



**PPG CFT**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS

Mestrado e Doutorado

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA - INPA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DE FLORESTAS**  
**TROPICAIS – CFT**

**PADRÕES, TRAJETÓRIAS E SIMULAÇÃO DO**  
**DESMATAMENTO EM LÁBREA, SUL DO AMAZONAS**

**BEATRIZ FIGUEIREDO CABRAL**

Manaus, Amazonas  
Setembro, 2022

BEATRIZ FIGUEIREDO CABRAL

**PADRÕES, TRAJETÓRIAS E SIMULAÇÃO DO  
DESMATAMENTO EM LÁBREA, SUL DO AMAZONAS**

Orientador: Dr. Philip Martin Fearnside  
Coorientadora: Dra. Aurora Miho Yanai

Dissertação apresentada ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências de Florestas Tropicais.

Manaus, Amazonas  
Setembro, 2022

Catálogo na Publicação (CIP-Brasil)

---

C117p Cabral, Beatriz Figueiredo

Padrões, trajetórias e simulação do desmatamento em Lábrea, Sul do Amazonas / Beatriz Figueiredo Cabral; orientador: Philip Martin Fearnside, coorientadora: Aurora Miho Yanai; - Manaus:[s. l.], 2022.

10MB

122p. : il. color.

Dissertação (Mestrado -Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais – CFT.) - Coordenação do Programa de Pós-Graduação, INPA, 2022.

1. Desmatamento. 2. Preservação ambiental. I. Fearnside, Philip Martin. II. Yanai, Aurora Miho. III. Título

CDD 333.571.3

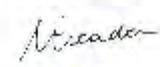
---

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DE FLORESTAS TROPICAIS**

**ATA DE DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO  
MESTRADO**

Ata da Defesa Remota de **BEATRIZ FIGUEIREDO CABRAL**, ocorrido no dia 05/08/2022, via Google Meet.

Aos cinco dias de agosto de 2022, às 16h (horário de Manaus/AM), realizou-se a Defesa Pública de Dissertação de **BEATRIZ FIGUEIREDO CABRAL**, aluna do Programa de Pós-Graduação *Stricto sensu* em Ciências de Florestas Tropicais, intitulada "Padrões, trajetórias e simulação do desmatamento em Lábrea, sul do Amazonas", sob a orientação do Dr. Philip Martin Fearnside (INPA) e coorientação da Dra. Aurora Miho Yanai Nascimento (INPA), em conformidade com o Art. 52 do Regimento Geral da Pós-Graduação do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (MCTI/INPA) e Art. 67 do Regimento Interno do Programa de Pós-Graduação em Ciências de Florestas Tropicais, como parte das atividades para conclusão e obtenção do Título de Mestre em Ciências de Florestas Tropicais. A **Banca Examinadora** foi constituída pelos seguintes membros: Paulo Maurício Lima de Alencastro Graça (INPA), Maria Isabel Sobral Escada (INPE) e Claudia Maria de Almeida (INPE), e tendo como suplentes os seguintes membros: Raoni Guerra Lucas Rajão (UFMG) e Paulo Roberto de Souza Moutinho (IPAM). O Presidente da Banca Examinadora deu início à Seção e informou os procedimentos do exame. A aluna fez uma exposição do seu estudo e ao término foi arguida oralmente pelos membros da Comissão. Após as arguições os membros da banca se reuniram para avaliação e chegaram ao seguinte parecer:

Nome	Parecer	Assinaturas
Paulo Maurício Lima de Alencastro Graça	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovou <input type="checkbox"/> Reprovou	
Maria Isabel Sobral Escada	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovou <input type="checkbox"/> Reprovou	
Claudia Maria de Almeida	<input checked="" type="checkbox"/> Aprovou <input type="checkbox"/> Reprovou	

**Menção:**     "Com Distinção"     "Com Louvor"     "Com Distinção e Louvor"

Nada mais havendo a tratar, foi lavrada a presente Ata que, após lida e aprovada, foi assinada pela Coordenação:

**Philip Martin Fearnside**  
Presidente da Banca / Orientador

**Adriano José Nogueira Lima**  
Coordenador do PPG-CFT  
PO. Nº 163/2021



Philip M. Fearnside  
Presidente da Banca

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Dr. Philip Martin Fearnside, pela oportunidade de trabalhar na Amazônia buscando compreender seus mais complexos processos e por todo o conhecimento passado.

À minha coorientadora, Dra. Aurora Miho Yanai, pela sua contribuição efetiva, atenção minuciosa e dedicação em todos os momentos.

Aos demais pesquisadoras(es), servidoras(es) e funcionárias(os) do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), que me proporcionaram o acesso ao conhecimento necessário para o meu crescimento científico.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de mestrado que possibilitou a realização deste estudo, e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), pelo apoio financeiro na excursão para a região de Lábrea.

Ao Dr. Paulo Maurício, ao José Ribeiro e à Teule Branco, pela parceria durante a excursão pela BR-319 até Lábrea e Boca do Acre.

Ao colega Isaac Junior, pela contribuição com os cálculos e elaboração de *scripts* realizados no programa R.

A todos os colegas do laboratório AGROECO, que compartilharam de seus conhecimentos, especialmente ao técnico Raimundo, pela companhia e conversas durante os dias no laboratório.

Aos meus pais, Cilene e Rogério, e a minha irmã, Ana Luiza, por todo o suporte, paciência e amor, permitindo e incentivando para que eu pudesse buscar mais conhecimento e experiências. A toda a minha família, que sempre me acolheu em minhas escolhas, por mais distantes que elas me levassem. A todas as minhas parcerias de vida em Minas, que me acompanharam nessa jornada. À Danitza, pelo companheirismo e amizade excepcional que construímos ao longo dos anos.

A todas as companheiras(os) que foram família em Manaus, incentivando, cuidando e trazendo muitas reflexões e ideias: Ranara Silva, Jéssica Souza, Carol Miron, Débora Pinheiro, Maíra Conde, Maryane Trindade e demais amigos(as) da turma de mestrado de 2020 do CFT.

[...]

Não sei a que distância e a que tempo estou  
 Da minha realização de ser  
 Só sei que estou aqui  
 Neste mundo manifesto  
 Vivendo a cada instante  
 Como uma barata tonta:  
 Ora sendo ou querendo ser isso  
 Ora sendo ou querendo ser aquilo  
 E no fundo, sendo nada  
 Ou quem sabe  
 Sendo tudo  
 Andei... Andei... Andei...

E no andar fiquei  
 Porque no andar  
 A nenhum lugar se vai  
 E ficando  
 Em todo lugar se está  
 Andei...

E de ilusões vivi  
 porque no andar  
 ilusões se criam  
 e no ficar  
 as ilusões se esvaem  
 Andei... andei...

Andei ficando e ficando andei  
 nesse falso dilema do ser dividido  
 que não sabe se anda ou se fica  
 e nem mesmo em que lugar se está  
 Andei... andei... andei...

Quanto mais tento quebrar esses inexistentes grilhões  
 querendo me aproximar da realidade primordial  
 não percebo que é um jogo ilusório  
 e não preciso tentar me aproximar  
 pois sempre estive dentro dela

Quando estiveres, porém  
 vazio de todas essas coisas  
 e principalmente no vazio de tu mesmo  
 tu então estarás pleno de tudo

Porque o tudo é o vazio de todas essas coisas  
 na plenitude de si mesmo

E o nada é o cheio de todas essas coisas  
 do não ser de si mesmo

Aqui estou, eu, prisioneiro do meu próprio tempo e espaço  
 Comprimido neste corpo esquelético  
 Que apenas tem um lapso de duração que chamam de vida  
 Só criando permanentes conflitos que oscilam a todo instante [...]

*Trecho de Candeeiro (Ildegardo Rosa/Emmanuel Mirdad)*

## RESUMO

Nos últimos anos, a perda de floresta na região amazônica tomou proporções alarmantes, observando-se em 2021 o maior aumento em 13 anos. A compreensão do processo e dinâmica do desmatamento nas diferentes categorias fundiárias permite que a projeção de cenários futuros aborde possíveis mudanças em relação às classes de uso e cobertura da terra. Neste estudo, analisamos os padrões e trajetórias de desmatamento e simulamos as mudanças de uso da terra até o ano de 2080, delimitando um *buffer* de 10 km em volta do município de Lábrea, localizado na região sul do Amazonas. Utilizando os dados do PRODES (Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia por Satélite) de 2008 a 2021, os polígonos de desmatamento por corte raso foram classificados com base em métricas de paisagem e tipologia de ocupação definida para a região (i.e., difuso, linear, espinha de peixe, geométrico, multidirecional e consolidado). Este processo foi realizado por meio de grades celulares com resolução  $10 \times 10$  km. A partir da análise temporal destes padrões, foram avaliadas as diferentes trajetórias do desmatamento. Por fim, os padrões e trajetórias foram associados às diferentes categorias fundiárias e ao processo de ocupação da região. Reivindicações autodeclaradas no Cadastro Ambiental Rural (CAR) são denominadas, embora de forma imprecisa, de “imóveis”. Por meio de um modelo dinâmico espacial, foram simulados cenários futuros para a região de Lábrea até o ano de 2080. Para isso, a área de estudo foi dividida nas seguintes regiões: áreas com imóveis menores que 100 ha, áreas com imóveis maiores que 100 ha, assentamentos rurais, áreas protegidas e terras não destinadas. Com base nas taxas históricas de desmatamento calculadas para cada região no período de 2010 à 2019, foram construídos dois cenários futuros: (i) "Cenário Linha de Base" (LB) que utilizou as taxas (2010-2019) para todo o período da simulação e (ii) "Cenário Com Expansão" (CE) que simulou um aumento das taxas de desmatamento com a construção das rodovias planejadas (i.e., BR-230, BR-317 e AM-165), presumidas a ocorrer no ano de 2045. O aumento das taxas de desmatamento ocorreu para as regiões dos imóveis maiores que 100 ha, áreas protegidas e terras não destinadas. Para este aumento de taxa, foram utilizadas como referência as taxas mais recentes de desmatamento (i.e., de 2015 a 2021). Os resultados sobre os padrões e trajetórias do desmatamento indicaram que a maior parte do território de Lábrea é composta pelo padrão difuso, que se concentra principalmente nas áreas protegidas. Os padrões associados aos níveis mais avançados de ocupação (i.e., multidirecionais e consolidados) foram os que mais contribuíram para o desmatamento. A trajetória observada em Lábrea consiste na consolidação da região sul do município e da expansão para a parte central do município a partir dos ramais do Boi e Jequitibá, importantes vias de acesso cujas margens são ocupadas principalmente por grandes imóveis. A modelagem do desmatamento demonstrou que, no cenário CE, haveria maior área desmatada a partir da construção das rodovias planejadas, impactando principalmente as áreas protegidas e favorecendo o desmatamento nos imóveis sobrepostos às áreas protegidas. Ambos os cenários alertam para a expansão do desmatamento nos imóveis maiores que 100 ha e em terras não destinadas. O cenário CE também alerta que a construção de rodovias irá permitir o acesso a áreas de floresta dentro de áreas protegidas, o que aumenta as chances dessas florestas serem desmatadas e ocupadas ilegalmente.

