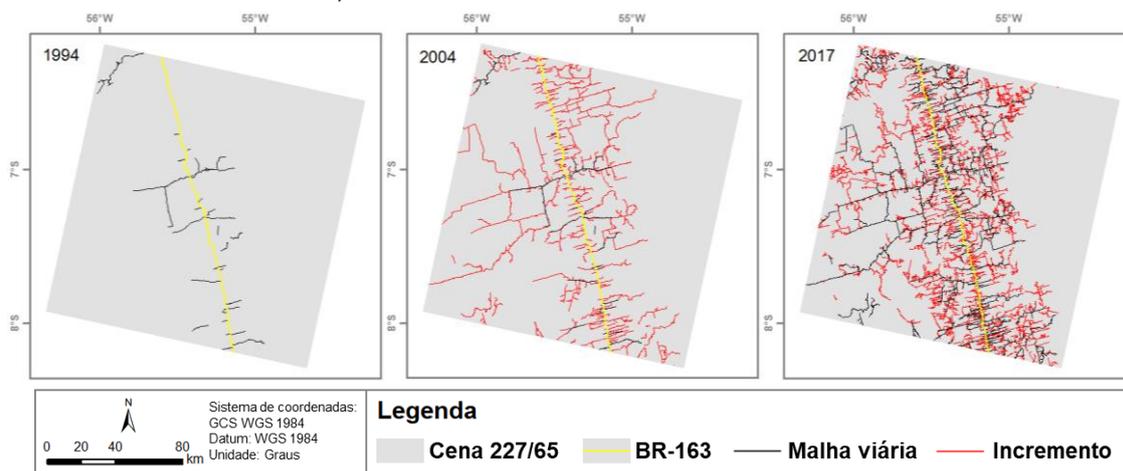
Fonte: Produção do autor.

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; HFD1: degradação florestal de intensidade alta 1 e HFD2: degradação florestal de intensidade alta 2

5.3 Mapeamento de estradas não-oficiais

O mapeamento de estradas não oficiais utilizou como base os dados produzidos pelo Imazon para o ano 2012 (IMAZON, 2019) e produziu mapas da malha viária na região de Novo Progresso para cada período de estudo (1994, 2004 e 2017). A figura 5.3 apresenta os mapas da malha viária mapeada e, através do incremento entre os períodos, permite observar a expansão da malha viária nos períodos estudados.

Figura 5.3 – Mapeamento das estradas não oficiais na região de Novo Progresso dos anos 1994, 2004 e 2017.



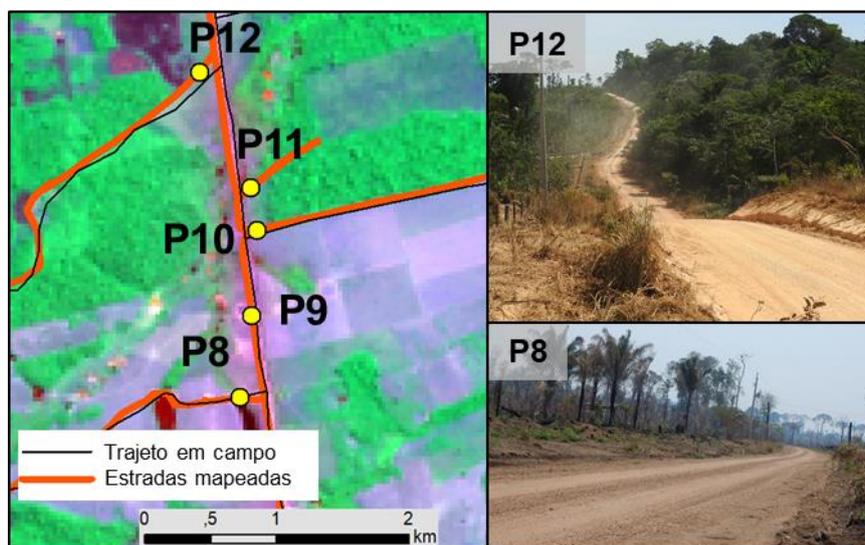
Fonte: Produção do autor.

No primeiro período de análise, representado pelo ano 1994, a malha viária era de aproximadamente 686km. No segundo período, representado pelo ano 2004, a malha viária apresentou uma extensão seis vezes maior que o observado no período anterior, atingindo 4.269km. O segundo período é marcado pela intensificação do processo de ocupação da região frente à perspectiva de asfaltamento na BR-163 e pelas maiores taxas de desmatamento na área de estudo. Com este novo ciclo de migração e intensificação do desmatamento, o aumento da malha viária pode ter decorrido da necessidade de aumento do acesso a áreas de floresta primária para exploração de recursos florestais e minerais e também para grilagem de terras. No terceiro período, representado pelo ano de 2017, a extensão da malha viária foi de 6.339km, representando um crescimento de 32% em relação ao período anterior.

Durante expedição de campo realizada em 2018, foram identificadas 21 estradas, dentre elas apenas 2 não foram detectadas no mapeamento de estradas. A omissão no mapeamento dessas duas estradas identificadas em

campo, pode ter ocorrido devido à abertura da estrada após a data de aquisição da imagem utilizada no mapeamento. O mapeamento foi realizado com imagem do ano de 2017 e a expedição de campo ocorreu em julho de 2018. Como a área é bastante dinâmica, esta hipótese parece ser plausível. A figura 5.4 ilustra exemplos de pontos de estradas visitados em campo, bem como parte do trajeto percorrido e as estradas mapeadas para o ano de 2017.

Figura 5.4 – Estradas visitadas em campo para avaliação do mapeamento de estradas não oficiais na região de Novo Progresso.



Fonte: Produção do autor.

5.4 Análise dos fatores relacionados com a intensidade de degradação florestal na região de Novo Progresso, Pará

A partir dos marcos históricos estabelecidos e dos modelos de regressão multivariados desenvolvidos neste trabalho, foram obtidos os fatores que influenciam a intensidade de degradação florestal na fronteira agropecuária da região de Novo Progresso. Esta seção apresenta os modelos produzidos, a análise dos modelos e a indicação dos fatores que influenciaram a degradação florestal nos modelos obtidos. Inicialmente, na seção 5.4.1, são apresentados os modelos dos períodos e as variáveis que apresentaram maior relação com a intensidade de degradação florestal. Nas seções seguintes (5.4.2 e 5.4.3), os modelos de cada período são detalhados e discutidos, sendo destacada a contribuição das variáveis que entraram em cada modelo. O Apêndice A apresenta mais detalhes sobre as análises estatísticas realizadas para a obtenção dos modelos.

5.4.1 Modelos de regressão multivariados para análise da intensidade de degradação florestal

Foram desenvolvidos três modelos de regressão para a indicação dos fatores relacionados com a intensidade da degradação florestal em diferentes períodos da fronteira agropecuária na região de Novo Progresso. O modelo do primeiro período representa a intensidade da degradação florestal (IDF) observada do ano de 1984 a 1994; o segundo período representa a IDF observada entre 1995 e 2004 e; o último período representa o período mais recente, de 2005 a 2017. As variáveis incluídas nos modelos e que, portanto, influenciaram a degradação florestal na série histórica analisada foram: *distância de áreas desmatadas* (DD), *proporção de área desmatada* (AD), *densidade de focos de calor* (DEFC), *distância de estradas vicinais* (DV), *distância da BR-163* (D163) e *distância dos assentamentos rurais* (DAR).

Diversos trabalhos que buscam explorar a degradação florestal na Amazônia relacionam este processo com o desmatamento, fragmentação florestal, fogo florestal, exploração seletiva de madeira e as estradas (FAHRIG, 2003; HADLEY; BETTS, 2012; FERREIRA et al., 2015; FONSECA et al., 2015; BARLOW et al., 2016; LIMA; PENNA, 2016; CAPANEMA, 2017; DE CARVALHO et al., 2017; RAPPAPORT et al., 2018; RANGEL PINAGÉ et al., 2019). Os resultados obtidos com os modelos do presente estudo também apontam para estes fatores e, portanto, corroboram com os trabalhos mencionados. Contudo, um novo fator, relacionado às políticas de reforma agrária, representado pelos assentamentos do INCRA, foi observado nos resultados obtidos neste estudo.

A análise de multicolinearidade, avaliada por meio do Índice de Variância Inflacionada (VIF), permitiu constatar nos modelos a ausência de correlação entre as variáveis independentes em todos os três períodos. As análises dos resíduos, dos três modelos desenvolvidos, constataram normalidade e homocedasticidade dos resíduos. Adicionalmente, todas as variáveis incluídas nos modelos apresentaram significância estatística e o ajuste obtidos variaram em torno de 80%. As estatísticas dos modelos e os testes de multicolinearidade, normalidade e homocedasticidade são apresentadas na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 – Estatísticas dos modelos múltiplos para os três períodos de estudo e resultados das análises de multicolinearidade e de resíduos.

Variável	Modelo Período 1			Variável	Modelo Período 2			Variável	Modelo Período 2		
	β_0	Pr(> t) ¹	VIF ²		β_0	Pr(> t) ¹	VIF ²		β_0	Pr(> t) ¹	VIF ²
DD	-2,214*10 ⁻⁴	**	2,0987	D163	-3,713*10 ⁻⁸	*	1,4181	DEFC	5,231*10 ⁻³	***	2,5284
DV	-6,23*10 ⁻⁷	***	1,2198	DV	-7,798*10 ⁻³	***	1,6177	DAR	-3,838*10 ⁻⁹	**	1,226
AD	3,653*10 ⁻⁸	***	1,2825	DAR	-4,656*10 ⁻²	***	1,6548	DV	-5,404*10 ⁻³	***	1,0843
D163	-1,923*10 ⁻²	***	1,7089	DD	-1,304*10 ⁻²	***	2,1435	DD	-1,810*10 ⁻²	***	2,3505
R²	0,8024			0,7893			0,8287				
	Normalidade (Shapiro-Wilk)³			Normalidade (Shapiro-Wilk)³			Normalidade (Shapiro-Wilk)³				
Estatística	0,9454			1,3841			1,0271				
p-valor	0,1021			0,7429			0,5814				
	Homoceadasticidade (Breusch-Pagan)⁴			Homoceadasticidade (Breusch-Pagan)⁴			Homoceadasticidade (Breusch-Pagan)⁴				
Estatística	3,2973			0,4716			1,2481				
p-valor	0,5094			0,8496			0,4135				

DD: distância de áreas desmatadas; DV: distância de estradas vicinais; AD: proporção de área desmatada; D163: distância da BR-163; DAR: distância de assentamentos rurais; DEFC: densidade de focos de calor

¹ Valores de referência: *** ≤ 0,001; ** ≤ 0,01; * ≤ 0,05

² Valores de referência: indica multicolinearidade quando o VIF for maior que 10.

³ Valores de referência: indica normalidade quando o p-valor for maior que 0,05.

⁴ Valores de referência: indica homoceadasticidade quando o p-valor for maior que 0,05.

Fonte: Produção do autor.

Grande parte das variáveis independentes apresentaram relação inversa com a intensidade de degradação florestal. Todas as variáveis de *distância* (de áreas desmatadas, de estradas e dos assentamentos rurais) apresentaram relação inversa com a IDF, indicando que, as áreas de floresta mais próximas de áreas desmatadas, estradas e assentamentos rurais estão sujeitas a degradação florestal de maior intensidade. As variáveis *proporção de área desmatada* e *densidade de focos de calor* apresentaram relação positiva com a IDF, indicando que onde há maior área desmatada e onde há maior densidade de focos de calor, há maior propensão de degradação florestal de maiores intensidades.

5.4.2 Fatores que influenciam a intensidade de degradação florestal na região de Novo Progresso

O modelo desenvolvido para o primeiro período de estudo foi capaz de explicar aproximadamente 80% da intensidade de degradação florestal. Durante o primeiro período, os fatores que apresentaram relação com a intensidade da degradação florestal foram o desmatamento, representado pelas variáveis *distância de áreas desmatadas* e *proporção de área desmatada*, e o acesso via terrestre representado pelas variáveis *distância da BR-163* e *distância das estradas vicinais*. O modelo estimado para o primeiro período é representado pela equação:

$$IDF_{\text{PERÍODO 1}} = 9,639 \cdot 10^{-2} - 2,214 \cdot 10^{-4} \cdot xDD - 6,230 \cdot 10^{-7} \cdot xDV - 3,653 \cdot 10^{-8} \cdot xAD - 1,923 \cdot 10^{-2} \cdot xD163 \quad (5.1)$$

Neste período, em que a ocupação da região se encontrava em fase inicial, a presença de estradas para o acesso às áreas florestais era primordial. A ampliação da malha viária exerce pressão sobre a floresta por facilitar o acesso (BECKER, 1982; PFAFF et al., 2009; MATRICARDI et al., 2010). Adicionalmente, a indústria madeireira pode ser um agente importante na construção de estradas não oficiais na Amazônia para obter acesso às espécies de madeira de maior valor e, conseqüentemente, para maximizar lucros e minimizar os custos com transportes (GROGAN; BARRETO; VERÍSSIMO, 2002; ARIMA et al., 2005).