## ABSTRACT

In recent years the loss of forest in the Amazon region has taken on alarming proportions, with the largest increase in 13 years being observed in 2021. Understanding the process and dynamics of deforestation in different land-tenure categories allows the projection of future scenarios to address possible changes in relation to land-use and land-cover classes. In this study, we analyzed the patterns and trajectories of deforestation and simulated land-use change up to 2080 by delimiting a 10-km buffer around the municipality of Lábrea, located in the southern portion of the state of Amazonas. Using data from PRODES (Project for Monitoring Deforestation in the Amazon by Satellite) from 2008 to 2021, the clear-cut deforestation polygons were classified based on landscape metrics and occupation typologies defined for the region (i.e., diffuse, linear, herringbone, geometric, multidirectional, and consolidated). This process was carried out using cellular grids with  $10 \times 10$ -km resolution. The different trajectories of deforestation were evaluated from the temporal analysis of these patterns. Finally, the patterns and trajectories were associated with different land-tenure categories and the region's occupation process. Self-declared claims in the Rural Environmental Register (CAR) are referred to, albeit inaccurately, as "properties." Using a dynamic spatial model, future scenarios were simulated for the Lábrea region up to the year 2080. For this, the study area was divided into the following regions: areas with properties smaller than 100 ha, areas with properties larger than 100 ha, rural settlements, protected areas, and undesignated lands. Based on the deforestation rates calculated for each region for the period from 2010 to 2019, two future scenarios were constructed: (i) "Baseline Scenario" (LB), which used the historical rates (2010-2019) for the entire simulation period and (ii) "Expansion Scenario" (CE) which simulated an increase in deforestation rates with the construction of the planned highways (i.e., BR-230, BR-317 and AM-165), which is assumed to occur in the year 2045. The increase in deforestation rates occurred for the regions of properties larger than 100 ha, protected areas, and undesignated lands. For this rate increase, the most recent deforestation rates (i.e., from 2015 to 2021) were used as the reference. The results for deforestation patterns and trajectories indicated that most of the territory of Lábrea is composed of the diffuse pattern, which is mainly concentrated in protected areas. The patterns associated with the most advanced levels of occupation (i.e., multidirectional, and consolidated) were those that most contributed to deforestation. The trajectory observed in Lábrea consists of consolidation in the southern portion of the municipality and expansion into the central part of the municipality from the Boi and Jequitibá access roads, which are mainly occupied by large properties. The modeling of deforestation showed that in the CE scenario there would be a larger area deforested after the construction of the planned roads, impacting mainly the protected areas and favoring deforestation on properties overlapping the protected areas. Both scenarios warn of an expansion of deforestation on properties larger than 100 ha and on undesignated lands. The CE scenario also warns that road construction will allow access to forests within protected areas, which increases the chances of these forests being deforested and illegally occupied.

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS .....	5
RESUMO .....	7
ABSTRACT .....	8
LISTA DE SIGLAS .....	11
LISTA DE FIGURAS .....	12
LISTA DE TABELAS .....	15
INTRODUÇÃO GERAL .....	17
OBJETIVOS.....	19
Objetivo Geral .....	19
Objetivos Específicos .....	19
CAPÍTULO 1 .....	20
Análise dos Padrões e Trajetórias do Desmatamento.....	20
INTRODUÇÃO.....	21
MATERIAL E MÉTODOS.....	23
Área de estudo .....	23
Expedição de campo.....	25
Metodologia.....	27
Elaboração de mapas de desmatamento e definição da tipologia de ocupação...	27
Classificação dos padrões de desmatamento .....	30
Definição das trajetórias de ocupação .....	36
RESULTADOS .....	39
Análise dos padrões de ocupação .....	39
Análise das trajetórias de desmatamento.....	42
Análise temporal da evolução das trajetórias de desmatamento .....	45
DISCUSSÃO .....	51
CONCLUSÃO.....	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	59
CAPÍTULO 2 .....	64
Modelagem do Desmatamento .....	64
INTRODUÇÃO.....	65
MATERIAIS E MÉTODOS.....	67
Definição dos cenários simulados .....	67
Modelo espacial de cenários futuros.....	68
Elaboração dos dados espaciais de entrada .....	69

	10
Mapas da paisagem.....	70
Mapa das regiões.....	71
Mapas de atratividade e fricção .....	72
Mapas das variáveis estáticas e dinâmicas.....	74
Parametrização .....	76
Cálculo das taxas de transição .....	76
Coeficientes dos Pesos de Evidência .....	78
Calibração.....	79
Validação.....	80
RESULTADOS .....	83
Resultados gerais para a simulação dos cenários na área de estudo.....	83
Resultados da simulação para as regiões de Lábrea .....	87
DISCUSSÃO .....	91
CONCLUSÃO.....	98
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	99
CONCLUSÃO GERAL .....	104
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	105
APÊNDICES .....	107
Capítulo 1: Análise dos Padrões e Trajetórias do Desmatamento .....	107
Apêndice A: Métricas de Paisagem .....	107
Apêndice B: Tipologia dos padrões de desmatamento .....	109
Apêndice C: Resultados da classificação dos padrões e trajetórias do desmatamento para a resolução celular de 05×05km e 15×km.....	110
Apêndice D: Matrizes de confusão anuais para a grade celular 10×10km.....	114
Capítulo 2: Modelagem do desmatamento .....	116
Apêndice E: Obtenção das categorias fundiárias para o município de Lábrea..	116

## LISTA DE SIGLAS

APP – Área de Preservação Permanente

AST – Assentamentos

CAR – Cadastro Ambiental Rural

CE – Cenário de Expansão

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IMAFLOA – Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IRU – Imóveis Rurais

FLONA – Floresta Nacional

LB – Linha de Base

PA – Projeto de Assentamento

PARNA – Parque Nacional

PCT – Povos e Comunidades Tradicionais

PDS – Projeto de Desenvolvimento Sustentável

PRODES – Projeto de Monitoramento do Desmatamento

RL – Reserva Legal

SICAR – Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural

SIGEF – Sistema de Gestão Fundiária

SIGMINE – Sistema de Informação Geográfica da Mineração

SNCI – Sistema Nacional de Certificação de Imóveis

TI – Terra Indígena

UCUS – Unidade de Conservação de Uso Sustentável

UCPI – Unidade de Conservação de Proteção Integral

## LISTA DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1: Padrões e Trajetórias do Desmatamento

Figura 1-1. Mapa de localização de área de estudo, município de Lábrea-AM.....	23
Figura 1-2. Incremento anual do desmatamento para o município de Lábrea no período de 2008 a 2021 (INPE, 2021). O ano de 2021 em destaque se refere ao desmatamento estimado a partir das cenas prioritárias.....	25
Figura 1-3. Localização das regiões visitadas durante a expedição de campo no município de Lábrea-AM. ....	26
Figura 1-4. Paisagem observada durante a expedição pelo ramal do Boi (esquerda). Placa identificando a Terra Indígena Apurinã-km 124 no trecho da BR-317 (direita). .	26
Figura 1-5. Esquema geral da metodologia para classificação das trajetórias de ocupação. ....	27
Figura 1-6. Fluxograma com as etapas da mineração de dados utilizando o plugin GeoDMA. (Adaptado de Körting <i>et al.</i> , 2008).....	31
Figura 1-7. Árvore de decisão gerada pelo classificador para a grade celular de 10 km × 10 km. ....	32
Figura 1-8. Trajetórias de mudança: Consolidação e Expansão (Adaptado de GAVLAK, 2011).....	37
Figura 1-9. Trajetórias de não mudança: Difuso, Consolidado e Outros (Adaptado de Gavlak, 2011). ....	38
Figura 1-10. Mapas de classificação dos padrões de ocupação para os anos de 2008, 2013, 2017 e 2021 para o município de Lábrea-AM.....	39
Figura 1-11. Evolução das quantidades de células classificadas (%) por cada tipo de padrão de desmatamento para os anos de 2008, 2013, 2017 e 2021. ....	40
Figura 1-12. Evolução da proporção da área desmatada acumulada (%) para cada padrão nos anos de 2008, 2013, 2017 e 2021.....	41
Figura 1-13. Mapa final das trajetórias de desmatamento de 2008 a 2021 para o município de Lábrea-AM. A trajetória de não mudança “Outros” é representada pelos padrões espinha de peixe, geométrico, linear e multidirecional.....	43
Figura 1-14. Proporção do número de células em relação à área desmatada para cada trajetória do ano de 2008 a 2021 em Lábrea. ....	44
Figura 1-15. Mapas da evolução das trajetórias de ocupação para os períodos de 2008-2013, 2013-2017, 2017-2021 para o município de Lábrea-AM.....	46
Figura 1-16. Distribuição percentual das trajetórias de ocupação no município de Lábrea nos períodos de 2008 a 2013, 2013 a 2017 e 2017 a 2021.....	47
Figura 1-17. Evolução dos padrões de ocupação que compõem as trajetórias de não mudança (i.e., outros) no município de Lábrea nos períodos de 2008 a 2013, 2013 a 2017 e 2017 a 2021.....	49
Figura 1-18. Comparativo entre os resultados do estudo de Maurano <i>et al.</i> (2019) para o ano de 2014 (acima) e o mapa dos padrões de desmatamento para o ano de 2013 deste estudo (abaixo). ....	52
Figura 1-19. Mapas das regiões de avanço das trajetórias em consolidação para o município de Lábrea de 2008 a 2021. ....	53

Figura 1-20. Evolução das células com padrão multidirecional na região sul de Lábrea para os anos de 2008, 2013, 2017 e 2021. Os retângulos ressaltam as áreas onde observamos a ocorrência do padrão de desmatamento multidirecional. ....	54
Figura 1-21. Fotografia evidenciando a atividade pecuária no ramal do Boi, município de Lábrea-AM. ....	55