Também, as áreas desmatadas neste período se mostraram importante neste modelo pois compartilham seus limites com os de áreas de floresta, as chamadas faixas de borda. Nessas regiões, o microclima é modificado devido, principalmente, às mudanças de iluminação (LAURANCE et al., 1998). A maior disponibilidade de luz nas faixas de borda favorece o estabelecimento de espécies pioneiras e gramíneas e, portanto, altera a composição florística local (LAURANCE et al., 1998; NASCIMENTO; LAURANCE, 2006).

O modelo desenvolvido para o segundo período explicou aproximadamente 79% do fenômeno analisado. Neste período de estudo, as variáveis que apresentaram relação com a intensidade de degradação florestal foram o desmatamento, representado pela variável *distância de áreas desmatadas*, o acesso via terrestre, representado pelas variáveis *distância da BR-163* e *distância de estradas vicinais*, e um fator que não foi observado no primeiro período, relacionado aos assentamentos rurais de reforma agrária, representado pela variável *distância de assentamentos rurais*. O modelo estimado para o segundo período é representado pela equação:

$$IDF_{\text{PERÍODO 2}} = 3,315 \cdot 10^{-1} - 30713 \cdot 10^{-8} \cdot xDAR - 7,798 \cdot 10^{-3} \cdot xDV - 4,656 \cdot 10^{-2} \cdot xD163 - 1,304 \cdot 10^{-2} \cdot xDD \quad (5.2)$$

Os assentamentos rurais de reforma agrária estiveram presentes nos dois últimos períodos de estudo, representado por meio da variável *distância de assentamentos rurais*. Os projetos de assentamento na Amazônia enfrentam

dificuldades na gestão ambiental, pois a maioria deles não é fiscalizada e controlada. Frequentemente, antes de desmatar, para iniciar o uso dos lotes com atividades agropecuárias, os assentados retiram a madeira comercial e vendem para obter capital para se estabelecer e/ou para iniciar suas atividades no lote. Em geral as áreas escolhidas para a instalação dos projetos de assentamento não levam em consideração o potencial agrônomo da terra (TOURNEAU; BURSZTYN, 2010), de forma que, é comum observar que os assentados não desfrutam de alternativas tecnológicas e infraestrutura de boa qualidade (CASTRO, 2019; MACHADO et al., 2019). Neste contexto, os assentados podem optar pela extração madeireira como uma maneira mais eficiente e rápida de extrair capital de seus lotes curto prazo (TOURNEAU; BURSZTYN, 2010), em especial, no início da ocupação. O fogo é frequentemente utilizado pelos assentados para a abertura de áreas e/ou limpeza de pasto, fogo este que pode avançar para além das áreas de interesse e provocar incêndios florestais (MASSOCA, 2010).

Neste período a abertura de estradas vicinais ampliam o acesso às áreas florestais podendo intensificar a degradação florestal, por essa razão, as variáveis que representam esse tipo de acesso entraram no modelo como a *distância da BR-163* e *distância de estradas vicinais*.

O modelo desenvolvido para o terceiro período, explicou aproximadamente 83% do fenômeno intensidade de degradação florestal. Para o terceiro período de análise, os fatores que influenciaram a degradação florestal foram o desmatamento, representado pela variável *distância de áreas desmatadas*, o acesso por via terrestre, representado pela variável *distância de estradas vicinais*, os assentamentos rurais, representados pela variável *distância de assentamentos rurais*, e um fator que não esteve presente nos dois primeiros períodos de análise, relacionado com o fogo, representado pela variável *densidade de focos de calor*. O modelo estimado para o terceiro período pode ser representado pela equação:

$$IDF_{PERÍODO 3} = 1,090 \cdot 10^{-1} + 5,231 \cdot 10^{-3} \cdot DEFC - 3,838 \cdot 10^{-9} \cdot DAR - 5,404 \cdot 10^{-3} \cdot DV - 1,810 \cdot 10^{-2} \cdot DD \quad (5.3)$$

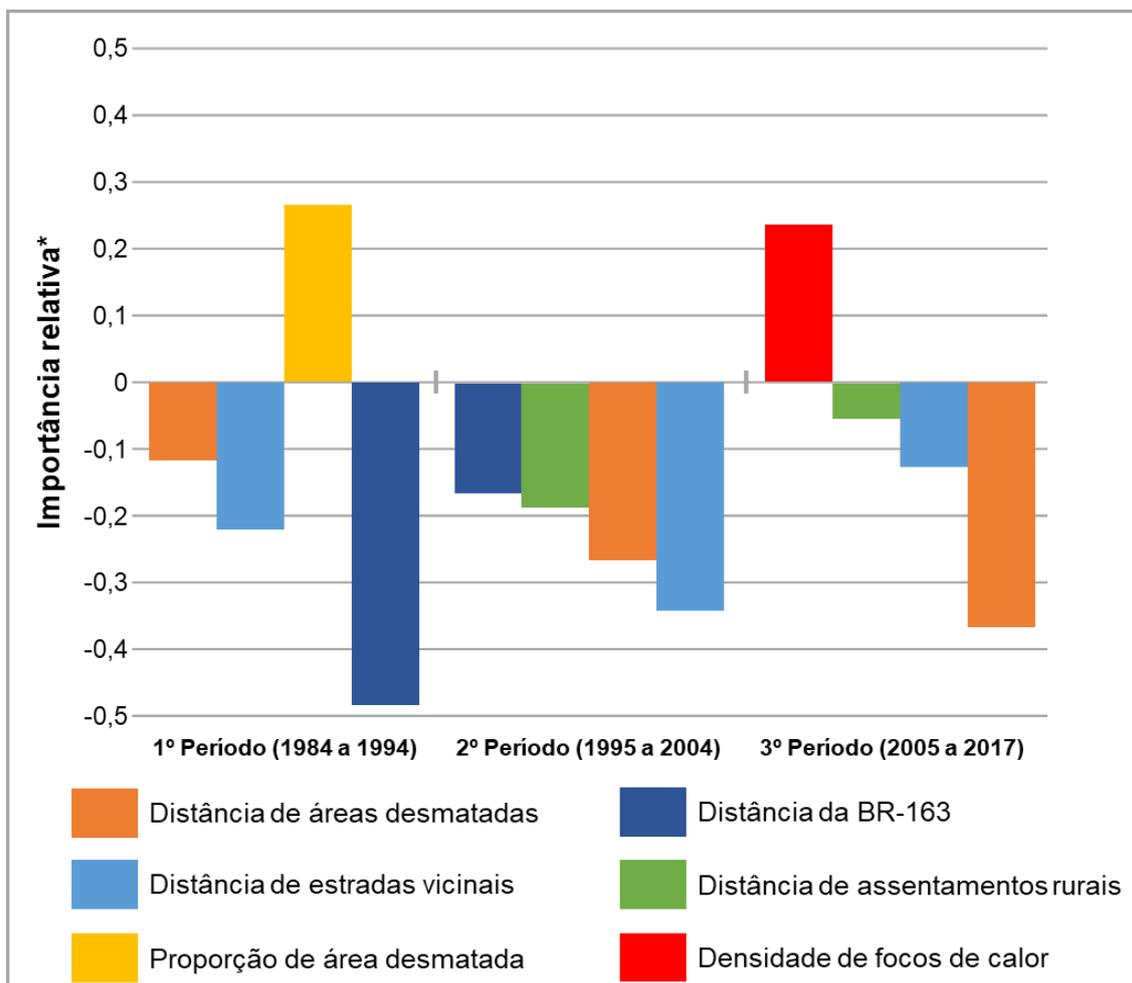
As variáveis obtidas com esse modelo mostram que nesse período, a BR-163 já não influencia de forma significativa a intensidade de degradação. No período

analisado, que inicia em 2004 e termina em 2017, grande parte da área do entorno da BR-163 já estava desmatada, restando poucos remanescentes florestais. Devido a esse pequeno estoque de floresta no entorno da BR-163, a estrada oficial deixa de exercer influência na degradação florestal, enquanto as estradas vicinais permanecem, sendo elas, nesse período, os eixos que facilitam o acesso às áreas florestais e aos seus recursos madeireiros. A proximidade com áreas desmatadas permanece como um fator importante, bem como a proximidade com as áreas de projeto de assentamento. Um elemento novo que aparece neste modelo, é a *densidade de focos de calor*. Até o ano de 2011, de acordo com Pinheiro (2015), poucos focos de calor eram detectados em áreas de floresta nessa região. Na região de Novo Progresso, o uso do fogo está tipicamente associado à prática de corte e queima em que a queimada é utilizada para a conversão da floresta, principalmente, para a apropriação ilegal de terras em casos de grilagem (PINHEIRO, 2015). Muitas vezes este fogo não é controlado e avança sobre a floresta, promovendo mudanças na cobertura florestal.

5.4.3 Contribuição relativa das variáveis

A partir dos modelos estatísticos multivariados desenvolvidos para os períodos de estudo foram identificados os fatores relacionados com a intensidade de degradação florestal. A análise *effect size* da ANOVA permitiu identificar o peso de cada variável incluída em cada um dos modelos e, portanto, estabelecer uma relação de importância relativa das variáveis. O resultado da contribuição relativa das variáveis de cada um dos modelos desenvolvidos é apresentado na Figura 5.5, em que foi adotado o sinal negativo para representar as variáveis que apresentam relação negativa com a intensidade de degradação florestal.

Figura 5.5 – Representação da contribuição relativa de cada variável aos modelos de regressão dos períodos de estudo.



* Valores negativos representam relação negativa da variável independente com a variável dependente intensidade de degradação florestal.

No primeiro período de estudo, a variável com maior contribuição para o modelo de intensidade de degradação florestal foi a *distância da BR-163*. A variável *distância de estradas vicinais* também foi um fator que influenciou a degradação florestal neste período, porém, com uma contribuição relativa inferior à da BR-163 (Figura 5.5). Durante o final da década de 80 e início da década de 90 a região de Novo Progresso passava pelo processo de colonização espontânea (IPAM, 2006) em que a BR-163 era a única via de acesso que conectava a região às demais regiões do país. Durante este processo algumas serrarias se instalaram na região, entretanto, não havia uma indústria madeireira estabelecida e a madeira explorada teve como principal finalidade o desenvolvimento da infraestrutura local (ORAVEC, 1998). Durante este período, as estradas vicinais aumentavam a oportunidade de acesso a novas áreas de floresta, e também constituíam um importante fator para a exploração madeireira. Neste período, a BR-163 ainda não havia sido pavimentada,

tornando o transporte um processo bastante oneroso (ORAVEC, 1998). As más condições das estradas tornavam os custos de transporte muito elevados (PINHEIRO, 2015) e, portanto, as áreas de floresta à margem da BR se tornavam mais atrativas para as atividades econômicas ligadas à agropecuária, e também à extração de madeira, o que explica a maior contribuição relativa da variável *distância da BR-163* do que da variável *distância de estradas vicinais*.

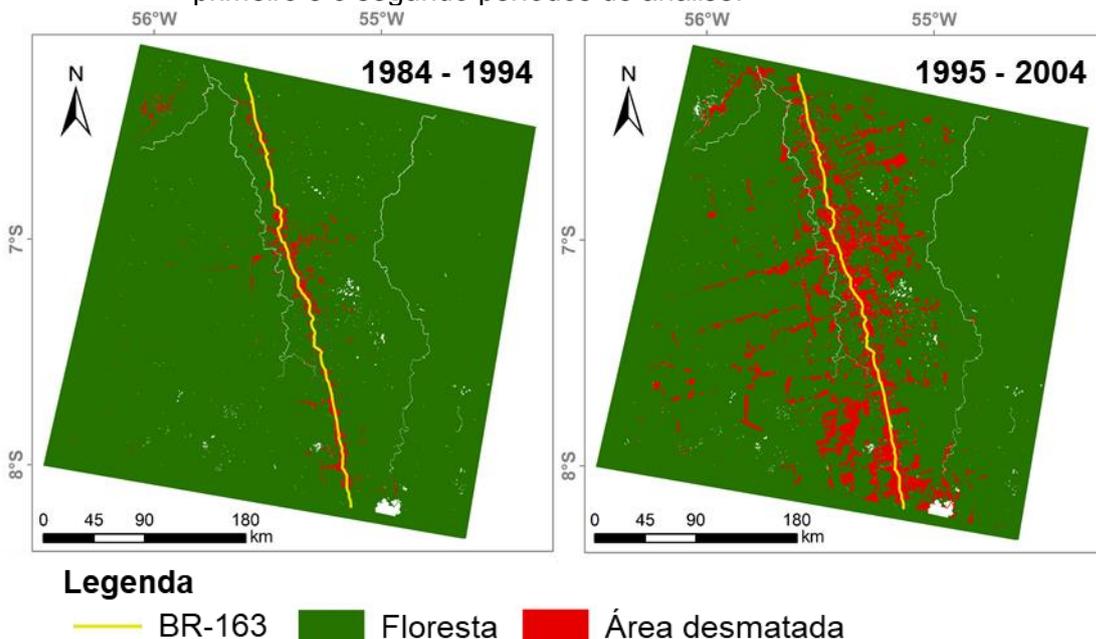
Também neste período, e associado ao processo de colonização, está a remoção da cobertura florestal para ocupação de terras (IPAM, 2006). Com a chegada dos imigrantes, o desmatamento durante este período tinha como principais finalidades, o estabelecimento de agricultura de subsistência e a posse da terra. Adicionalmente, a abertura de novas áreas de floresta dava lugar ao desenvolvimento da infraestrutura local, ao que posteriormente se tornaria o município de Novo Progresso. O desmatamento causado neste período, além de permitir acesso a novas áreas de floresta, iniciou o processo de fragmentação florestal que intensificou a degradação florestal, principalmente devido ao efeito de borda.

A Floresta Amazônica tem a capacidade de manter seu funcionamento estável frente a variações climáticas, porém, quando desmatada e fragmentada, torna-se vulnerável principalmente quando exposta à atividades que propiciam a ocorrência e propagação de fogo (SILVA et al., 2018a). Desta forma, o desmatamento se mostrou um importante fator para a degradação florestal na região, o que é demonstrado nos resultados obtidos no modelo do primeiro período. A variável *proporção de área desmatada* foi a segunda variável com maior contribuição relativa ao modelo, mostrando a forte associação desse processo com a degradação florestal. Adicionalmente, a *distância de áreas desmatadas* também foi um fator que influenciou a degradação neste período, porém, apresentando a menor contribuição relativa entre todas as variáveis incluídas no modelo.

No segundo período, a *distância da BR-163* foi a variável de menor contribuição relativa para o modelo, em contraste com o primeiro período em que essa variável apresentou maior contribuição para o modelo. Em contrapartida, a *distância das estradas vicinais* passa a ser o fator de maior importância para a

intensidade de degradação florestal. Durante este período, a perspectiva de asfaltamento da BR-163 intensificou o processo de ocupação e a atividade madeireira na região (LENTINI et al., 2005; ESCADA et al., 2009). As estradas vicinais passaram a ocupar uma extensão seis vezes maior (4.269km) que no período anterior (686km), aumentando substancialmente o acesso às novas áreas de floresta. Na Figura 5.3 pode-se observar os dois períodos analisados e a expansão do desmatamento, no primeiro período, praticamente limitado às áreas das margens da BR-163 e, no segundo período, se distanciando da área de influência da BR-163. Paralelamente, neste período, ocorreu o aumento de indústrias madeireiras na região (ESCADA et al., 2009). O elevado valor comercial da madeira e um possível esgotamento deste recurso às margens da BR-163 levaram à exploração madeireira nas áreas de floresta mais distantes do núcleo urbano de Novo Progresso e da BR-163. Isso justifica a maior contribuição da variável *distância de estradas vicinais*, que se estabeleceu como a variável de maior influência neste período, e o decaimento da variável *distância da BR-163*, configurando como a variável de menor importância relativa ao período.

Figura 5.3 – Expansão da área desmatada na região de Novo Progresso (PA) entre o primeiro e o segundo períodos de análise.



Fonte: INPE (2005).

O possível esgotamento dos recursos madeireiros às margens da BR-163 também foi observado nas visitas à campo, realizadas no final do terceiro

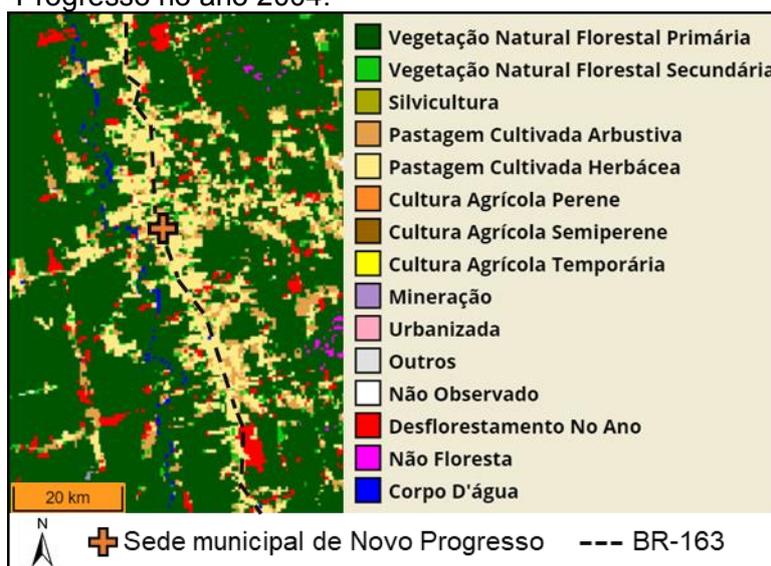
período, em 2017 e 2018. A Figura 5.4a exemplifica as observações de campo em que praticamente não é mais possível visualizar ou identificar no horizonte a cobertura florestal primária às margens da BR-163 na região de Novo Progresso. Nas visitas a campo, foi constatado que a cobertura da terra predominante nas margens da BR-163 era de áreas de pasto, com a ocorrência, em menor frequência, de núcleos urbanos, áreas desmatadas e de agricultura, e vegetação secundária. Os dados de uso e cobertura da terra do projeto TerraClass (INPE, 2019d) para o ano 2004 indicaram que a cobertura da terra na região de Novo Progresso já apresentava características semelhantes ao observado nos campos em 2017 e 2018. Como pode ser observado no mapa apresentado na Figura 5.5, do TerraClass de 2004, predominavam às margens da BR-163, na região de Novo Progresso, as classes Pastagem Cultivada Herbácea, Pastagem Cultivada Arbustiva e Vegetação Natural Florestal Secundária, esta última, em menor proporção.

Figura 5.4 – Fotografias coletadas em expedição de campo das principais coberturas da terra na margem de estradas da região de Novo Progresso (PA). a) Áreas de pasto e indústrias às margens da BR-163. b) Área de pasto às margens de estradas vicinais. c) Área de pasto e fragmentos florestais às margens de estradas vicinais.



Fonte: Produção do autor.

Figura 5.5 – Uso e cobertura da terra às margens da BR-163 na região de Novo Progresso no ano 2004.



Fonte: Adaptada de INPE (2019d).

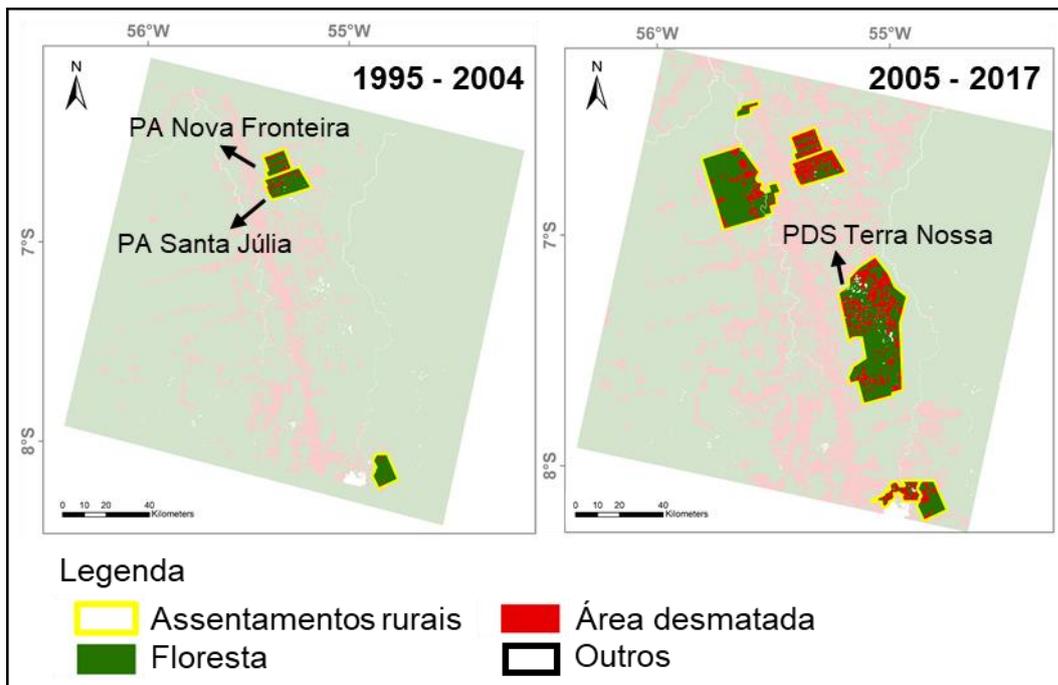
A importância relativa da variável *distância de áreas desmatadas* aumentou no segundo período em relação ao primeiro, tornando-se a variável de segunda maior contribuição para o modelo. O aumento da contribuição da variável relacionada ao desmatamento neste período pode estar associado às elevadas taxas de desmatamento registradas em Novo Progresso, que posicionaram o município como o segundo maior desmatador do estado do Pará (INPE, 2019a), ao mesmo tempo em que aumentava o número de indústria madeireira estabelecida na região (CARVALHO et al., 2002; LENTINI et al., 2005).

Também no segundo período analisado neste trabalho, a variável *distância de assentamentos rurais* apresenta contribuição relativa superior à *distância da BR-163*, porém, inferior à *distância de áreas desmatadas*. Neste período, havia na área de estudo 3 assentamentos rurais de reforma agrária instituídos pelo INCRA nas décadas de 80 e 90, ocupando 62.500 hectares. A influência dos assentamentos sobre a degradação pode estar associada a deficiências na gestão dos assentamentos. Na entrevista realizada com um informante chave, representante do INCRA, foi relatado que, após a criação e ocupação dos assentamentos, o INCRA enfrenta dificuldades operacionais para prover aos assentados assistência no acesso ao crédito rural e instalação da infraestrutura. Devido à essa falta de assistência, o assentado recorre à exploração e venda de madeira como uma fonte de capital no curto prazo (IMAZON, 1996). Tourneau e

Bursztyn (2010) corroboram com os relatos do representante entrevistado do INCRA, e afirmam que este é um problema frequentemente encontrado nos assentamentos rurais da Amazônia. Para Alencar et al. (2016), o acesso limitado ao crédito produtivo estimula a exploração ilegal dos recursos florestais madeireiros como fonte inicial de capital para o estabelecimento produtivo das famílias assentadas.

Os resultados obtidos por Pinheiro (2015) e Pinheiro et al (2016) retratam esta dinâmica em Novo Progresso, segundo os autores, a degradação florestal mapeada em seu trabalho, convertida em corte raso entre 1984 e 2011 caracterizou-se predominantemente por eventos únicos de exploração (ou seja, sem revisita na área para uma nova extração). Os eventos mapeados eram na maioria de baixa intensidade, sugerindo que apenas as madeiras de maior valor agregado eram exploradas. De acordo com os autores, 50% das áreas exploradas foram convertidas a corte raso em menos de um ano. A Figura 5.6 ilustra a área desmatada nos assentamentos rurais nos dois últimos períodos. No terceiro período é possível notar o avanço do desmatamento e esgotamento das áreas de floresta nos Projetos de Assentamento Nova Fronteira e Santa Júlia.

Figura 5.6 – Área desmatada no interior dos assentamentos rurais na região de Novo Progresso nos períodos 2 e 3.



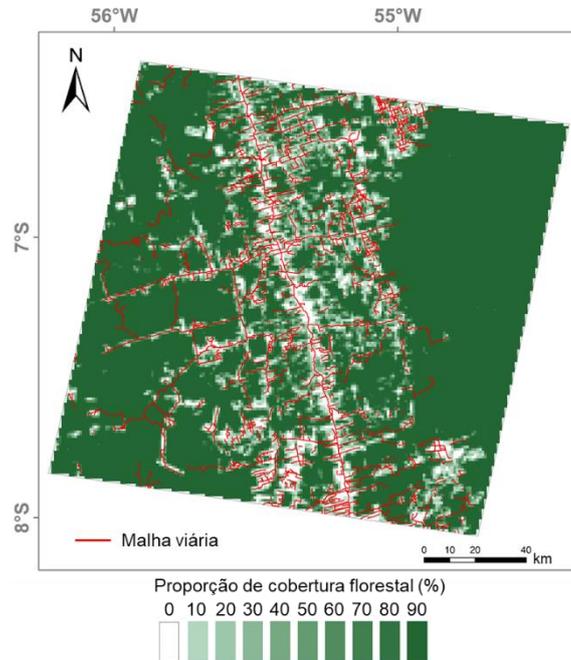
Fonte: Produção do autor a partir dos dados PRODES (INPE, 2019a) e INCRA (2019).