## CAPÍTULO 2: Modelagem Dinâmica Espacial do Desmatamento em Lábrea

Figura 2-1. Fluxograma das etapas metodológicas para modelagem do desmatamento. ....	67
Figura 2-2. Descrição dos cenários simulados. ....	68
Figura 2-3. Esquema das etapas gerais do modelo de simulação para Lábrea (adaptado de SOARES-FILHO, 1998). ....	69
Figura 2-4. Mapas da paisagem para os anos 2010, 2014, 2015, 2019 e 2021 da área de estudo. ....	70
Figura 2-5. Mapa das regiões. ....	71
Figura 2-6. Mapas de atratividade e fricção com seus respectivos valores. ....	73
Figura 2-7. Mapa das rodovias estaduais e federais planejadas para o município de Lábrea – AM. ....	74
Figura 2-8. Gráfico das taxas anuais de desmatamento nos anos de 2008 até 2021 para os imóveis maiores que 100 ha, áreas protegidas e terras não destinadas. ....	78
Figura 2-9. Resultados da validação aplicando o método da similaridade mínima (a) e máxima (b) na comparação entre o mapa simulado e o real e o mapa nulo e o real. ....	81
Figura 2-10. Gráficos das áreas de desmatamento acumulado e floresta remanescente ao longo dos anos para os cenários “Linha de Base” (a) e “Com Expansão” (b). Os valores no ano de 2021 representam as áreas reais observadas. ....	84
Figura 2-11. Mapas simulados para os anos de 2050 e 2080 no cenário “Linha de Base” para toda a área de estudo. ....	85
Figura 2-12. Mapas simulados para os anos de 2050 e 2080 no cenário “Com Expansão” para toda a área de estudo. ....	86
Figura 2-13. Gráficos da área de floresta remanescente e desmatamento para os imóveis menores que 100 ha nos cenários LB (a) e CE (b), e para os assentamentos também nos cenários LB (c) e CE (d). As áreas observadas para o ano de 2021 se referem aos mapas reais. ....	88
Figura 2-14. Gráficos da área de floresta remanescente e desmatamento para os imóveis maiores que 100 ha nos cenários LB (a) e CE (b). O ano de 2021 representa os valores reais de floresta e desmatamento. ....	89
Figura 2-15. Gráficos da área de floresta remanescente e desmatamento para áreas protegidas nos cenários LB (a) e CE (b). O ano de 2021 representa os valores reais de floresta e desmatamento. ....	90
Figura 2-16. Gráficos da área de floresta remanescente e desmatamento acumulado para as terras não destinadas nos cenários LB (a) e CE (b). O ano de 2021 representa os valores reais para floresta e desmatamento. ....	90
Figura 2-17. Representação do desmatamento em áreas protegidas próximo às estradas simuladas e dentro dos imóveis sobrepostos para o cenário CE no ano de 2080. ....	92
Figura 2-18. Representação do desmatamento em áreas protegidas próximo às estradas simuladas e dentro dos imóveis sobrepostos para o cenário LB no ano de 2080. ....	93

Figura 2-19. Mapa da consolidação das porções localizadas na região sul do município de Lábrea para o ano de 2080, a partir da projeção do cenário CE. ....	94
Figura 2-20. Regiões de expansão do desmatamento relatadas por Tomasi e Galeão (2016), e observadas nos cenários LB e CE do nosso estudo para o ano de 2050. ....	95
Figura 2-21. Comparativo entre os resultados do cenário GOV com UCs recém criadas PGD de Vitel (2009) (a) e o cenário “Linha de Base” do nosso estudo para o ano de 2040 (b). ....	96

## APÊNDICES

### Capítulo 1: Padrões e Trajetórias do Desmatamento

Figura C-1. Mapas dos padrões de desmatamento para os anos de 2008, 2013, 2017 e 2021 no espaço celular de 05×05km para o município de Lábrea – AM. ....	110
Figura C-2. Mapa final das trajetórias de ocupação para o período de 2008 a 2021 no espaço celular de 05×05km para o município de Lábrea-AM. ....	110
Figura C-3. Mapas da evolução das trajetórias de ocupação para os períodos de 2008-2013, 2013-2017, 2017-2021 no espaço celular de 05×05km para o município de Lábrea – AM. ....	111
Figura C-4. Mapas dos padrões de desmatamento para os anos de 2008, 2013, 2017 e 2021 no espaço celular de 15×15km para o município de Lábrea – AM. ....	112
Figura C-5. Mapa final das trajetórias de ocupação para o período de 2008 a 2021 no espaço celular de 15×15km para o município de Lábrea-AM. ....	112
Figura C-6. Mapas da evolução das trajetórias de ocupação para os períodos de 2008-2013, 2013-2017, 2017-2021 no espaço celular de 15×15km para o município de Lábrea – AM. ....	113

## LISTA DE TABELAS

### CAPÍTULO 1: Padrões e Trajetórias do Desmatamento

Tabela 1-1. Tipologia dos padrões de desmatamento associados à ocupação humana na resolução celular de 10 × 10 km para o município de Lábrea (branco = floresta, cinza = desmatamento).....	30
Tabela 1-2. Matriz de confusão das amostras de validação utilizadas na classificação dos padrões de desmatamento para o município de Lábrea para os quatro anos analisados (2008, 2013, 2017 e 2021). (Con.: Consolidado; Di.: Difuso; Es.P.: Espinha de Peixe; Flo.: Floresta; Ge.: Geométrico; Li: Linear; Mul: Multidirecional; P: Acurácia do Produtor; U: Acurácia do Usuário; ET: Exatidão Total).....	34
Tabela 1-3. Valores de exatidão total e coeficiente Kappa para os anos de 2008, 2013, 2017 e 2021. ....	36
Tabela 1-4. Evolução da área acumulada desmatada, em hectares, para cada padrão de desmatamento no município de Lábrea até os anos 2008, 2013, 2017 e 2021.....	41
Tabela 1-5. Área total desmatada, em hectares, para cada trajetória do desmatamento de 2008 a 2021 no município de Lábrea. ....	44
Tabela 1-6. Porcentagens de células e desmatamento para os padrões de ocupação que compõem a trajetória final denominada de “Outros”. ....	45
Tabela 1-7. Evolução da área acumulada desmatada, em hectares, para cada trajetória de desmatamento no município de Lábrea nos anos 2013, 2017 e 2021. ....	48
Tabela 1-8. Evolução da área de desmatamento acumulado, em hectares, para cada trajetória de desmatamento no município de Lábrea nos anos 2013, 2017 e 2021. ....	49

### CAPÍTULO 2: Modelagem Dinâmica Espacial do Desmatamento em Lábrea

Tabela 2-1. Variáveis utilizadas no modelo e as respectivas fontes indicando onde os dados foram obtidos. ....	75
Tabela 2-2. Taxas de desmatamento anuais por região para o período de 2010 a 2019 com os respectivos valores de correção.....	76
Tabela 2-3. Fatores de correção para as taxas de referência utilizadas para os imóveis maiores que 100 ha, áreas protegidas e terras não destinadas. ....	78
Tabela 2-4. Comparação das áreas de mudança entre o mapa real e simulado. ....	81
Tabela 2-5. Áreas (em km <sup>2</sup> ) e porcentagens das classes do PRODES para o mapa real (2021) e os mapas simulados para o ano de 2080 em relação aos cenários LB e CE para toda a área de estudo (i.e., município de Lábrea incluindo o <i>buffer</i> de 10 km <sup>2</sup> ). ....	83
Tabela 2-6. Áreas de floresta e desmatamento (em km <sup>2</sup> ) observadas para o ano de 2021 (real) e as áreas simuladas para os cenários LB e CE nas regiões de Lábrea até o ano de 2080. ....	87

### APÊNDICES

#### Capítulo 1: Padrões e Trajetórias do Desmatamento

Tabela A-1. Descrição das métricas de paisagem da análise dos padrões e trajetórias do desmatamento para o município de Lábrea – AM.....	107
Tabela B-1. Tipologia dos padrões de desmatamento associados a ocupação humana nas células com resolução 05×05 e 15×15 km para o município de Lábrea. (branco = floresta, cinza = desmatamento) .....	109

## Capítulo 2: Modelagem Dinâmica Espacial do Desmatamento em Lábrea

Tabela E-1. Descrição e fonte de obtenção das categorias fundiárias para elaboração do mapa das regiões para modelagem. .... 117

## INTRODUÇÃO GERAL

No último triênio (i.e., de 2019 a 2021), o desmatamento anual aumentou 56,6% quando comparado aos anos de 2016 a 2018 no bioma Amazônia, ultrapassando 10 mil km<sup>2</sup> ao ano (Alencar *et al.*, 2022). No ano de 2021 o estado do Amazonas disparou para a segunda colocação no *ranking* dos estados mais desmatados em toda Amazônia Legal, assumindo a posição histórica que até então era ocupada por Mato Grosso, e permanecendo atrás somente do estado do Pará (INFOAMAZONIA, 2022).

O desmatamento na Amazônia Legal está concentrado principalmente em terras públicas não destinadas, assentamentos e imóveis privados. No ano de 2019, 46% do desmatamento na Amazônia Legal ocorreu em terras privadas segundo análise realizada pelo Instituto de Pesquisa Ambiental na Amazônia (IPAM), com base nos dados de desmatamento do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (Alencar *et al.*, 2020). Entre os anos de 2019 e 2021 foram derrubados 11,8 mil km<sup>2</sup> de floresta em Terras Públicas Não Destinadas (i.e., as chamadas terras devolutas<sup>1</sup>), que se dividem em Florestas Públicas Não Destinadas (FPNDs)<sup>2</sup> e em Outras Terras Públicas Não Destinadas (OTPNDs)<sup>3</sup> (Salomão *et al.*, 2021; Alencar *et al.*, 2022). A Amazônia apresenta ainda 49,8 milhões de hectares de florestas públicas não destinadas, das quais 23% estavam cadastradas no Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR). Estas áreas ocupadas irregularmente contribuem para o agravamento da situação fundiária da região amazônica (Azevedo-Ramos *et al.*, 2020).

Nos últimos anos este avanço do desmatamento se concentrou principalmente no leste do Acre, norte de Rondônia e sul do Amazonas, que compõem a zona de integração AMACRO, ou a recentemente renomeada Zona de Desenvolvimento Sustentável (ZDS) Abunã-Madeira. Esta última criada sob apoio do governo Bolsonaro com a justificativa de promover a sustentabilidade ambiental por meio do desenvolvimento econômico dos 32 municípios que integram essa região (SUDAM, 2021). Todavia, a projeção de uma possível potência do agronegócio nessa região é precedida pela intensificação da

---

<sup>1</sup> As terras devolutas são áreas públicas que não possuem destinação pelo poder público e que em nenhum momento integraram o patrimônio articular, ainda que estejam sob sua posse irregular.

<sup>2</sup> As Florestas Públicas Não Destinadas (FPNDs) ocorrem em glebas arrecadadas pela União ou por Estados, registradas no Cadastro Nacional de Florestas Públicas (CNFP) e geridas pelo Serviço Florestal Brasileiro (SFB).

<sup>3</sup> As Outras Terras Públicas Não Destinadas e sem informação (OTPNDs) surgem da premissa que uma parte das terras públicas com florestas ainda não consta no Cadastro Nacional de Florestas Públicas do SFB.

violência no campo, pelo avanço do desmatamento e pela invasão de terras públicas (CPT, 2021; IMAZON, 2022; IPAM, 2021).

O município de Lábrea está localizado no sul do estado do Amazonas, e se consolida como uma das principais regiões com intensa perda de floresta na ZDS Abunã-Madeira nos últimos anos. Este município está inserido próximo à uma extensa área de florestas não destinadas, o Trans-Purus, localizado na porção oeste do Amazonas, em grande parte não explorado devido à falta de acessibilidade por estradas, o que confere aos processos de ocupação que ocorrem em Lábrea, importante papel nos cenários futuros da região (Fearnside, 2017; 2018; Fearnside *et al.* 2020).