No terceiro período (2005 a 2017), a variável *distância de assentamentos rurais* apresenta uma contribuição relativa ao modelo, inferior ao observado no período anterior. Durante este período foram criados 4 assentamentos na área de estudo que, somados aos assentamentos pré-existentes, totalizam 320.000 hectares. Entre os assentamentos criados neste período está o PDS Terra Nossa, mencionado pelo representante do IBAMA, em entrevista, como um local de constante conflitos violentos entre assentados e grandes fazendeiros, conflitos que envolvem muitas vezes, o assassinato de assentados. Neste assentamento grandes fazendeiros desmatam, particionam lotes e tentam requerer posse dos lotes utilizando nomes de terceiros, geralmente parentes, para concentrarem em si as propriedades. Esses processos são conhecidos e relatados na literatura sobre a Amazônia, como os estudos de Escada (2003); Silva et al (2008); Alencar et al. (2016); Affonso; Escada; Maurano (2017). O INCRA relatou que recebe com frequência pedidos de posse de lotes vizinhos, parcialmente desmatados (para configurar posse), de pessoas com o mesmo sobrenome. Este processo, associado ao aumento do desmatamento nos assentamentos rurais entre os períodos 2 e 3, pode ter contribuído para a redução da contribuição relativa da variável *distância de assentamentos rurais* e simultâneo aumento da contribuição relativa da variável *distância de áreas desmatadas*.

No período de 2005 a 2017, a variável de maior contribuição ao modelo de Novo Progresso, foi *distância de áreas desmatadas*, essa contribuição foi crescente ao longo dos períodos analisados. Neste período, diversas políticas públicas de controle e combate ao desmatamento foram estabelecidas na região, como o PPCDAm e a criação de um mosaico de unidades de conservação na área de estudo. Apesar da redução na taxa de desmatamento observada pelo PRODES neste período, este fator vem, cada vez mais, influenciando a intensidade de degradação florestal deste o primeiro período de análise.

No terceiro período, em Novo Progresso, é possível observar que a BR-163 deixou de ser um fator relacionado com a IDF, e a importância relativa da *distância de estradas vicinais* sofreu redução em relação ao período anterior. A redução da influência das estradas sobre a IDF pode ser associada ao esgotamento dos recursos florestais próximos às estradas (Figura 5.7). Juntamente com o aumento da influência da variável *distância de áreas desmatadas* neste período, as novas vias de acesso à floresta para exploração madeireira podem dar-se através das áreas desmatadas, e não mais apenas pelas estradas como nos períodos anteriores.

Figura 5.7 – Proporção de área de floresta primária e malha viária da região de Novo Progresso (PA) no terceiro período de estudo.



Dados PRODES INPE (2019a)

Fonte: Produção do autor.

No terceiro período, uma nova variável é adicionada ao modelo, a *densidade de focos de calor*, com a de segunda maior contribuição relativa ao modelo do período 3. Os focos de calor não indicam incêndios, necessariamente, porque representam pontos geográficos na superfície do solo acima de 47°C (GONTIJO et al., 2011), entretanto, são um importante indicador de queimadas pois, locais com maior densidade de focos de calor representam, de acordo com sua definição, locais com maior chance de ocorrência de queimadas. A presença desta variável no modelo no terceiro período pode estar relacionada com a disponibilidade dos dados de focos de calor. No primeiro período, o dado de entrada para a produção da variável *densidade de focos de calor* apresentava um total de 997 focos acumulados apenas nos 3 últimos anos do primeiro período, uma vez que os dados foram gerados a partir de 1992. A falta de dados para os anos anteriores a 1992 pode ter afetado essa análise e a variável não entrou no modelo. Entretanto, no segundo período, todos os anos foram avaliados somando 8.646 focos. Apesar desse aumento, diferentemente do que se esperava, o modelo do segundo período não apresentou relação com essa variável. Somente no terceiro período o número de focos de calor torna-se bem mais expressivo, saltando para 32.492 focos. Nesse período essa variável entra no modelo e tem uma contribuição importante. Em outros trabalhos, como no de

Capanema (2017), cujos resultados são analisados e comparados aos resultados obtidos neste estudo na seção 5.4.5, esse é um fator que tem uma contribuição importante e persiste nos períodos de análise. Esses resultados sugerem que a importância do fogo aumenta com o aumento da área desmatada e, provavelmente, com o aumento das áreas de pastagem. Nas áreas de pastagem, o fogo é comumente utilizado para limpeza dos pastos. Com a ampliação dessas áreas de pasto e com o aumento da fragmentação florestal e do efeito de borda (SILVA et al., 2018a) há uma maior exposição da floresta ao fogo e conseqüentemente, aumento das áreas de degradação florestal. Como no final do primeiro e do segundo período analisado, a área desmatada não foi superior a 11,9% (3.227km²) (INPE, 2019a) da área de estudo, esse fator ainda não era tão importante, sendo o corte seletivo a atividade principal relacionada com a intensidade de degradação florestal mapeada. A partir de 2005, com o aumento de áreas desmatadas e do número de focos de calor (MIETTINEN et al., 2016; SILVA et al., 2018a, 2018b), o fogo passa a ser um fator importante, intensificando o processo de degradação florestal.

5.4.4 Os fatores que influenciam a degradação florestal em fronteiras agropecuárias da Amazônia: Sinop (MT) e Novo Progresso (PA)

Conforme mencionado previamente, Capanema (2017) identificou os fatores que influenciaram a degradação florestal, e suas respectivas contribuições relativas, para a fronteira agropecuária da Amazônia na região de Sinop, Mato Grosso. Nesta seção os resultados encontrados pelo presente trabalho, para Novo Progresso, serão discutidos em conjunto com os resultados de Capanema (2017).

Inicialmente, é imprescindível destacar que estas fronteiras, a de Sinop e a de Novo Progresso, possuem históricos de ocupação distintos. A ocupação na região de Sinop foi iniciada antes da década de 70 com um projeto de colonização privado. Na região de Novo Progresso, o processo de colonização se deu de maneira menos planejada, e apesar de ter iniciado na década de 80 só veio ser intensificado no final da década de 90, com a perspectiva de asfaltamento da BR-163. Em contrapartida, a pavimentação da BR-163 na região de Sinop já havia acontecido no final da década de 80, facilitando o acesso dessa

região com as demais regiões do país e, conseqüentemente, promovendo o crescimento da região. Desta forma, no primeiro período de análise (1984 a 1994) essas fronteiras já se encontravam em estágios distintos de desenvolvimento e, portanto, passando por processos distintos. Desta forma, não é esperado haver equivalências entre os períodos de análise e os fatores atuantes sobre a degradação florestal nas duas regiões.

Apesar dos diferentes contextos entre as duas regiões, alguns fatores influenciaram a IDF em ambas as regiões, como o desmatamento, as estradas e o fogo.

As variáveis relacionadas com as estradas em Novo Progresso apresentaram um comportamento característico do início do desenvolvimento da ocupação. O eixo de acesso ao município foi a variável de maior importância no início da ocupação da região. À medida que os recursos florestais na margem da BR foram se esgotando, as estradas vicinais passam a ter maior influência sobre a IDF. Em contrapartida, na região de Sinop, as variáveis relacionadas a distância de estradas, apresenta pouca contribuição à IDF. As estradas se tornam um fator importante em Sinop à medida que o agronegócio é fortalecido na região. Devido às demandas do escoamento da produção do agronegócio, novas estradas são abertas na região de Sinop, facilitando o acesso a novas áreas de floresta.

A redução da contribuição das estradas para a IDF na região de Novo Progresso, associada ao aumento da produção anual da agricultura no município podem ser um indicativo de que, nos próximos anos, aconteça um processo semelhante ao de Sinop. A necessidade de melhor logística para o escoamento da produção poderá promover uma expansão e melhoria das estradas que favoreçam o acesso a novas áreas de floresta, conforme observado em Sinop por Capanema (2017). De maneira semelhante, as estradas podem ter sido um dos fatores mais importantes para a degradação florestal no início do processo de colonização na região de Sinop. Entretanto, este processo não pôde ser observado por Capanema (2017) porque ocorreu antes do primeiro período de análise do autor, ou seja, antes da década de 80.

Os fatores que influenciaram a IDF na região de Novo Progresso representam a falta de governança e controle das atividades madeireiras na região. O exemplo disto pode ser a variável *distância de assentamentos rurais*. Criados com o objetivo de promover a reforma agrária e utilizar a terra para subsistência, com mão de obra familiar, os assentamentos rurais na região de Novo Progresso representaram um fator que tem promovido a degradação da floresta. Em contrapartida, os assentamentos rurais não foram um fator atuante sobre a IDF identificado por Capanema (2017) na região de Sinop. A área ocupada por assentamentos rurais na região de Novo Progresso ultrapassa 320.000ha, mais que o dobro da área de assentamentos rurais na região de Sinop, que é de 124.800ha.

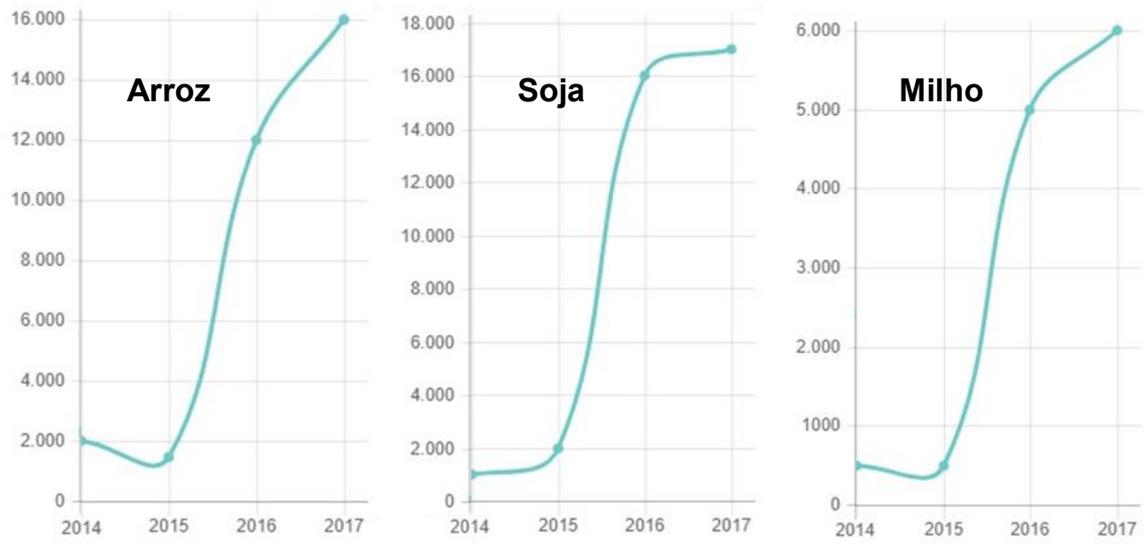
Uma variável que merece atenção nos modelos desenvolvidos para Sinop é a *distância dos planos de manejo florestal*. Reflexo das políticas de regulamentação da atividade madeireira, este fator contribuiu positivamente para a IDF, comprovando a eficácia dos esforços para regular a exploração florestal. Entre os fatores que tenham ocasionado esta eficácia dos planos de manejo na redução da intensidade de degradação, o autor relata que este fato se deve ao esgotamento dos recursos florestais na região. O primeiro plano de manejo florestal em Sinop foi aprovado em 1995, e em 2017 o município conta com mais de 77 planos de manejo aprovados. Na região de Novo Progresso, por sua vez, o primeiro plano de manejo florestal foi aprovado em 2009, mostrando que a região tem uma relação muito mais recente do que Sinop com os planos de manejo. Apesar de haverem 73 planos de manejo aprovados na região de Novo Progresso, estes manejos não foram um fator que influenciou a IDF, refletindo, mais uma vez, a falta de governança e controle das atividades madeireiras na região.

Também é importante ressaltar o comportamento da variável *distância de áreas desmatadas* nas duas fronteiras agropecuárias. Em Novo Progresso a contribuição da variável *distância de áreas desmatadas* foi crescente ao longo de toda a análise. O crescimento da contribuição desta variável entre o primeiro e segundo períodos acompanha o crescimento das taxas de desmatamento na Amazônia durante o segundo período. Entretanto, apesar dos esforços feitos

pelo governo para reduzir o desmatamento na Amazônia, como o PPCDAM e a moratória da soja, a influência negativa deste fator sobre a IDF aumentou, evidenciando mais uma vez a falta de governança na região de Novo Progresso. Em Sinop a influência da *distância de áreas desmatadas* cresceu entre os dois primeiros períodos, acompanhando o crescimento do desmatamento na Amazônia, e reduziu no terceiro período. A redução na contribuição do desmatamento à IDF no último período em Sinop pode estar associada às políticas de combate e controle ao desmatamento instituídas pelo governo brasileiro, ou ainda ao esgotamento dos recursos florestais na região. No final do terceiro período a região de Sinop apresentava menos de 15% de sua cobertura florestal original, enquanto Novo Progresso ainda apresenta 77% de sua cobertura florestal primária.

Nos últimos 5 anos, o cultivo agrícola tem crescido significativamente na região de Novo Progresso (Figura 5.8). Com o atual governo a expectativa é que o cultivo agrícola por grandes proprietários de terras cresça na região de estudo acompanhado de uma falta de efetividade das medidas de combate e controle ao desmatamento. Entretanto, com 77% de floresta remanescente, Novo Progresso tem a oportunidade de aprender com o histórico de Sinop e evitar que o crescimento das áreas agrícolas não acompanhe o esgotamento dos recursos florestais, como em Sinop. Com o delineamento de políticas públicas que considerem as particularidades da região, como as apresentadas neste trabalho, ainda há oportunidade de desenvolver a produção agrícola e pecuária na região de Novo Progresso minimizando a pressão sobre a floresta. Entretanto, como visto nos resultados obtidos neste trabalho, a perspectiva é que este crescimento da produção seja acompanhado de uma ausência na governança e controle das atividades que promovem a remoção da cobertura florestal.