Diante do exposto, a análise de padrões e trajetórias do desmatamento possibilita um melhor entendimento sobre as formas de ocupação dos agentes responsáveis pelo desmatamento, associando aspectos relacionados às formas e aos arranjos dos polígonos de desmatamento com diferentes atores e estágios de ocupação (Mertens e Lambin, 1995; Silva *et al.*, 2008). A compreensão das dinâmicas do desmatamento no tempo presente contribui para que projeções de cenários futuros reproduzam parâmetros que são observados através da classificação dos padrões e trajetórias de ocupação. Assim, a modelagem dinâmica espacial, que são abstrações ou aproximações da realidade, ao considerar variáveis relacionadas aos diferentes tipos de atores e categorias fundiárias, permite auxiliar a detectar a presença de novos fatores associados ao desmatamento na região, possibilitando, assim, que tomadores de decisão e organizações governamentais destinem seus esforços na construção de políticas voltadas para controlar estas ações e o impacto delas na floresta (Briassoulis, 2000; West *et al.*, 2018).

Esta dissertação foi dividida em dois capítulos que abordam as análises realizadas. No Capítulo 1, foram descritas as análises dos padrões e trajetórias do desmatamento para o período de 2008 a 2021 na região de Lábrea. No Capítulo 2, foram simulados cenários até o ano de 2080 representando possíveis mudanças do uso e cobertura da terra, analisando as projeções futuras nas diferentes categorias fundiárias.

## OBJETIVOS

### Objetivo Geral

Este trabalho teve como objetivo definir os padrões e trajetórias do desmatamento para o município de Lábrea e simular a perda de floresta no período de 2021 a 2080, considerando os diferentes atores (i.e., imóveis maiores e menores que 100 ha) e categorias fundiárias (i.e., assentamentos, áreas protegidas e terras não destinadas) existentes na região.

### Objetivos Específicos

- Analisar os padrões de desmatamento e as trajetórias de ocupação de 2008 a 2021, associando a uma tipologia de ocupação.
- Desenvolver um modelo de simulação do desmatamento que considera os atores (i.e., imóveis rurais maiores e menores que 100 ha) e as categorias fundiárias de modo regionalizado.
- Elaborar dois cenários que representem a mudança de cobertura da terra até 2080: (i) Linha de base: considera taxas históricas de desmatamento de 2010 a 2019 e sem a construção de rodovias planejadas (BR-230, BR-317 e AM-175) e (ii) Com Expansão: simula um aumento nas taxas de desmatamento para os imóveis maiores que 100 ha, áreas protegidas e terras não destinadas com a construção das rodovias planejadas para o ano de 2045 (BR-230, BR-317 e AM-175).

## CAPÍTULO 1

---

Análise dos Padrões e Trajetórias do Desmatamento

## INTRODUÇÃO

Nos últimos anos o município de Lábrea, localizado no sul do estado do Amazonas, se destacou pelo crescente avanço do desmatamento. Recentemente, o Sistema de Emissões e Remoções de Gases do Efeito Estufa (SEEG) divulgou que Lábrea foi o quarto município que mais contribuiu na emissão de gases do efeito estufa no Brasil (SEEG, 2022). Neste mesmo ano, a área desmatada em Lábrea foi de aproximadamente 381,8 km<sup>2</sup>, atingindo em 2021 uma área equivalente a 540,2 km<sup>2</sup> (PRODES, 2021).

O processo de ocupação em Lábrea apresenta um contexto histórico marcado por intensos conflitos fundiários, relacionados com a ocupação ilegal e desordenada, expansão da agropecuária, a pesca e caça predatória, a extração ilegal de madeira e sobreposição de imóveis rurais em áreas protegidas (CPT, 2021; Tavares e Cordeiro, 2017). O termo “imóveis” é usado aqui para reivindicações autodeclaradas no Cadastro Ambiental Rural (CAR) e não implica que os reclamantes tenham direito de posse ou título legal às áreas.

O Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite (PRODES), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), estima as taxas anuais de desmatamento por corte raso na Amazônia Legal produzindo grandes quantidades de dados espaciais disponibilizados pela plataforma digital TerraBrasilis (INPE, 2021; Assis *et al.*, 2019). Através de técnicas de mineração de dados e do desenvolvimento de uma tipologia de padrões de desmatamento, é possível analisar os polígonos de desmatamento do PRODES utilizando métricas de paisagem (i.e., medidas que abordam características do objeto como área, forma e o arranjo espacial), estabelecendo assim, padrões de desmatamento que podem ser associados aos diferentes atores e estágios de ocupação (McGarigal e Marks, 1995; Mertens e Lambin, 1997; Pereira *et al.*, 2007, Silva *et al.*, 2008). Além disso, o estudo da dinâmica dos padrões de desmatamento ao longo dos anos nos permite inferir sobre o estágio evolutivo do processo de ocupação e desmatamento de uma determinada região, obtendo-se assim as possíveis trajetórias de ocupação (Diniz, 2002; Gavlak *et al.*, 2011; Oliveira e Metzger, 2006).

Estudos realizados na Amazônia possibilitaram caracterizar diferentes padrões e trajetórias de desmatamento que se relacionam com diferentes atores. Para caracterizar os padrões de desmatamento na região denominada Terra do Meio em São Félix do Xingu no Pará, Silva *et al.* (2007) utilizaram a seguinte tipologia: linear, que ocorre ao longo das estradas; irregular pequeno e irregular que são característicos de pequenas

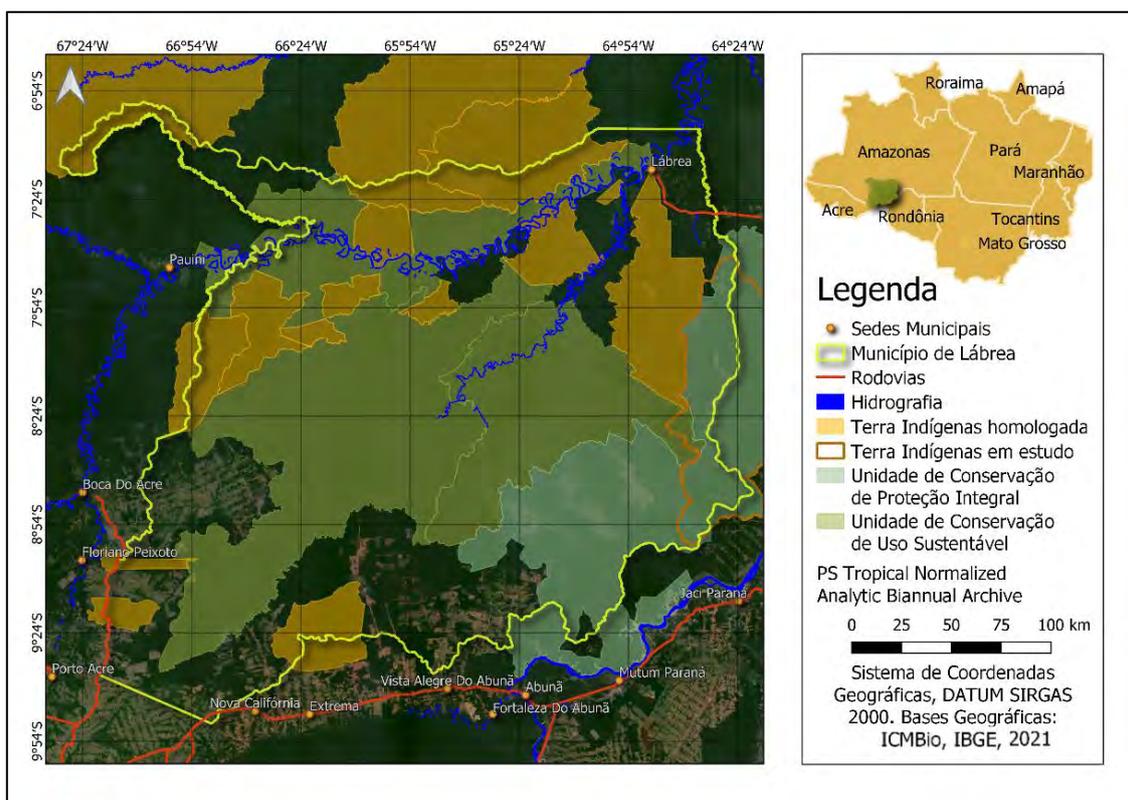
propriedades com agricultura familiar; irregular médio que está relacionado às médias propriedades; e irregular grande associado à grandes estabelecimentos em regiões isoladas. Saito *et al.* (2011) classificaram o desmatamento na região amazônica a partir de células regulares, descrevendo os seguintes padrões, conforme o estágio de ocupação observado: 1) consolidado – estágios avançados de ocupação; 2) difuso – estágio inicial de ocupação espontânea e ribeirinha, geralmente relacionado a pequenos produtores rurais; 3) espinha de peixe – estágio entre o inicial e intermediário/avançado de ocupação característico de áreas de assentamento rural; 4) geométrico regular – estágio intermediário de ocupação associado a médios e grandes estabelecimentos rurais; 5) multidirecional desordenado – estágio intermediário de ocupação; 6) unidirecional linear – estágio inicial a intermediário de ocupação relacionados à ocupação ribeirinha ou à ocupação espontânea no entorno de estradas. Gavlak *et al.* (2011) definiram os padrões e trajetórias do desmatamento para o Distrito Florestal Sustentável (DFS) da BR-163 no oeste paraense (Cuiabá - Santarém), área de influência criada no entorno da rodovia que tem como principal objetivo auxiliar no planejamento de ações e pesquisas voltadas ao desenvolvimento de atividades de exploração sustentável da floresta. Nesse estudo, foram definidas trajetórias de mudança e não mudança com base nos conceitos estabelecidos por Diniz (2002). Em outro estudo, Maurano *et al.* (2019) se basearam nos padrões definidos por Saito *et al.* (2011) para classificar e avaliar o desmatamento em toda a Amazônia Legal.

Assim, de modo a compreender a dinâmica do desmatamento nos últimos anos no município de Lábrea, este estudo se propõe a responder as seguintes questões: “Quais são os padrões e trajetórias de ocupação para o município de Lábrea?” e “Como estes padrões e trajetórias se relacionam com o processo de desmatamento na região?”. Para isto, neste capítulo, foi feita uma análise através de um processo de mineração dos dados de desmatamento do PRODES para os anos de 2008 a 2021 e, a partir do agrupamento em células de tamanhos regulares, foram obtidos os padrões e trajetórias de ocupação para a região do município de Lábrea utilizando o *Geographical Data Mining Analyst* (GeoDMA), um classificador desenvolvido por Körting *et al.* (2008), que reúne um conjunto de ferramentas para integração e análise de imagens de sensoriamento remoto com técnicas de mineração de dados para extração de informações e descoberta de conhecimento sobre grandes bases de dados.

## MATERIAL E MÉTODOS

### Área de estudo

O presente estudo foi realizado no município de Lábrea, localizado na mesorregião sul do estado do Amazonas, distando cerca de 856 km da capital Manaus, na divisa entre os estados de Rondônia e Acre (Figura 1-1). Lábrea está inserida em uma região de fronteira agropecuária, onde há um intenso avanço do desmatamento sobre as florestas (Becker, 2005).



**Figura 1-1.** Mapa de localização de área de estudo, município de Lábrea-AM.

Os principais rios que compõem a hidrografia de Lábrea são os rios Ituxi e Purus, sendo o Purus utilizado como via de acesso a sede municipal. Além do rio, também é possível acessar a sede pela BR-230 (Transamazônica). A porção sul do município pode ser acessada pela rodovia BR-364, que possui importante papel no processo de ocupação desta região.

A cobertura vegetal de Lábrea é constituída, predominantemente, por floresta ombrófila densa das terras baixas (RADAMBRASIL, 1978). Os solos são classificados como Latossolos, Argissolos, Plintossolos e, em áreas próximas aos rios, Gleissolos (IBGE, 2006). O relevo é formado por depressões e planícies, com altitudes variando de

38 m a 1.089 m acima do nível do mar. O clima é caracterizado como tropical monçônico (Tipo Am i), segundo o sistema de classificação de Köppen, com curtos períodos de seca e elevadas precipitações de longa duração.

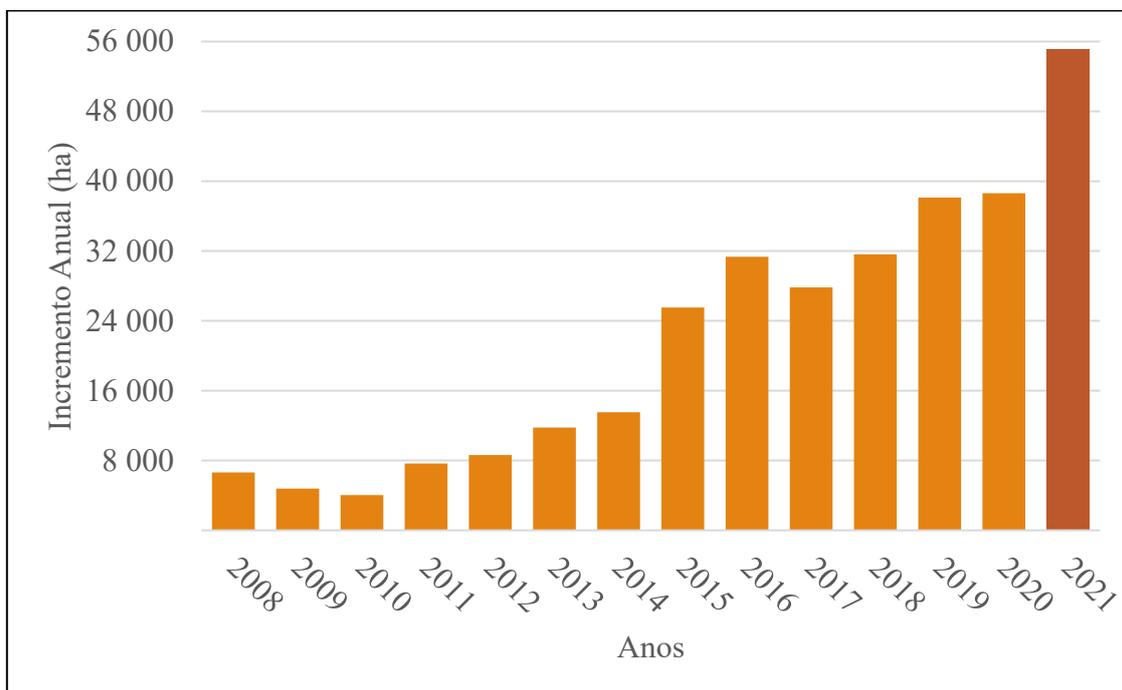
A região de estudo possui uma extensão territorial de aproximadamente 68 mil km<sup>2</sup>, sendo cerca de 80% destinada às áreas protegidas, que se dividem entre 17 terras indígenas (TIs) e quatro unidades de conservação (UCs). As categorias de áreas protegidas e seus respectivos nomes estão listados abaixo:

- **UCs de Uso Sustentável:** Floresta Nacional (FLONA) do Iquiri, Reserva Extrativista (RESEX) Ituxi e Médio Purus.
- **UCs de Proteção Integral:** Parque Nacional (PARNA) Mapinguari.
- **TIs homologadas:** Acimã, Alto Sepatini, Apurinã do Igarapé Mucuí, Apurinã – km 124 da BR-317, Banawá, Boca do Acre, Dení, Hi Merimã, Jarawa/Jamamadi/Kanamati, Kaxarari, Paumari do Lago Marahã, Paumari do Rio Ituxi, São Pedro do Sepatini, Seruini/Mariene e Tumiã.
- **TI não homologada:** Jacareúba/Katawixi.

O município de Lábrea é marcado por intensos conflitos fundiários, extração de madeira ilegal e pecuária extensiva. Segundo os dados do Censo Agropecuário de 2017 do IBGE, foram identificados 346,3 mil ha de estabelecimentos agropecuários, dos quais 205,9 mil ha (aproximadamente 59%) tinham a pastagem como o principal uso e cobertura da terra (IBGE, 2017). Dados do Serviço Florestal Brasileiro (SFB) atualizados em 08/02/21 apontavam que 2.408 imóveis rurais estavam cadastrados, ocupando uma área equivalente a 3,7 milhões de hectares. Sendo que aproximadamente 244 mil hectares (124 imóveis) e 1,3 milhões de hectares (239 imóveis) estão cadastrados dentro de terras indígenas e áreas protegidas, respectivamente (SFB, 2021). Somente na terra indígena não homologada, Jacareúba/Katawixi, foram identificados ainda 33 imóveis rurais sobrepondo seu território.

O histórico de incrementos de desmatamento em Lábrea (2008-2021) indica que, nos três primeiros anos, a área desmatada no município teve uma tendência de queda, onde, em 2010, o incremento era de aproximadamente 40 km<sup>2</sup> (Figura 1-2). Em 2011, ocorreu um aumento de aproximadamente 79% no incremento da área desmatada em relação ao ano anterior, de modo que nos anos seguintes (exceto o ano de 2017, em que houve uma redução do avanço do desmatamento) o desmatamento continuou aumentando, atingindo 386,17 km<sup>2</sup> em 2020. O dado preliminar para o incremento no ano

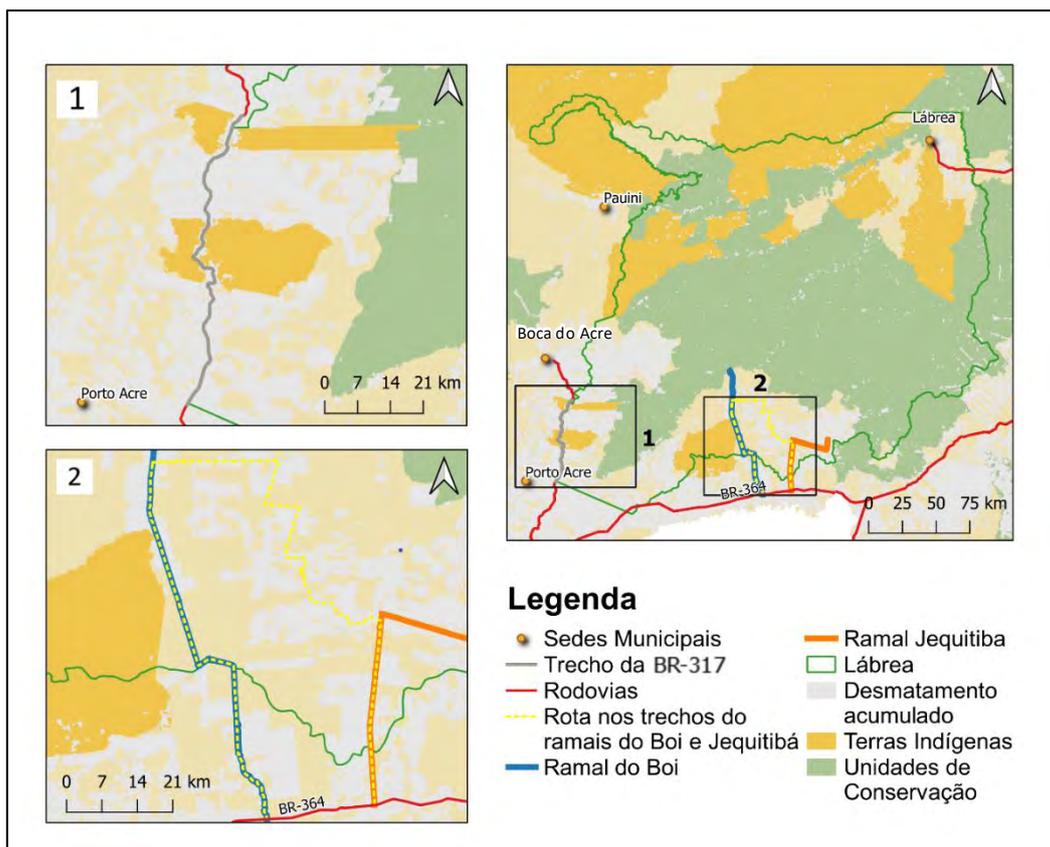
de 2021 alerta para um aumento de 42% do desmatamento em relação ao ano anterior (Figura 1-2) (INPE, 2021).



**Figura 1-2.** Incremento anual do desmatamento para o município de Lábrea no período de 2008 a 2021 (INPE, 2021). O ano de 2021 em destaque se refere ao desmatamento estimado a partir das cenas prioritárias.

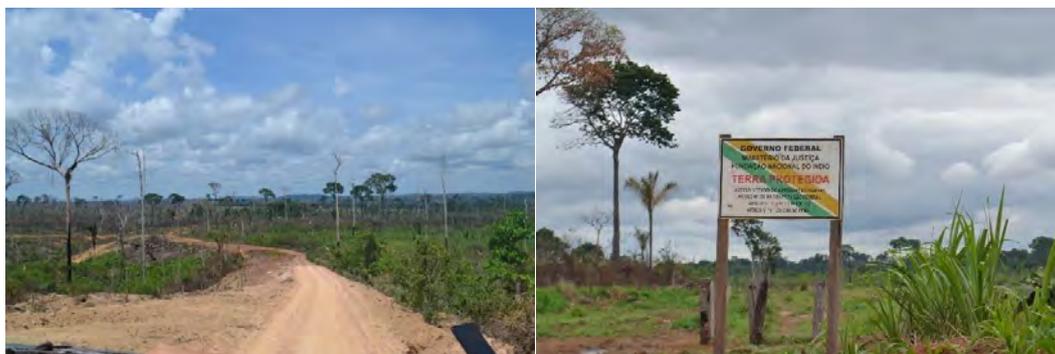
### Expedição de campo

A fim de contribuir com a discussão dos resultados e na percepção do processo do desmatamento no município de Lábrea, realizou-se uma expedição para a região de estudo entre os dias 18 e 29 de outubro de 2021 com a finalidade de identificar áreas recentes de desmatamento, caracterizar e registrar padrões de desmatamento e ocupações na região. Devido a algumas limitações impostas pelo cenário pandêmico durante a realização deste estudo, optou-se por priorizar áreas onde o desmatamento está mais concentrado, tais como, a região sul de Lábrea e a fronteira com o município de Boca do Acre, que foram regiões previamente analisadas e definidas como importantes na compreensão da dinâmica do desmatamento. Áreas localizadas nos ramais do Boi, Jequitibá e Castanhal (região 2), além de parte da BR-317 (região 1) foram visitadas (Figura 1-3).