Figura 5.8 – Área plantada (em hectares) com os cultivos de arroz, soja e milho no município Novo Progresso entre 2014 e 2017.



Fonte: Adaptado de IBGE (2019)

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho foi conduzido utilizando dados provenientes de sensoriamento remoto e modelos estatísticos multivariados para contribuir com a discussão e avançar no entendimento do processo de degradação florestal em fronteira agropecuária na Amazônia. Para isto, uma série de dados anuais de degradação florestal de 33 anos foi utilizada para produzir modelos estatísticos. A análise dos modelos permitiu responder a duas questões principais: a primeira delas refere-se à identificação dos principais fatores relacionados com a intensidade da degradação florestal em diferentes períodos do avanço da fronteira agropecuária na região de Novo Progresso, e a segunda refere-se à obtenção e dinâmica temporal da importância dos fatores identificados.

Para que fosse capturada a dinâmica temporal dos fatores que influenciam a degradação florestal foram estabelecidos marcos históricos importantes para a ocupação, uso da terra e atividade madeireira na área de estudo. Os marcos históricos foram estabelecidos a partir de pesquisa bibliográfica, dados gerados por outros autores e dados produzidos pelo programa de monitoramento da Amazônia do INPE. Foram estabelecidos três recortes temporais (1984 a 1994; 1995 a 2004 e 2005 a 2017) que representam diferentes estágios da evolução do uso de recursos florestais na área de estudo.

Os principais fatores que influenciam o processo de degradação florestal, identificados para a região de Novo Progresso, foram a presença de estradas, o desmatamento, o fogo e os assentamentos rurais. Com exceção do fogo, os fatores identificados possuem relação negativa com a degradação, ou seja, intensificam o processo de degradação. Não foram identificados fatores que tendem a diminuir a intensidade de degradação, evidenciando a falta de governança na área de estudo. De acordo com os resultados obtidos, a série de ações para o controle e monitoramento do desmatamento e da exploração madeireira não influenciaram a intensidade de degradação florestal.

O primeiro período (1984 a 1994) representa o início da ocupação da fronteira, marcado, principalmente, pelo desmatamento para a conversão do uso e da cobertura da terra, e ausência de uma cadeia produtiva de base florestal. O fator que apresentou mais relação com a degradação florestal neste período foram as

estradas, em especial, a BR-163, que conectava Novo Progresso às demais partes do Brasil e permitia acesso às áreas de floresta. Neste período o desmatamento também foi um fator relevante.

No segundo período acontece a intensificação da ocupação na região e também do mercado madeireiro. Durante este período os fatores de maior influência sobre a degradação florestal foram as estradas, o desmatamento e os assentamentos rurais. Neste período, a degradação possui uma relação mais significativa com as estradas vicinais, à medida que a BR-163 enfrenta um esgotamento das florestas à sua margem. Também neste período foi introduzida a variável *distância de assentamentos rurais*. Os assentamentos rurais relacionam-se com a degradação florestal a partir da dificuldade do INCRA em atender às demandas dos assentados, que acabam por extrair madeira para adquirirem capital no curto prazo.

No terceiro período os assentamentos rurais permanecem como um importante fator relacionado com a degradação. Entretanto, a variável de maior contribuição foi a distância de áreas queimadas, que apresentou crescimento durante as análises. Uma nova variável foi inserida neste período, relacionado com o fogo florestal. Os resultados obtidos neste trabalho corroboram com o trabalho de Capanema (2017), mostrando que os fatores relacionados com a degradação florestal variam de acordo com os processos ao longo do avanço das regiões fronteiriças.

A partir da abordagem adotada e dos resultados obtidos é possível que o conhecimento destes fatores e sua dinâmica temporal no processo de degradação possam beneficiar o delineamento de políticas públicas de controle à atividade madeireira em regiões com características históricas semelhantes à área de estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFFONSO, A. G.; ESCADA, M. I. S.; MAURANO, L. E. Desflorestamento e concentração de terra nos assentamentos de reforma agrária na Amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18., 2017. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2017. p.4227–4234.
- AGUIAR, A. P. D. **Modelagem de mudança do uso da terra na Amazônia:** explorando a heterogeneidade intrarregional. 2006. 208 p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012.
- ALENCAR, A.; PEREIRA, C.; CASTRO, I.; CARDOSO, A.; SOUZA, L.; COSTA, R.; BENTES, A. J.; STELLA, O.; AZEVEDO, A.; GOMES, J.; NOVAES, R. **Desmatamento nos assentamentos da Amazônia:** histórico, tendências e oportunidades. Belém: IPAM, 2016. 93 p.
- AMARAL, S.; BRIGATTI, N.; DAL’ASTA, A. P.; ESCADA, M. I. S.; SOARES, F. DA R. **“Tem fofoca na currutela”:** núcleos urbanizados e uso da terra de Alta Floresta (MT) ao Crepurizão (PA) na Transgarimpeira. São José dos Campos: INPE, 2012.
- ANDERE, L.; ANDERSON, L. O.; DUARTE, V.; ARAI, E.; ARAGÃO, J.; ARAGÃO, L. E. O. E C. DE. Dados multitemporais do sensor MODIS para o mapeamento de queimadas na Amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015. p. 3534–3541.
- ARIMA, E. Y.; WALKER, ROBERT, T.; PERZ, S. G.; CALDAS, M. Loggers and forest fragmentation: behavioral models of road building in the Amazon basin. **Annals of the Association of American Geographers**, v. 95, n. 3, p. 525–541, 2005.
- ASNER, G. P.; KNAPP, D. E.; BROADBENT, EBEN, N.; OLIVEIRA, P. J. C.; KELLER, M.; SILVA, J. N. Selective logging in the Brazilian Amazon. **Science**, v. 310, n. 5747, p. 480–482, 2005.
- AZEREDO, M.; MIGUEL, A.; MONTEIRO, V.; ISABEL, M.; ESCADA, S.; FERREIRA, K. R.; VINHAS, L.; PINHEIRO, T. F. Mineração de trajetórias de mudança de cobertura da terra em estudos de degradação florestal. **Revista Brasileira de C**, v. 68, n. 4, p. 717–731, 2016.
- BALIEIRO, A. A. D. S. **Deteção de conglomerados dos alertas de desmatamentos no estado do Amazonas usando estatística de varredura espaço-temporal.** 2008. 75 p. Dissertação (Mestrado em Estatística Aplicada e Biometria) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.
- BANON, L. C.; NOVO, E. M. L. M. **Extração da rede de drenagem da Bacia Amazônica por um processo de mineração de dados utilizando MDE-SRTM e avaliação do resultado em aplicações nas áreas de geomorfologia, geologia, ec hidrologia e distribuição de espécies**

(projeto FAPESP 2016/13462-0). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2018. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/amazondrainage>> Acesso em 21 de dezembro de 2018.

BARLOW, J.; LENNOX, G. D.; FERREIRA, J.; BERENGUER, E.; LEES, A. C.; NALLY, R. MAC; THOMSON, J. R.; FERRAZ, S. F. D. B.; LOUZADA, J.; OLIVEIRA, V. H. F.; PARRY, L.; RIBEIRO DE CASTRO SOLAR, R.; VIEIRA, I. C. G.; ARAGAÃO, L. E. O. C.; BEGOTTI, R. A.; BRAGA, R. F.; CARDOSO, T. M.; OLIVEIRA JUNIOR, R.; SOUZA, C. M.; MOURA, N. G.; NUNES, S. S.; SIQUEIRA, J. V.; PARDINI, R.; SILVEIRA, J. M.; VAZ-DE-MELLO, F. Z.; VEIGA, R. C. S.; VENTURIERI, A.; GARDNER, T. A. Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. **Nature**, v. 535, n. 7610, p. 144–147, 2016.

BARLOW, J.; PERES, C. A. Fire-mediated dieback and compositional cascade in an Amazonian forest. **Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 363, n. 1498, p. 1787–1794, 2008.

BECKER, B. K. **Geopolítica da Amazônia**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1982. 121 p.

BECKER, B. K. **Amazônia, Geopolítica na virada do III milênio**. Rio de Janeiro: Garamond, 2004. 172 p. ISBN(8576170426).

BECKER, B. K. Geopolítica da Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 19, n. 53, p. 71–86, 2005.

BEZERRA, O.; VERISSIMO, A.; UHL, C. The regional impacts of small-scale gold mining in Amazonia. **Natural Resources Forum**, v. 20, n. 4, p. 305–317, 1996.

BRANDÃO JUNIOR, A. O.; SOUZA JUNIOR, C. M. Avaliação de imagens Landsat para identificação e extração de estradas madeireiras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005.

BRANDÃO JUNIOR, A. O.; SOUZA JUNIOR, C. M. Mapping unofficial roads with Landsat images: a new tool to improve the monitoring of the Brazilian Amazon rainforest. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, n. 1, p. 177–189, 2006.

BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Decreto de 18 de fevereiro de 2005**: estabelece limitação administrativa provisória nas áreas que especifica da região do entorno da BR-163, no Estado do Pará, nos termos do art. 22-A da Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000. 2005. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2005/Dnn/Dnn10452.htm.

BRASIL. PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. **Decreto de 13 de fevereiro de 2006**: cria a Área de Proteção Ambiental - APA do Tapajós, localizada nos municípios de Itaituba, Jacareacanga, Novo Progresso e Trairão, no Estado do Pará e dá outras providências. 2006. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2004-2006/2006/Dnn/Dnn10765.htm.

BROADBENT, E. N.; ASNER, G. P.; KELLER, M.; KNAPP, D. E.; OLIVEIRA, P.

J. C.; SILVA, J. N. Forest fragmentation and edge effects from deforestation and selective logging in the Brazilian Amazon. **Biological Conservation**, v. 141, n. 7, p. 1745–1757, 2008.

CALDAS, M. C. **Desmatamento na Amazônia: uma análise econométrica de autorelação espacial combinando informações de Sensoriamento Remoto com dados primários**. 2001. 126 p. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

CAPANEMA, V. P. **Fatores de degradação florestal atuantes em diferentes estágios da fronteira agropecuária na Amazônia: estudo de caso na região de Sinop, MT**. 2017. 123 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2017. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3PCNC2S>.
<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m21b/2017/08.02.18.22>

CAPANEMA, V.; PINHEIRO, T.; ESCADA, M. I.; SANT'ANNA, S. Mapeamento de padrões de intensidade da degradação florestal: estudo de caso na região de Sinop, Mato Grosso. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 1, p. 199–225, 2018.

CARDOSO, F. H. **Avança, Brasil: proposta de Governo**. Rio de Janeiro: Centro Edelstein de Pesquisas Sociais, 2008. 172 p. ISBN 9788599662687.

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

CARVALHO, G. O.; NEPSTAD, D.; MCGRATH, D.; DIAZ, M. DEL C. V.; SANTILLI, M.; BARROS, A. C. Frontier expansion in the Amazon: balancing development and sustainability. **Environment: Science and Policy for Sustainable Development**, v. 44, n. 3, p. 34–44, 2002.

CASTRO, F. R. C. **O efeito das queimadas num cenário de Alterações Climáticas: a percepção dos agricultores nos Assentamentos Rurais na Amazônia Legal - Assentamentos São Jorge, Itacira e Pontal**. 2019. 183 p. Tese (Doutorado em Alterações Climáticas e Políticas de Desenvolvimento Sustentável) - Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2019.

CHAVEZ, P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, n. 3, p. 459–479, 1988.

CHEN, G.; POWERS, R. P.; DE CARVALHO, L. M. T.; MORA, B. Spatiotemporal patterns of tropical deforestation and forest degradation in response to the operation of the Tucuruí hydroelectric dam in the Amazon basin. **Applied Geography**, v. 63, p. 1–8, 2015.

DE CARVALHO, A. L.; D'OLIVEIRA, M. V. N.; PUTZ, F. E.; OLIVEIRA, L. C. Natural regeneration of trees in selectively logged forest in western Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 392, p. 36–44, 2017.

DE ESPINDOLA, G. M.; AGUIAR, A. P. D.; PEBESMA, E.; CÂMARA, G.; FONSECA, L. Agricultural land use dynamics in the Brazilian Amazon based on

remote sensing and census data. **Applied Geography**, v. 32, n. 2, p. 240–252, 2012.

DINIZ, A. M. A. Migração e evolução da fronteira agrícola. In: ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 13., 2002. **Anais...** 2002. p. 1–26.

ESCADA, M. I.; MONTEIRO, A. M.; AGUIAR, A. P. D.; CARNEIRO, T. G.; CÂMARA, G. Análise de padrões e processos de ocupação para a construção de modelos na Amazônia: Experimentos em Rondônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 2973–2983.