**Figura 1-3.** Localização das regiões visitadas durante a expedição de campo no município de Lábrea-AM.

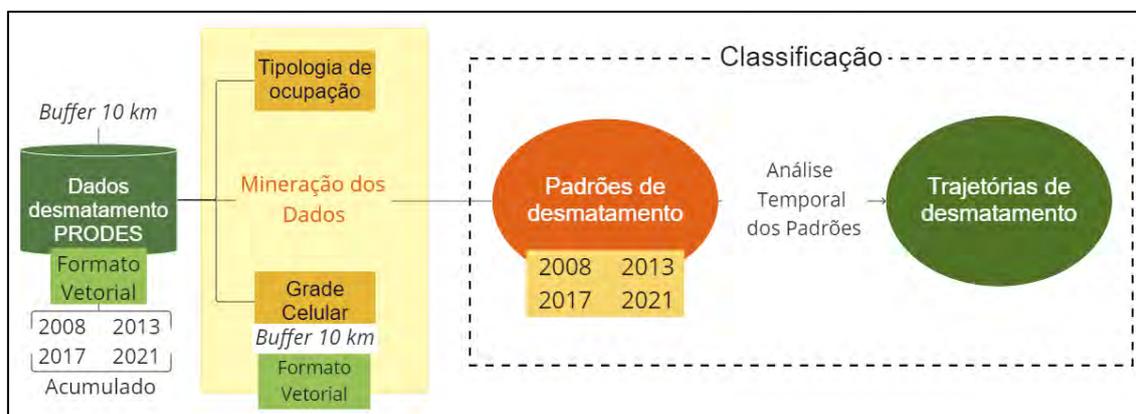
Durante a expedição foi possível observar que as áreas visitadas são, em sua maior parte, compostas por áreas extensas de desmatamento e de pastagem (Figura 1-4). Nos ramais visitados ao sul de Lábrea (região 2) predomina um cenário com áreas que foram desmatadas recentemente, como também indícios de exploração madeireira. Ao percorrer o trecho da BR-317 que conecta o município de Rio Branco à Boca do Acre, a paisagem de devastação com poucos trechos de floresta se mantém, mesmo dentro de Terras Indígenas (TI) como é o caso da TI Boca do Acre e TI Apurinã-km 124 da BR-317 (região 1).



**Figura 1-4.** Paisagem observada durante a expedição pelo ramal do Boi (esquerda). Placa identificando a Terra Indígena Apurinã-km 124 no trecho da BR-317 (direita).

## Metodologia

Nesta seção, estão descritas as metodologias adotadas para classificação dos padrões e trajetórias de desmatamento para o município de Lábrea. As principais etapas estão apresentadas no fluxograma da Figura 1-5.



**Figura 1-5.** Esquema geral da metodologia para classificação das trajetórias de ocupação.

O primeiro passo foi obter o desmatamento acumulado para os anos de 2008, 2013, 2017 e 2021. O mapa vetorial do desmatamento foi obtido do Projeto de Monitoramento do Desmatamento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite – PRODES (INPE, 2021). Através da análise espacial exploratória dos polígonos de desmatamento, uma tipologia de ocupação foi definida para a área de Lábrea utilizando células de tamanhos predefinidos. Uma vez determinados estes parâmetros, um sistema de mineração espacial dos dados foi aplicado com a finalidade de se obter, por meio de um classificador estrutural, os padrões de desmatamento para os quatro anos analisados. Por fim, para descrever as trajetórias de desmatamento no município, um conjunto de regras foi adotado para determinar a mudança, ou não mudança, dos padrões entre os anos. O detalhamento de cada etapa será descrito nas próximas seções.

### Elaboração de mapas de desmatamento e definição da tipologia de ocupação

Como entrada para a classificação dos padrões e obtenção das trajetórias de desmatamento, foram utilizados os dados de desmatamento do PRODES (INPE, 2021). Utilizando um programa SIG (Sistema de Informação Geográfica), os arquivos vetoriais contendo os polígonos do desmatamento acumulado até 2007 e o incremento anual de 2008 a 2021 foram agrupados, gerando mapas de desmatamento acumulado para os anos de 2008, 2013, 2017 e 2021. A escolha destes cortes seccionais no tempo teve como objetivo analisar os diferentes padrões de ocupação nos períodos em que foram

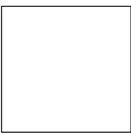
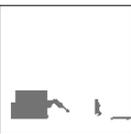
previamente observadas dinâmicas distintas de desmate, relacionando com alguns eventos importante na época. Nos anos de 2008 até 2013 o incremento anual de desmatamento em Lábrea era baixo, apresentando uma pequena queda, e um pequeno aumento ao longo dos anos. A partir de 2013 temos um aumento expressivo do desmatamento, sendo a análise dos padrões de desmatamento dividida em dois períodos, os primeiro quatro anos (i.e., de 2013 até 2017), e de 2017 até 2021, onde foram observadas duas tendências distintas de aumento do desmatamento, sendo que no ano de 2021 observou-se a maior perda de floresta nos anos analisados.

Um *buffer* de 10 km foi aplicado de modo a abranger a área de entorno do município de Lábrea, resultando em uma área total de aproximadamente 83,9 mil km<sup>2</sup>. O delineamento do *buffer* foi realizado para evitar possíveis perdas de informações em relação aos padrões de desmatamento devido ao efeito de borda nos limites do município. Para definir a tipologia dos padrões de desmatamento, foi realizada uma análise espacial preliminar dos diferentes tipos de ocupação encontrados em Lábrea. Nesta análise, observou-se o arranjo e a forma dos polígonos de desmatamento. A identificação e definição destes padrões também foi baseado na expedição realizada para a área de estudo e nas classificações descritas por outros trabalhos que analisaram a dinâmica de ocupação em outras regiões da Amazônia, semelhantes ao encontrado no município de Lábrea (Azeredo *et al.*, 2016; Gavlak *et al.*, 2011; Saito *et al.*, 2011; Yanai *et al.* 2022).

Após definida a tipologia dos padrões de ocupação, os polígonos de desmatamento foram analisados em um contexto celular. Para determinar a resolução das células, foram testados diferente tamanhos de grade celular (5 km × 5 km, 10 km × 10 km e 15 km × 15 km). Estudos anteriores sugerem que a escolha do tamanho da grade celular deve considerar as dimensões das manchas de desmatamento e sua distribuição espacial, de modo que não ocorra perda de informação ou distorção dos padrões (Assis *et al.*, 2021; Gavlak *et al.*, 2011; Pinheiro *et al.*, 2016; Saito, 2010; Saito *et al.*, 2012). Portanto, após testes preliminares e uma análise empírica sobre a disposição dos padrões de desmatamento em relação os diferentes tamanhos de grade celular, verificou-se que o tamanho de 10 km × 10 km foi o mais adequado para identificar e descrever os padrões propostos na Tabela 1-1. Assim, os resultados referentes a esta etapa estão descritos para este tamanho de célula, no entanto, a fim de complementar as informações sobre este resultado, a classificação dos padrões e trajetórias para os demais tamanhos de célula (5 km e 15 km) estão disponíveis na Tabela B1-1 do Apêndice B-1.

Na Tabela 1-1 são apresentados os padrões de ocupação para o município de Lábrea para a grade celular com resolução  $10 \text{ km} \times 10 \text{ km}$ , e as tipologias para os demais tamanhos de grade estão apresentadas na Tabela B2-1 do Apêndice B-2. Além da caracterização em relação à forma e à distribuição das manchas, os padrões também foram associados aos atores locais e aos estágios da ocupação (Azeredo *et al.*, 2016; Saito *et al.*, 2011). Na ausência de desmatamento, a célula foi classificada como floresta.

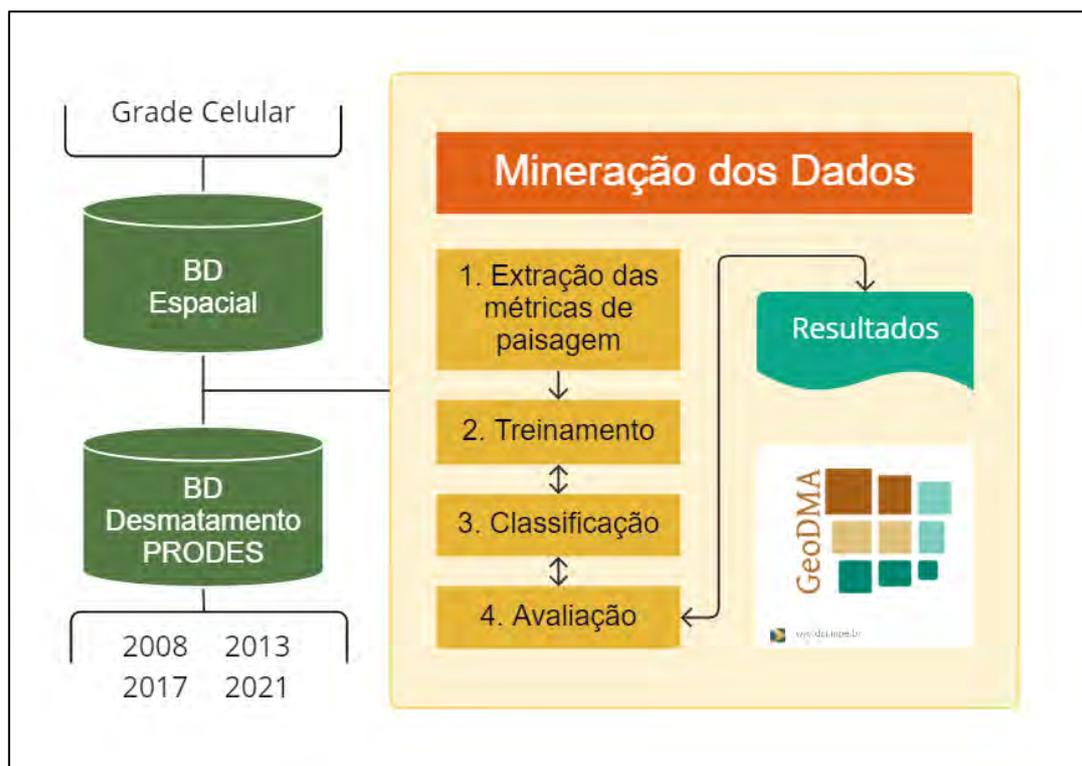
**Tabela 1-1.** Tipologia dos padrões de desmatamento associados à ocupação humana na resolução celular de 10 × 10 km para o município de Lábrea (branco = floresta, cinza = desmatamento).

Padrões	Grade Celular 10×10	Descrição	Padrões de Ocupação
Floresta		- Ausência de manchas de desmatamento.	-Não são observados padrões de ocupação.
Difuso		-Pequenas manchas; -Manchas isoladas; -Baixa a média densidade de manchas; -Distribuição uniforme.	-Ocupação espontânea inicial distribuída nas margens dos rios e em áreas de garimpo; -Pequenos produtores.
Linear		-Manchas alongadas e contínuas; -Unidirecional; -Baixa densidade de desmatamento.	-Ocupação inicial distribuída ao longo de estradas;
Geométrico		-Pequenas e médias manchas geométricas regulares; -Média e baixa densidade de desmatamento.	-Estágio inicial a intermediário de ocupação; -Médios e grandes produtores.
Espinha de Peixe		-Grandes manchas alongadas e ramificadas ao longo de ramais, com aparência semelhante ao esqueleto de um peixe; -Média densidade de manchas de desmatamento;	-Estágio intermediário de ocupação; -Pequenos e médios produtores rurais; -Áreas destinadas à Projetos de Assentamento do INCRA.
Multidirecional		-Manchas médias e grandes de geometria irregular; -Média a alta densidade de manchas aglomeradas; -Multidirecional.	-Estágio intermediário a avançado de ocupação desordenada.
Consolidado		-Grandes manchas sem forma definida; -Alta densidade de desmatamento com pouco ou quase nenhum fragmento de floresta.	-Ocupações em níveis avançados resultante das formas de ocupação de diferentes tipos de atores locais.

### Classificação dos padrões de desmatamento

Após definida a tipologia de ocupação para a área de estudo, os padrões de desmatamento foram classificados através da aplicação de técnica de mineração de dados espaciais. Este procedimento foi feito no *plugin Geographical Data Mining Analyst* (GeoDMA), um aplicativo desenvolvido por Körting *et al.* (2008) para o programa TerraView versão 5.6.1 (INPE, 2020). Esta ferramenta possibilita a classificação estrutural de objetos a partir da extração de um conjunto métricas de paisagem que

mensuram e descrevem os padrões de ocupação. As principais etapas da mineração de dados realizadas pelo GeoDMA estão descritas na Figura 1-6.



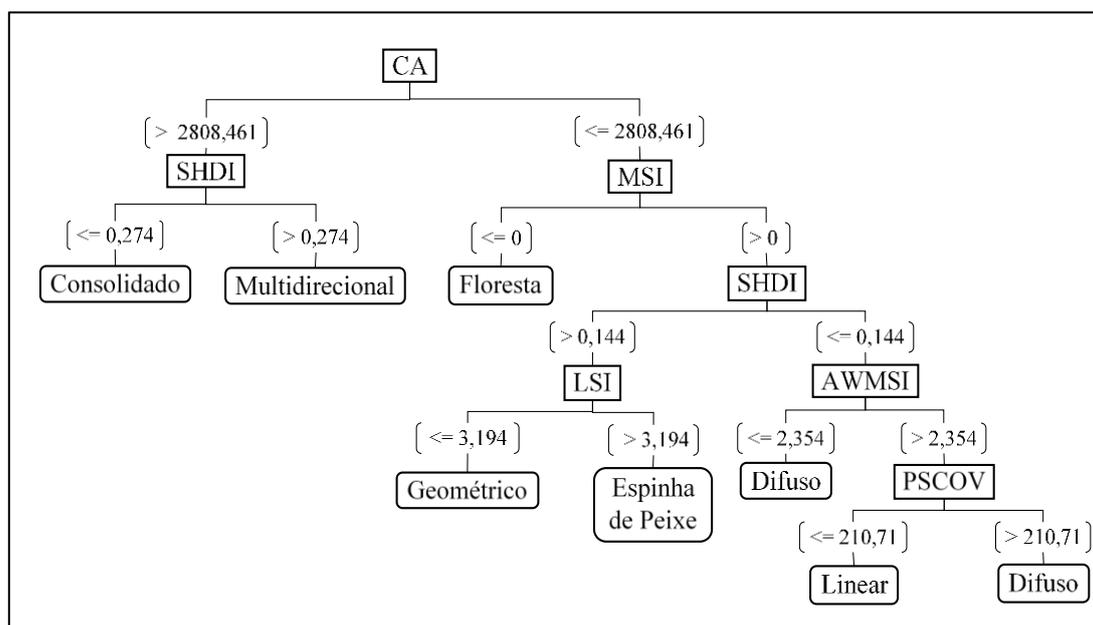
**Figura 1-6.** Fluxograma com as etapas da mineração de dados utilizando o plugin GeoDMA. (Adaptado de Körting *et al.*, 2008).

A extração das métricas de paisagem foi realizada com base na grade celular para os quatro períodos analisados. As métricas calculadas estão relacionadas com as características da forma e distribuição espacial dos polígonos dentro do contexto celular, e seus valores são utilizados como limiares para classificação dos padrões. No total, o GeoDMA calcula vinte e cinco métricas para cada célula.

Na fase de treinamento, foi construído um único conjunto de amostras para os quatro anos analisados (i.e., 2008, 2013, 2017 e 2021). Isto permitiu que padrões inexistentes em um dado ano fossem contemplados em outro período, compondo uma tipologia única que considerou os padrões de desmatamento para todos os anos. Para isso, foram selecionadas células que retratassem as classes de desmatamento definidas na tipologia de ocupação da Tabela 2-1. Ao total, foram coletadas 265 amostras de treinamento, representando 14% do total de células existentes na área de estudo considerando todo o universo amostral (i.e., para os quatro anos). Deste total, 45 amostras corresponderam aos padrões consolidado, difuso, floresta, multidirecional; 40 amostras foram coletadas para o padrão geométrico; 25 amostras para espinha de peixe; e 20

amostras para o padrão linear. Devido à baixa frequência existente de alguns padrões de desmatamento, como é o caso do linear e espinha de peixe, números distintos de amostras foram selecionados para cada classe.

Uma vez coletadas as amostras de treinamento, foi utilizado o algoritmo de árvore de decisão C5.0 para a etapa da classificação (Quinlan, 2017). O GeoDMA separou automaticamente 66% (175 amostras) das amostras coletadas para classificar os padrões (i.e., confecção da árvore de decisão), e 34% (90 amostras) para a validação. Como resultado foi gerada uma única árvore de decisão, onde os atributos não categóricos (i.e., valores das métricas de paisagem) permitiram diferenciar os atributos categóricos (i.e., padrões de desmatamento) para todos os anos, utilizando as seguintes métricas de paisagem na classificação dos padrões: CA (*Class Area*), SHDI (*Shannon's Diversity Index*), MSI (*Mean Shape Index*), LSI (*Landscape Shape Index*), AWMSI (*Area-Weighted Mean Shape Index*) e PSCOV (*Patch Size Coefficient of Variation*) (Figura 1-7). As formulações e definições completas de cada métrica utilizada estão descritas no Apêndice A-1 (McGarigal e Marks, 1995).



**Figura 1-7.** Árvore de decisão gerada pelo classificador para a grade celular de 10 km × 10 km.

Conforme a árvore de decisão gerada, quando o valor da métrica CA, que corresponde à área total desmatada (em hectares) dentro da célula, é maior do que 2,8 mil ha, o padrão de desmatamento da célula é classificado como consolidado ou multidirecional. Em seguida, para distinguir entre estes padrões o classificador utiliza o Índice de Diversidade de Shannon (SHDI – *Shannon's Diversity Index*, em inglês), uma

métrica de composição, que geralmente expressa a relação entre abundância (proporção de área) e a riqueza (número) de classes de uso e cobertura da terra. Como neste estudo só temos uma classe (i.e., desmatamento), este índice corresponde a proporção da área que as manchas de desmatamento ocupam dentro da célula (i.e., apenas abundância). Os menores valores de SHDI para o padrão consolidado indicam que este possui um menor número de polígonos de desmatamento ocupando uma maior área quando comparado ao padrão multidirecional. Assim, uma vez que a classe multidirecional é constituída por diversas manchas, se o SHDI for maior que 0,274 a classe foi definida como multidirecional. Por outro lado, o padrão consolidado geralmente é constituído por um menor número de manchas, portanto, células com valor menor ou igual a 0,274 foram classificadas como do padrão consolidado.

Para diferenciar as células em que o CA foi menor ou igual a 2.808,5 ha, o algoritmo aplicou a métrica MSI (*Mean Shape Index*), que é um índice de forma que indica a complexidade média da forma dos polígonos de desmatamento encontrados na célula. Essa métrica descreve a irregularidade das manchas em relação à sua forma. Em teoria o valor do MSI deve ser maior do que 0 e menor do que 1, no entanto nas células em que os polígonos de desmatamento não foram detectados o valor de MSI igual a 0 indica que a célula analisada pertence a classe floresta. Valores maiores que zero são representados por células que possuem polígonos de desmatamento que constituem os padrões de desmatamento analisados (geométrico, espinha de peixe, difuso e linear).

A seguir, a métrica SHDI (*Shannon's Diversity Index*) foi utilizada novamente, desta vez para diferenciar os padrões geométrico e espinha de peixe, dos padrões linear e difuso. Como os padrões geométrico e espinha de peixe apresentam maior abundância da classe desmatamento quando comparados às manchas difusas e lineares, células com valores de SHDI maiores que 0,144 (i.e., maior proporção da área ocupada pela classe desmatamento) são caracterizadas pelos padrões geométrico e espinha de peixe. Para distinguir estes padrões, foi adotada a métrica LSI (*Land Shape Index*), que é um índice de forma que mede a complexidade da forma dos fragmentos. Quanto maior o LSI, maior a complexidade dos polígonos de desmatamento dentro da célula. Deste modo, enquanto os padrões geométricos possuem valor de LSI menor ou igual a 3,2, células classificadas como espinha de peixe apresentaram valores maiores que 3,2.

Os padrões difuso e linear que apresentaram valores de SHDI menores ou igual a 0,144 foram discriminados entre si utilizando-se as métricas AWMSI (*Area Weight Mean Shape Index*) e PSCOV (*Patch Size Coefficient of Variation*), que representam,

respectivamente, a irregularidade das manchas e a variação no tamanho da mancha em relação à média. Parte dos padrões difusos, composto por polígonos regulares, foram classificados por valores de AWMSI menores ou iguais a 2,3. Por outro lado, algumas células com valores de AWMSI maiores que 2,3 também foram classificadas como difuso, sendo definidas pelo valor de PSCOV maior que 270,7%, indicando as células com fragmentos irregulares e uma alta variação relativa nos tamanhos das manchas. Por fim, o padrão linear apresentou menor variação nos tamanhos das manchas quando comparado ao grupo de células classificadas como difuso, constituídas por polígonos irregulares de desmatamento (i.e., quando o valor de AWMSI foi maior que 2,3).

Na etapa final, foram geradas duas matrizes de confusão para avaliar o resultado da árvore de decisão em relação à classificação das amostras de treinamento e de validação (Tabela 1-2). Além disso, foram obtidos os índices de acurácia que expressam a concordância entre a observação (grade/polígonos utilizados como referência) e à classificação final, sendo estes a acurácia do produtor, do usuário e a exatidão global, e o coeficiente Kappa (Congalton, 1991; Hudson e Ramm, 1987; Story e Congalton, 1986). Os valores de exatidão total, tanto para as amostras de classificação quanto avaliação foram satisfatórios, sendo 93% e 82%, respectivamente.