ESCADA, M. I. S. **Evolução de padrões de uso e cobertura da terra na região Centro-Norte de Rondônia**. 2003. 166 p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.

ESCADA, M. I. S.; AMARAL, S.; RENNÓ, C. D.; PINHEIRO, T. F. **Levantamento do uso e cobertura da terra e da rede de infraestruturas no Distrito Florestal da BR-163**. São José dos Campos: INPE, 2009. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/660907/1/BPD69.pdf>>.

FAHRIG, L. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 34, n. 1, p. 487–515, 2003.

FEARNSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. D. A.; KEIZER, E. W. H.; MALDONADO, F. D.; BARBOSA, R. I.; NOGUEIRA, E. M. Modeling of deforestation and greenhouse-gas emissions in the area of influence of the Manaus - Porto Velho (BR-319) highway. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 208–233, 2009.

FERREIRA, J.; BLANC, L.; KANASHIRO, M.; LEE, A. C.; BOURGOIN, C. **Degradação florestal na Amazônia: como ultrapassar os limites conceituais, científicos e técnicos para mudar esse cenário**. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2015.

FIORINI, A. C. O. **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. 122 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Estratégico) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

FONSECA, M. G.; LIMA, A.; ANDERSON, L. O.; SHIMABUKURO, Y. E.; ARAÇÃO, L. E. O. C. Avaliação preliminar da modelagem de queimadas na Amazônia brasileira utilizando o princípio da Máxima Entropia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa, PB. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2015.

FORMAN, R. T. T. **Land mosaics: the ecology of landscapes and regions**. Cambridge: Cambridge University Press, 1995. 632 p.

FORMAN, R. T. T.; GODRON, M. **Landscape ecology**. New York: John Wiley and Sons, 1986. 619 p.

GEIST, H. J.; LAMBIN, E. F. Proximate causes and underlying driving forces of tropical deforestation. **BioScience**, v. 52, n. 2, p. 143–150, 2002.

GERWING, J.; VIDAL, E. Degradação de florestas pela exploração madeireira e fogo na Amazônia. **Série Amazônia**, v.20, p.26, 2002.

GRAÇA, P. M. L. A. **Monitoramento e caracterização de áreas submetidas à exploração florestal na Amazônia por técnicas de detecção de mudanças**. 2006. 275 p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.

GRAÇA, P. M. L. A.; MALDONADO, F. D.; SANTOS, J. R.; KEIZER, E. W. H. Multi-temporal analysis of radiometric changes in satellite images of forest edges to infer selective-logging areas in the Amazon forest. **Acta Amazonica**, v. 45, n. 1, p. 35–44, 2015.

GROGAN, J.; BARRETO, P.; VERÍSSIMO, A. **Mogno na Amazônia brasileira: ecologia e perspectivas de manejo**. Belém: Imazon, 2002.

HADLEY, A. S.; BETTS, M. G. The effects of landscape fragmentation on pollination dynamics: absence of evidence not evidence of absence. **Biological Reviews**, v. 87, n. 3, p. 526–544, 2012.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo demográfico 2010: nupcialidade, fecundidade e migração - resultados da amostra**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Estatísticas sobre o município de Novo Progresso, Pará**. 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/novo-progresso/panorama>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **IBGE cidades: produção agrícola**. 2017. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/>.

INSTITUTO DE PESQUISA AMBIENTAL DA AMAZÔNIA - IPAM. **Avaliação ambiental integrada do território BR 163**. Belém: IPAM, 2006.

INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA - IMAZON. **A expansão madeireira na Amazônia**. 2.ed. Belém: Imazon, 1996. 199 p.

INSTITUTO DO HOMEM E MEIO AMBIENTE DA AMAZÔNIA - IMAZON. **ImazonGeo: geoinformação sobre a Amazônia**. 2017. Disponível em: <https://imazongeo.org.br/#/>.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Metodologia para criação do PRODES digital e do banco de dados digitais da Amazonia : Projeto Baddam Dados Digitais da Amazônia**. São José dos Campos: INPE, , 2003. 41 p.

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: INPE, 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Projeto Prodes Digital: mapeamento do desmatamento da Amazônia com imagens de satélite**.

Disponível em:

<<http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>>.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **PRODES**: mapeamento do desmatamento da Amazônia com imagens de satélites.

Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/>>.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **DEGRAD**: mapeamento da degradação florestal na Amazônia brasileira. Disponível em:

<<http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/degrad>>.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **DETER** - Sistema de detecção de desmatamento em tempo real. São José dos Campos: INPE, 2019c.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **TerraClass**: uso e cobertura da terra nas áreas desmatadas da Amazônia Legal brasileira.

Disponível em: <<https://www.terraclass.gov.br/webgis/#>>.

JOHNS, A. D. Selective logging and wildlife conservation in tropical rain-forest: problems and recommendations. **Biological Conservation**, v. 31, n. 4, p. 355–375, 1985.

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

KORTING, T. S.; FONSECA, L. M. G.; ESCADA, M. I. S.; SILVA, F. C.; SILVA, M. P. S. GeoDMA: a novel system for spatial data mining. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON DATA MINING WORKSHOPS, 2008. **Proceedings...** IEEE, 2008.

KURY, J. P. N. **Análise dos fatores determinantes e trajetórias da degradação florestal na Amazônia Legal Brasileira**. 2016. 110 p. Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2016.

LACERDA, R. B. **Fazer movimentos**: mobilidade, família e Estado no Sudoeste Paraense. 2015. 242 p. Dissertação (Mestrado Sociologia e Antropologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

LAURANCE, W. F.; CAMARGO, J. L. C.; FEARNSTIDE, P. M.; LOVEJOY, T. E.; WILLIAMSON, G. B.; MESQUITA, R. C. G.; MEYER, C. F. J.; BOBROWIEC, P. E. D.; LAURANCE, S. G. W. An Amazonian rainforest and its fragments as a laboratory of global change. **Biological Reviews**, v. 93, n. 1, p. 223–247, 2018.

LAURANCE, W. F.; FERREIRA, L. V.; MERONA, J. M. R.-D.; LAURANCE, S. G.; HUTCHINGS, R. W.; LOVEJOY, T. E. Effects of forest fragmentation on recruitment patterns in Amazonian tree communities. **Conservation Biology**, v. 12, n. 2, p. 460–464, 1998.

LENTINI, M.; PEREIRA, D.; CELENTANO, D.; PEREIRA, R. **Fatos Florestais da Amazônia 2005**. Belém: Imazon, 2005. Disponível em: <<http://www.imazon.org.br>>.

LENTINI, M.; VERÍSSIMO, A.; SOBRAL, L. **Fatos florestais da Amazônia**

2003. Belém: Imazon, 2003. 110 p. ISBN 85-86212-11-2.

LIMA, R. C.; PENNA, N. A. A logística de transportes do agronegócio em Mato Grosso (Brasil). **Confins - Revista Franco-Brasileira de Geografia**, v. 30, , p. 1–24, 2016.

LIMA, T. A.; BEUCHLE, R.; LANGNER, A.; GRECCHI, R. C.; GRIESS, V. C.; ACHARD, F. Comparing Sentinel-2 MSI and Landsat 8 OLI imagery for monitoring selective logging in the Brazilian Amazon. **Remote Sensing**, v. 11, n. 8, p. 1–21, 2019.

LUND, H. G. **What is a degraded forest?** Rome:FAO, 2009. 39p.

MACHADO, J. S.; LINHARES, A. C. S. V.; CARVALHO, P. A. C.; EVANGELISTA, J. O.; LOUREIRO, G. E. Avaliação da regularização ambiental no controle ao desmatamento em assentamentos do sul e sudeste do Pará. **GeoAraguaia**, v. 9, n. 1, p. 93–105, 2019.

MARTINS, J. S. O tempo da fronteira: retorno à controvérsia sobre o tempo histórico da frente de expansão e da frente pioneira. **Tempo Social**, v. 8, n. 1, p. 25–70, 1996.

MASSOCA, P. E. S. **Ocupação humana e reflexos sobre a cobertura florestal em um assentamento rural na Amazônia Central.** 2010. 76 p. Dissertação (Mestrado em Ciências de Florestas Tropicais) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Belém, 2010.

MATRICARDI, E. A. T.; SKOLE, D. L.; PEDLOWSKI, M. A.; CHOMENTOWSKI, W.; FERNANDES, L. C. Assessment of tropical forest degradation by selective logging and fire using Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, n. 5, p. 1117–1129, 2010.

MENDONÇA, M. J. C.; VERA DIAZ, M. D. C.; NEPSTAD, D.; SEROA DA MOTTA, R.; ALENCAR, A.; GOMES, J. C.; ORTIZ, R. A. The economic cost of the use of fire in the Amazon. **Ecological Economics**, v. 49, n. 1, p. 89–105, 2004.

METZGER, J. P. O que é ecologia da paisagem? **Biota Neotropica**, v. 1, n. 1, p. 1–9, 2001.

MIETTINEN, J.; SHIMABUKURO, Y. E.; BEUCHLE, R.; GRECCHI, R. C.; GOMEZ, M. V.; SIMONETTI, D.; ACHARD, F. On the extent of fire-induced forest degradation in Mato Grosso, Brazilian Amazon, in 2000, 2005 and 2010. **International Journal of Wildland Fire**, v. 25, n. 2, p. 129–136, 2016.

MORTON, D. C.; DEFRIES, R. S.; NAGOL, J.; SOUZA, C. M.; KASISCHKE, E. S.; HURTT, G. C.; DUBAYAH, R. Mapping canopy damage from understory fires in Amazon forests using annual time series of Landsat and MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n. 7, p. 1706–1720, 2011.

MUELLER, C. C. Dinâmica, condicionantes e impactos socioambientais da evolução da fronteira agrícola no Brasil. **Revista de Administração Pública**, v. 26, n. 3, p. 64–87, 1992.

NASCIMENTO, H. E. M.; LAURANCE, W. F. 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**2, v. 36, n. 2, p. 183–192, 2006.

NELSON, B. W. 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 APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 7., 2006, **Anais...** 2006

NELSON, B. W.; KAPOS, V.; ADAMS, J. B.; OLIVEIRA, W. J.; BRAUN, O. P. Forest disturbance by large blowdowns in the Brazilian Amazon. **Ecology**, v. 75, n. 3, p. 853–858, 1994.

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

OLIVEIRA, A. B. DE. **Políticas públicas para o desenvolvimento e para a conservação no Distrito Florestal Sustentável (DFS) da BR-163**. 2011. 168 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável) - Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

ORAVEC, G. S. **Saga dos pioneiros do Pará**: Município de Novo Progresso. Novo Progresso: [s.n.], 1998. 309 p.

PEREIRA, D.; SANTOS, D.; VEDOVETO, M.; GUIMARÃES, J.; VERÍSSIMO, A. **Fatos florestais da Amazonia**. Belém: Imazon, 2010. 124 p. ISBN 9788586212314.

PEREIRA, M. C.; SETZER, A. W. Spectral characteristics of fire scars in Landsat-5 TM images of Amazonia. **Remote Sensing**, v. 14, n. 11, p. 2061–2078, 1993.

PEREIRA, R.; ZWEEDE, J.; ASNER, G. P.; KELLER, M. Forest canopy damage and recovery in reduced-impact and conventional selective logging in eastern Para, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 168, n. 1–3, p. 77–89, 2002.

PFAFF, A.; BARBIERI, A.; LUDEWIGS, T.; MERRY, F.; PERZ, S.; REIS, E. Impactos de estradas na Amazônia brasileira. **Geophysical Monograph Series**, n. 185, p. 101–116, 2009.

PIONTEKOWSKI, V. J.; SILVA, S. S.; MENDOZA, E. R. H.; COSTA, W. L. S.; RIBEIRO, F. C. Modelagem do desmatamento para o Estado do Acre utilizando o programa Dinâmica EGO. SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 4., 2012. Bonito, MS, **Anais...** 2012. p. 20–24.

PINHEIRO, T. F. **Padrões e trajetórias de degradação florestal em fronteiras madeireiras da Amazônia**. 2015. 181 p. Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2015. Disponível em: <http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34P/3KMS44B>>.

PINHEIRO, T. F.; ESCADA, M. I. S.; VALERIANO, D. M.; HOSTERT, P.; GOLLNOW, F.; MÜLLER, H. Forest degradation associated with logging frontier

expansion in the Amazon: the BR-163 region in southwestern Pará, Brazil. **Earth Interactions**, v. 20, n. 17, 2016.

PRINTES, R. C. **Adeus Amazônia: conflitos agrários e socioambientais por trás do desmatamento no sudoeste do Pará**. Curitiba: Prisma, 2017. 173 p. ISBN 9788555077647.

RANGEL PINAGÉ, E.; KELLER, M.; DUFFY, P.; LONGO, M.; DOS-SANTOS, M.; MORTON, D. Long-term impacts of selective logging on Amazon Forest dynamics from multi-temporal airborne LiDAR. **Remote Sensing**, v. 11, n. 6, p. 709, 2019.

RAPER, R. B. Effects of logging on residual stands [in the Philippines]. **BIOTROP Special Publication**, v. 3, 1978.

RAPPAPORT, D. I.; MORTON, D. C.; LONGO, M.; KELLER, M.; DUBAYAH, R.; SANTOS, M. N. DOS. Quantifying long-term changes in carbon stocks and forest structure from Amazon forest degradation. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 6, p. 12, 2018.

REIS, E.; GUZMÁN, R. M. **An econometric model of Amazon deforestation**. Rio de Janeiro: IPEA, 1992.

SATO, L. Y.; MARTINS, F. S. R. V.; CANTINHO, R. Z.; KORTING, T. S.; FONSECA, L. M. G.; ALMEIDA, C.; VALERIANO, D. M. Classificação de áreas exploradas por sistema de corte seletivo na Amazônia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011.

SAWYER, D. R. Ocupación y desocupación de la frontera agrícola en el Brasil: un ensayo de interpretación estructural y espacial. In: CENTRO INTERNACIONAL DE FORMACIÓN EN CIENCIAS AMBIENTALES (CIFCA). **Expansión de la frontera agropecuaria y medio ambiente de América Latina**. [S.l.]: CIFCA, 1983. p. 80–104.

SHIMABUKURO, Y. E.; ARAI, E.; DUARTE, V.; JORGE, A.; SANTOS, E. G.; GASPARINI, K. A. C.; DUTRA, A. C. Monitoring deforestation and forest degradation using multi-temporal fraction images derived from Landsat sensor data in the Brazilian Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, v. 40, n. 14, p. 5475–5496, 2019.

SHIMABUKURO, Y. E.; BEUCHLE, R.; GRECCHI, R. C.; ACHARD, F. Assessment of forest degradation in Brazilian Amazon due to selective logging and fires using time series of fraction images derived from Landsat ETM+ images. **Remote Sensing Letters**, v.5, n.9, p.773-782, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/2150704X.2014.967880>>.

SHIMABUKURO, Y. E.; SMITH, J. A. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, n. 1, p. 16–20, 1991.

SILVA, C. H. L.; ARAGÃO, L. E. O. C.; FONSECA, M. G.; ALMEIDA, C. T.; VEDOVATO, L. B.; ANDERSON, L. O. Deforestation-induced fragmentation increases forest fire occurrence in central Brazilian Amazonia. **Forests**, v. 9, n.

6, 2018a.

SILVA, R. G.; RIBEIRO, C. G. Análise da degradação ambiental na Amazônia Ocidental: um estudo de caso dos municípios do Acre. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 42, n. 1, p. 91–110, 2004.

SILVA, S. S.; FEARNSIDE, P. M.; GRAÇA, P. M. L. A.; BROWN, I. F.; ALENCAR, A.; MELO, A. W. F. Dynamics of forest fires in the southwestern Amazon. **Forest Ecology and Management**, v. 424, p. 312–322, 2018b.

SILVÉRIO, D. V.; BRANDO, P. M.; BUSTAMANTE, M. M. C.; PUTZ, F. E.; MARRA, D. M.; LEVICK, S. R.; TRUMBORE, S. E. Fire, fragmentation, and windstorms: a recipe for tropical forest degradation. **Journal of Ecology**, v. 107, n. 2, p. 656–667, 2019.

SOARES-FILHO, B.; ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.; CERQUEIRA, G.; DEL CARMEN VERA DIAZ, M.; RIVERO, S.; SOLÓRZANO, L.; VOLL, E. Simulating the response of land-cover changes to road paving and governance along a major Amazon highway: the Santarém-Cuiabá corridor. **Global Change Biology**, v. 10, n. 5, p. 745–764, 2004.

SOMBROEK, W. Spatial and temporal patterns of Amazon rainfall. **AMBIO: A Journal of the Human Environment**, v. 30, n. 7, p. 388–396, 2001.

SOUZA, C. M.; ROBERTS, D. A.; COCHRANE, M. A. Combining spectral and spatial information to map canopy damage from selective logging and forest fires. **Remote Sensing of Environment**, v. 98, n. 2–3, p. 329–343, 2005.

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

TRANCOSO, R.; SCHIETTI, J.; FILHO, A. C. Padrões de desflorestamento na Amazônia Legal: diferenças espaciais e temporais das mundaças na cobertura da terra. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 3187–3194.

UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE - UNFCCC. **Key decisions relevant for reducing emissions from deforestation and forest degradation in developing countries (REDD+)**. [S.I.]: UNFCCC, 2016.

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

VENTURIERI, A.; MONTEIRO, M. A.; MENEZES, C. R.C. **Zoneamento ecológico-econômico da zona oeste do Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2010. Disponível em: <<http://books.google.com/books?id=GG4nAQAAIAAJ&pgis=1>>. VERÍSSIMO, A.; LIMA, E.; LENTINI, M. **Pólos madeireiros do estado do Pará**. Belém: Imazon, 2002. 75 p. ISBN 8586212067.

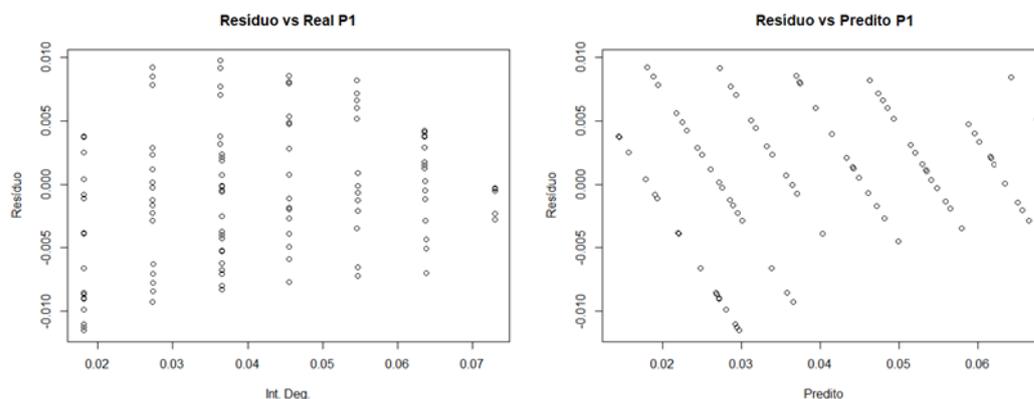
VIEIRA, S.; CAMARGO, P. B.; SELHORST, D.; SILVA, R.; HUTYRA, L.;

CHAMBERS, J. Q.; BROWN, I. F.; HIGUCHI, N.; SANTOS, J.; WOFSEY, S. C.; TRUMBORE, S. E.; MARTINELLI, L. A. Forest structure and carbon dynamics in Amazonian tropical rain forests. **Oecologia**, v. 140, n. 3, p. 468–479, 2004.

APÊNDICE A – DIAGNÓSTICO DA ANÁLISE DE RESÍDUOS

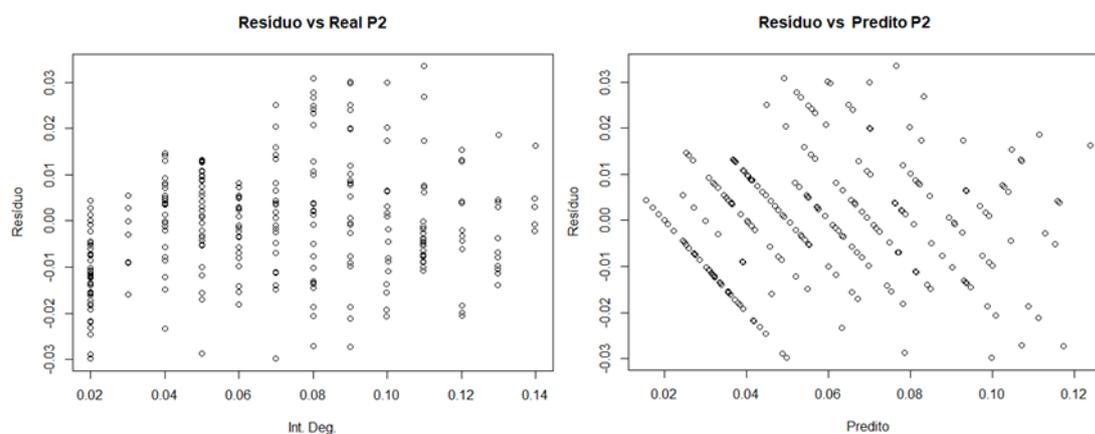
Foi conduzida análise dos resíduos para verificar a adequabilidade dos modelos. A análise de resíduos foi composta pelos testes de normalidade e homocedasticidade apresentados anteriormente e, adicionalmente, pela análise visual dos gráficos de resíduos. As Figuras A.1 a A.6 apresentam os gráficos de dispersão dos resíduos para os períodos 1, 2 e 3, respectivamente.

Figura A.1 – Gráficos de dispersão dos resíduos versus valores preditos pelo modelo e versus valores observados de IDF, respectivamente, para o período 1.



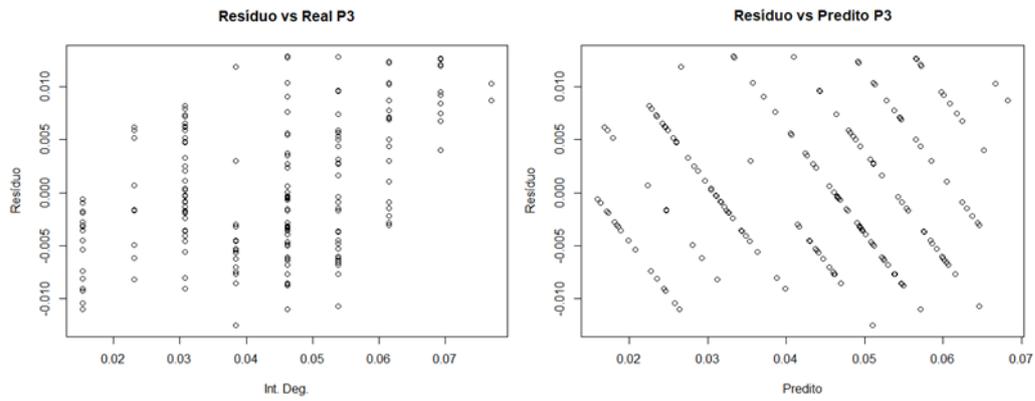
Fonte: Produção do autor

Figura A.2 - Gráficos de dispersão dos resíduos versus valores preditos pelo modelo e versus valores observados de IDF, respectivamente, para o período 2.



Fonte: Produção do autor.

Figura A.3 - Gráficos de dispersão dos resíduos versus valores preditos pelo modelo e versus valores observados de IDF, respectivamente, para o período 3.



Fonte: Produção do autor.

APÊNDICE B - ROTEIRO DE PERGUNTAS APLICADO AOS PRODUTORES OU PROPRIETÁRIOS DE TERRA NA REGIÃO DE NOVO PROGRESSO (PA).

Informações básicas:

(1) Data e Local; (2) Nome do Entrevistador; (3) Nome do entrevistado (3a) Proprietário ou Funcionário. (3b) Cargo e contato. (4) Origem do entrevistado.

Introdução

1. Qual **tamanho** da propriedade (ha/km²)?
2. A área é **contínua** ou são 2 ou mais áreas em **locais diferentes**? Por que? Longe ou perto uma da outra?
3. Utiliza **terra arrendada ou arrenda** para outro produtor?
4. Há **quanto tempo** está ou possui a propriedade?
5. Como **adquiriu**? A propriedade é de família, projeto de assentamento?
6. Você se considera um **extrativista, pequeno (familiar), médio ou grande produtor**?
7. Qual a principal **atividade produtiva** da propriedade? Quantos **hectares** ?
8. E outras atividades? Quantos **hectares** são destinados para **cada**?

Agricultura

1. Quais as principais **culturas perenes** e quais as principais **culturas anuais** e **quantos hectares** para cada uma?
2. Há quanto **tempo cultiva**? Realizava outro **cultivo antes**? Se houve troca do cultivo, qual foi o **motivo**?
3. Qual **motivo da escolha** das culturas (econômico, viabilidade da região, influência dos vizinhos, viabilidade logística, declividades, recursos hídricos, preço da terra, área já desmatada etc.)?
4. Como é feito o **plantio** (direto, mecanizado, rotação, pousio etc)? Há tempo de **descanso do solo**? Quanto tempo e quando? (Pedir para **explicar o sistema**)
5. Realiza o **preparo do solo**? Como (mecanizado, fertilizantes etc) ? Por quê?
6. Como é o **manejo e colheita** das culturas?
7. **Quando** as culturas são **plantadas** e como é o **ciclo** delas (estágios da cultura, tempo das etapas de manejo e colheita)? (entender quais as culturas estão plantadas e qual estágio em **julho, agosto e setembro**)
8. Utiliza sistema **irrigado**?

**APÊNDICE C - ROTEIRO DE PERGUNTAS APLICADO AOS PRODUTORES
OU PROPRIETÁRIOS DE TERRA NA REGIÃO DE NOVO PROGRESSO
(PA).**

Pecuária

1. Quantas **cabeças por hectares** (pastagem)? Qual o **total** de cabeças?
2. Qual o **objetivo da produção** (leite ou corte)? **Tem criação** (cria, engorda)? Quantas cabeças para cada finalidade?
3. A produção (leite ou carne) é para atender o consumo, **o mercado** ou comercializa **apenas o excedente**?
4. **Rotação** de pasto (qual o tempo do gado em cada piquete)?
5. O **pasto é manejado**? Como é feito? (controle com plantas invasoras, adubação, queima e etc.)
6. Tem **confinamento** de gado?
7. Qual a **alimentação** do gado? Tem complementar? (Silagem, aveia, outros)

Geral

1. Utiliza **mão de obra** assalariada?
2. Utiliza **mecanização**?
3. Observa-se o estabelecimento de **novas infraestruturas** (silos, estradas, energia elétrica, empresas etc)? A **partir de quando**? Como tem **lidado** com isso?
4. Tem algum tipo de **assistência técnica**?
5. É **cooperado**? Participa de alguma **associação**? Qual?
6. Participa de algum **projeto do governo**? CONAB, PAA, merenda escolar e etc?
7. Tem acesso ao **crédito rural**? Financiamento? Por quê?

Terra

1. Qual o motivo da **escolha** desta terra?
2. Qual o **preço** da terra na região? O que mais influencia no preço?
3. Houve uma **alta no preço**? Quando percebeu esse aumento? Por quê acha que aumentou?
4. As **terras compradas** foram agregadas a partir de pequenos lotes ou desmembradas a partir de grandes propriedades?
5. Tem intenção em **vender ou de expandir** a terra? Qual motivo? (se sente pressionado em vender)
6. Pretende **intensificar a produção**, investir na mesma terra?
7. Tem interesse de **permanecer** nessa propriedade? por quanto tempo?
8. Há alguma possibilidade/ameaça de que você venha a **perder sua** terra? qual seria?
9. **Você se preocupa com esta possibilidade? Quanto?** de perder esta propriedade, ou parte dela, contra sua vontade nos próximos 5 anos (escala: não há com o que se preocupar, não preocupado, de certa forma preocupado, preocupado, muito preocupado)?

APÊNDICE D - ROTEIRO DE PERGUNTAS APLICADO AO SINDICATO RURAL E SECRETARIA DE AGRICULTURA DE NOVO PROGRESSO (PA).

SINDICATO RURAL/Secretaria de Agricultura

1. **Informações básicas:**
 - (1) Data e Local; (2) Nome do Entrevistador; (3) Nome do entrevistado; (4) Cargo e contato; (5) Formação.
2. Panorama da atuação do Sindicato - área de atuação e região geográfica. Quais as principais atividades do Sindicato junto aos trabalhadores rurais e as principais questões que o Sindicato tem atuado?
3. Quem são os associados (perfil dos associados)? (número de associados); % de comunidades com associados (número de delegados sindicais)
4. De um modo geral, qual o perfil de quem mora no campo atualmente? E quem reside no campo, qual a principal fonte de renda?
5. Mobilidade no campo: na região de atuação do Sindicato, o campo tem "atraído" (de ONDE e POR QUE?) ou "tem provocado o abandono" (PARA ONDE e POR QUE?) a população? (Educação, saúde, Luz para todos?)
6. O Sindicato disponibiliza suplementos e equipamentos agrícolas para auxiliar o trabalhador? E orientação e cursos de capacitação (tanto para homens quanto para mulheres)?
7. Há financiamentos - públicos ou privados - de infraestrutura para as fazendas? Se sim, quais investimentos e de qual tipo e para quais tipos de fazendas (P, M, G - gado, soja, roça, etc..)?
8. Na área de atuação do sindicato, há locais com conflitos de interesses (tensão por terras; áreas protegidas; etc.)? POR QUE? Como o Sindicato tem tentado mediar essas questões?
9. Quanto a regularização de terras, qual a situação na área de atuação do Sindicato (titulação)? (Mais para NP) Qual a proporção de terras com título? Nas áreas não regularizadas qual é o tipo de uso da terra predominante? Qual região tem mais terra regularizada? Qual tem menos?
10. Qual o valor das terras na região? O que valoriza a propriedade? Tem aumentado a procura por terras na região?
11. Qual o preço da terra (preço/ha, se possível)? Em áreas de Floresta em pé, em área recentemente desmatada, em área de pastagem, em área de vegetação secundária, em área com agricultura anual, em área de conflito (FLONA), em áreas onde tem afloramento rochoso, nas áreas próximas da rodovia, em áreas próximas do rio, em áreas em que há conflitos?
12. Como os produtores rurais percebem ou sentem os efeitos das unidades de conservação? Há produtores sindicalizados com terras nas UCs? quantos? (em caso afirmativo. Há demandas específicas destes para o Sindicato? (tem pequenos com representatividade no sindicato)
13. Quais as principais demandas que chegam até o Sindicato? E quais os entraves que o Sindicato encontra para auxiliar os trabalhadores rurais?
14. Com a expansão da pecuária e do agronegócio, como o Sindicato avalia a situação dos pequenos produtores? Eles foram impactados, sofrem algum tipo de pressão? Se beneficiaram com a infraestrutura? Estão vendendo suas terras? Foram incluídos no sistema de produção, sendo contratados ou aderindo a alguma dessas atividades?
15. Como o Sindicato avalia a situação do homem do campo hoje? (Quais seriam as alternativas?) Quais os principais problemas enfrentados por quem mora no campo? E quanto ao futuro, quais as perspectivas do sindicato?

APÊNDICE E - ROTEIRO DE PERGUNTAS APLICADO AO INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA (INCRA).

INCRA

1. Informações básicas:

- (1) Data e Local; (2) Nome do Entrevistador; (3) Nome do entrevistado; (4) Cargo e contato; (5) Formação.
2. Qual é a unidade e qual a região de abrangência da unidade?
3. Qual a principal atuação do INCRA na região de Novo Progresso?
4. Como funciona a criação e delimitação dos assentamentos pelo INCRA?
5. O INCRA tem criado assentamentos na região? Quando e por quê foram criados os assentamentos?
6. Quais assentamentos foram criados mais recentemente? De que tipo? Em que ano? Qual o tamanho dos lotes? O dado dos lotes está disponível (Shape, tabelas)? Tem planos de criar mais algum tipo de Projeto de assentamento na região?
7. Como o INCRA lida com os assentamentos em unidades de conservação?
8. Como o INCRA tem atuado no georreferenciamento dos imóveis rurais? Qual a proporção dos imóveis já georreferenciados? Tem realizado o georreferenciamento de pequenos imóveis como prevê a lei?
9. O INCRA tem auxiliado na titulação dos imóveis rurais? Como?
10. Como é a relação do trabalho do INCRA como o registro dos imóveis nos cartórios? Como funciona?
11. Como o INCRA tem lidado com o problema da grilagem de terras na região? Quais são os maiores desafios?
12. O mercado de terras é afetado pelo trabalho do INCRA? Como?
13. Quais são os principais fatores para a valoração da terra na região?
14. Existem projetos emancipados na região, com terras tituladas? Qual o preço dessa terra? Ha venda das terras do INCRA que ainda não estão tituladas por meio de contrato de gaveta?
15. Qual o preço da terra (preço/ha, se possível)? Em áreas de Floresta em pé, em áreas recentemente desmatadas, em área de pastagem, em área de vegetação secundária, em área com agricultura anual, em área de conflito (FLONA, por exemplo), em área onde tem afloramento rochoso, nas áreas próximas da rodovia, em áreas próximas do rio, nos lotes do INCRA, em áreas em que há conflito.
16. Há alguma diretriz do INCRA para o uso e ocupação do solo? Como o INCRA enxerga a abertura de novas áreas para uso?
17. Quais são as principais linhas de financiamento e para quais atividades nos assentamentos do INCRA? E para as fazendas maiores?
18. Como o INCRA lida com os conflitos por terra? Qual o seu papel?

APÊNDICE F - ROTEIRO DE PERGUNTAS APLICADO AO INSTITUTO CHICO MENDES DE BIODIVERSIDADE (ICMBIO).

- 1. Informações básicas:**
(1) Data e Local; (2) Nome do Entrevistador; (3) Nome do entrevistado (4) Cargo e contato. (5) Formação.
2. Qual é a unidade e qual a região de abrangência da unidade?
3. Qual a atuação e quais são os principais desafios do ICMBio na região de Novo Progresso?
4. Quais foram os principais efeitos da criação da UC na região?
5. A criação da UC ajudou a reduzir o desmatamento e a degradação em Novo Progresso?
6. Como está a negociação para a alteração dos limites das UC's?
7. Como o ICMBio lida com os imóveis rurais que estão dentro da UC, principalmente assentamentos? (por que principalmente os assentamentos?)
8. Como o ICMBio enxerga a criação de mais infraestrutura na região?
9. Na sua opinião, quais são os fatores que mais influenciam o desmatamento na região?
10. Como a comunidade local tem lidado com o trabalho do ICMBio?
11. Como o ICMBio interage com a população na UC e no entorno dela? Quais as principais atividades? Como ICMBio tem auxiliado a gestão de conflitos sobre a posse/limite das terras?
12. Como a venda/compra de terras funciona dentro da UC?
13. Como o ICMBio lida com o mercado de terras?
14. Qual o preço da terra (preço/ha, se possível)? Em áreas de Floresta em pé, em áreas recentemente desmatadas, em área de pastagem, em área de vegetação secundária, em área com agricultura anual, em área de conflito (FLONA, por exemplo), em área onde tem afloramento rochoso, nas áreas próximas da rodovia, em áreas próximas do rio, nos lotes do INCRA, em áreas em que há conflito.

APÊNDICE G - ROTEIRO DE PERGUNTAS APLICADO À EMPRESA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL (EMATER).

EMATER

1. Informações básicas:

- (1) Data e Local; (2) Nome do Entrevistador; (3) Nome do entrevistado; (4) Cargo e contato; (5) Formação.
2. Qual a região de atuação (região geográfica) e efetivo da Emater? (quadro de funcionários; equipamentos; etc.)
 3. A Emater oferece algum tipo de apoio à produção (agrícola e/ou gado) em comunidades? (elencar o tipo de apoio com o tipo de cultura, no caso de produção agrícola; e pastagens – se é plantada, natural; tipo de pastagem; tem manejo – e se é para grandes, pequenos ou médios produtores)
 4. Quais as principais culturas cultivadas no município?
 5. Tem agricultura orgânica na área de atuação da Emater? E a Emater oferece algum apoio?
 6. Há iniciativas de cooperativismo ou de formas de organização para produção e/ou comercialização da produção? Há entraves, limitações para essas iniciativas?
 7. Disponibiliza maquinários?
 8. Quais as principais demandas que chegam à Emater? E quanto a linhas de crédito, como o PRONAF, quais as demandas (bacia leiteira, investimento na propriedade, etc.) e como a Emater atua?
 9. Como a Emater vê a atuação da mulher no campo (nas propriedades)?
 10. Em termos de atividades econômicas, como a Emater avalia a situação de quem mora no campo (pequeno e grandes produtores)? Há alternativas? Quais?
 11. Como a instituição avalia o cenário atual da produção na região de atuação? (Investimentos – públicos e privados/tensões no campo) Mobilidade no “campo”: atração ou abandono (Por que?)?
 12. Como os agricultores, produtores percebem ou sentem os efeitos das unidades de conservação (FLONA, RESEX, TI, REBIO...)?

APÊNDICE H – AUTORIZAÇÃO DE USO DE IMAGEM E SOM INDIVIDUAL ESPECÍFICA.



Monitoramento Ambiental por Satélites no Bioma Amazônia (MSA)

AUTORIZAÇÃO DE USO DE IMAGEM E SOM INDIVIDUAL E ESPECÍFICA

Concessão de direitos de imagem e som para participantes em caráter permanente ou eventual

Pelo presente, AUTORIZO o Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e a Fundação de Ciência, Aplicações e Tecnologia Espaciais (FUNCATE), a utilizarem minha imagem e entrevista para a inserção em relatórios ou materiais de divulgação das ações do Fundo Amazônia, referente ao projeto Monitoramento Ambiental por Satélite no Bioma Amazônia, por meio de mídia impressa, vídeo ou internet.

Pela minha participação em caráter permanente ou eventual e concessão de direitos relativos às fotos, filmagens e gravação, concedo esta autorização em caráter não oneroso e permanente, bem como o direito autoral sobre a obra fotográfica.

Declaro nesta oportunidade não estar registrado como artista no DNMO (MT), face à Lei nº 6.533, de 24 de maio de 1978, participando desta divulgação, nada tendo a reclamar nesta ou noutra oportunidade por eventuais direitos pelo uso e pelo tempo de utilização do material.

Para tanto, firmo a presente.

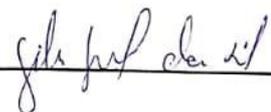
Local: SANTARÉM, PA Data: 19/07/2018

Nome: GILSON LEONARDES DA SILVA

RG: 3034250

Endereço: _____

Telefone: (93) 991729445

Assinatura: 



MCTI



Ministério do
Desenvolvimento, Indústria
e Comércio Exterior

Ministério do
Meio Ambiente