**Tabela 1-2.** Matriz de confusão das amostras de validação utilizadas na classificação dos padrões de desmatamento para o município de Lábrea para os quatro anos analisados (2008, 2013, 2017 e 2021). (Con.: Consolidado; Di.: Difuso; Es.P.: Espinha de Peixe; Flo.: Floresta; Ge.: Geométrico; Li.: Linear; Mul: Multidirecional; P: Acurácia do Produtor; U: Acurácia do Usuário; ET: Exatidão Total).

Amostras de validação = 90								
Tamanho* = 8								
	Con.	Di.	Es.P.	Flo.	Ge.	Li.	Mul.	P (%)
Con.	14							100
Di.		13				2		87
Es.P.			4		1		1	67
Flo.				16				100
Ge.		2	2		11			73
Li.		1			3	4		50
Mul.			2		2		12	75
U (%)	100	81	50	100	65	67	92	
ET								0,82

\*O tamanho igual a 8 se refere ao número de folhas não vazias da árvore de decisão, ou seja, o número de vezes que uma classe foi designada pela árvore.

O padrão que apresentou maior confusão foi o linear, seguido da classe espinha de peixe, dados os valores da acurácia do produtor. A “acurácia do produtor” mensura a porcentagem de células de cada classe que foi classificada corretamente pelo classificador (Antunes e Lingnau, 1997). Portanto, está associada ao erro de omissão, o qual informa o percentual de classes que foram omitidas da classificação. Sendo assim, o erro de omissão (i.e., erro de classificação das amostras) para o padrão linear foi de 30%. As confusões aconteceram com os padrões difuso e geométrico, de modo que estes são aceitáveis devido à baixa frequência de células com o padrão linear, e, em alguns casos, possíveis semelhanças entre esses padrões. O mesmo aconteceu para o padrão espinha de peixe, cujo erro de omissão foi de 28%, sendo classificado como difuso, geométrico e multidirecional.

Em relação à acurácia do usuário, além do padrão espinha de peixe, o padrão geométrico também apresentou menor porcentagem. A “acurácia do usuário” está relacionada às células que foram classificadas corretamente em relação às amostras (Antunes e Lingnau, 1997). Está associada ao erro de comissão, que se refere ao erro cometido ao atribuir erroneamente uma classe a uma determinada célula. O erro de comissão para os padrões mencionados foi de 25%. As confusões para o padrão espinha de peixe ocorreram, principalmente, entre as classes geométrico e multidirecional, enquanto o padrão geométrico esteve relacionado aos padrões difuso, espinha de peixe, linear e multidirecional.

Em resumo, os erros de classificação observados anteriormente podem ser, em sua maioria, explicados pelo baixo número de amostras representativas para alguns padrões, como o linear e o espinha de peixe. É também devido à heterogeneidade existente em algumas células que erros são cometidos, o que leva o classificador a gerar resultados inconsistentes para alguns padrões. Os padrões de desmatamento, em geral, podem ser melhor representados como dados contínuos, ao classificar em categorias, os valores são discretizados. Assim, classificar erroneamente alguns padrões, é esperado. A implementação do *boosting* poderia reduzir os erros e melhorar os resultados encontrados, gerando várias árvores decisão e atribuindo determinado padrão de desmatamento à célula através de um sistema de votação (Quinlan, 2017).

Este método de validação também foi aplicado para avaliar a classificação para cada ano. Para tal, 60 amostras de cada período de interesse foram selecionadas aleatoriamente e classificadas por um fotointérprete independente. Ao final, foram geradas quatro matrizes de confusão para cada ano com os respectivos valores de exatidão

total e coeficiente Kappa que são apresentadas no Apêndice C-1 (Hudson e Ramm, 1987; Congalton e Green, 1999). Os valores de acurácia variaram de 0,74 a 0,93, estando dentro dos limites aceitáveis para que a classificação seja considerada como boa (Tabela 1-3).

**Tabela 1-3.** Valores de exatidão total e coeficiente Kappa para os anos de 2008, 2013, 2017 e 2021.

<i>Ano</i>	<i>Exatidão Total</i>	<i>Coeficiente Kappa</i>
2008	0,78	0,74
2013	0,78	0,74
2017	0,78	0,74
2021	0,93	0,92

Os anos de 2008, 2013 e 2017 apresentaram os mesmos valores de exatidão e coeficiente Kappa, e, ao analisar as matrizes de confusão geradas para cada, foi possível observar que os baixos valores de acurácia para os anos de 2008, 2013 e 2017 estão relacionados principalmente aos erros de classificação para o padrão espinha de peixe, o qual pode ser explicado, novamente, pela baixa amostragem alocada para essa classe (Apêndice C-1).

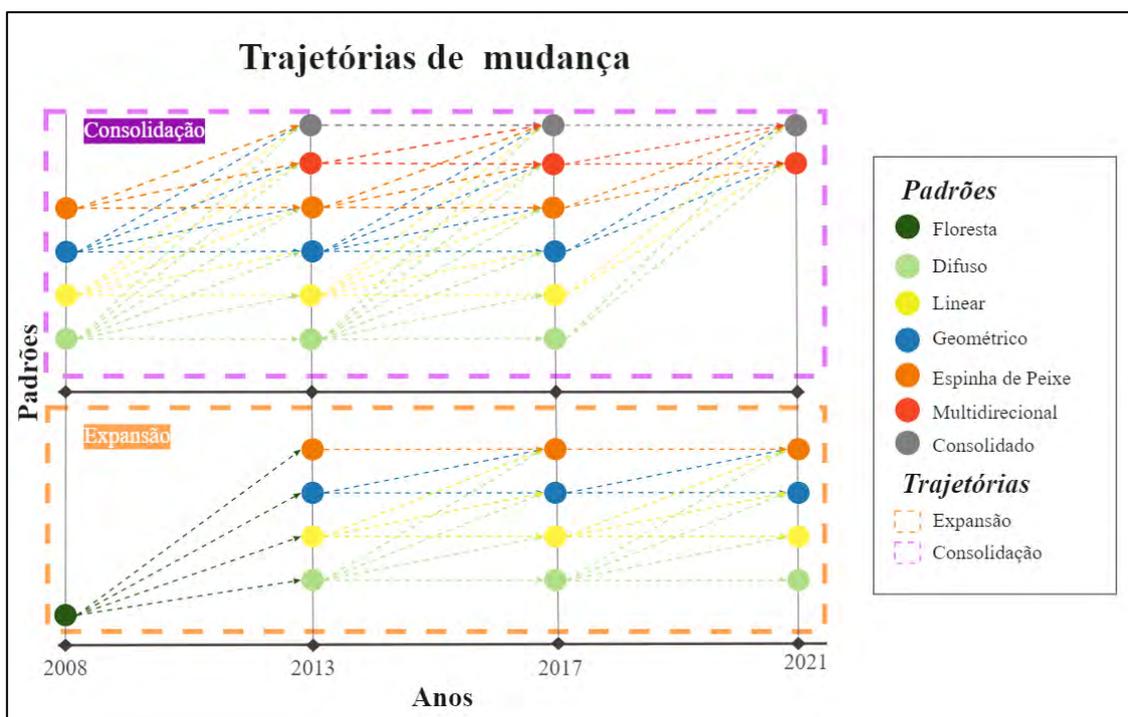
Ao final desta etapa, foram gerados quatro mapas com as classificações dos padrões de desmatamento, que posteriormente compuseram a trajetória para o município de Lábrea.

### **Definição das trajetórias de ocupação**

As transições dos padrões de desmatamento entre os mapas nos diferentes anos determinaram as trajetórias de ocupação para Lábrea. Neste estudo, a classificação das trajetórias de ocupação baseou-se nos conceitos descritos por Gavlak (2011) para o DFS da BR-163, sendo adotado um conjunto de regras para cada tipo de trajetória proposta. Estas trajetórias foram agrupadas de acordo com a ocorrência ou não ocorrência de mudança nos padrões de desmatamento nos anos analisados, sendo classificadas em trajetórias de “mudança” e de “não mudança”.

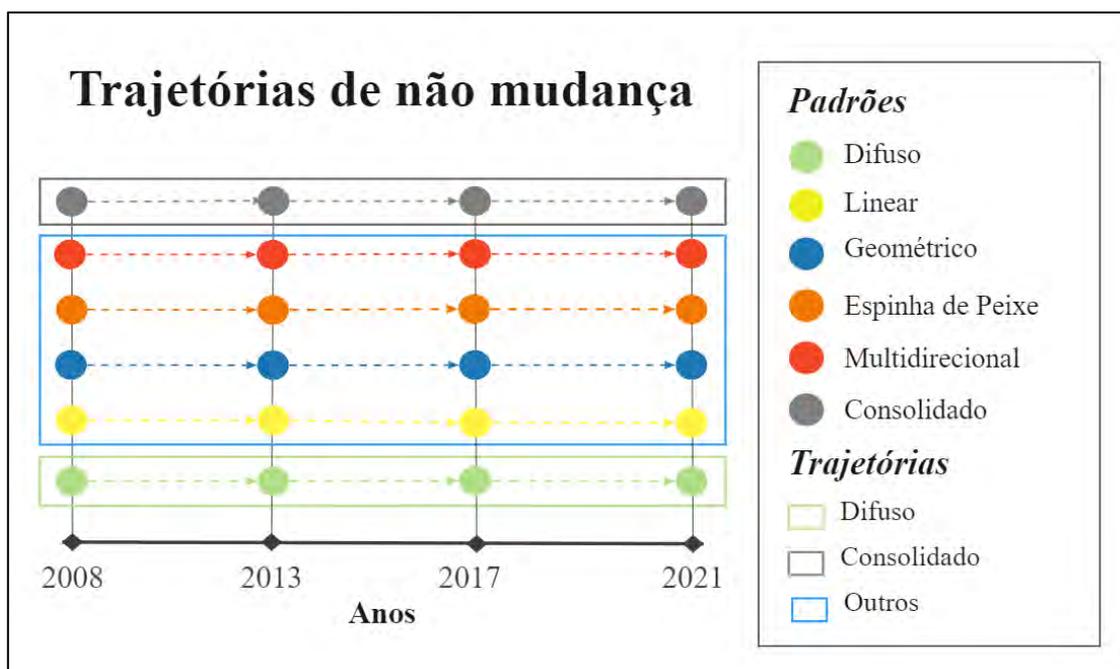
As trajetórias de “mudança” foram divididas em “Expansão” e “Consolidação”. A trajetória de expansão refere-se às células que inicialmente não possuíam nenhum tipo de ocupação/desmatamento (i.e., floresta), mas que nos anos seguintes foram classificadas em padrões de níveis iniciais a intermediários (i.e., difuso, linear, geométrico e espinha de peixe) (Figura 1-8). As trajetórias de consolidação foram representadas por todas as células que inicialmente apresentavam uma ocupação inicial ou intermediária e no ano final (2021) tiveram um aumento do desmatamento dentro da

célula resultando em estágios de ocupação mais avançados, como os padrões multidirecional e consolidado.



**Figura 1-8.** Trajetórias de mudança: Consolida o e Expansão (Adaptado de GAVLAK, 2011).

As células que no ano final mantiveram o mesmo padrão em rela o ao ano 2008 foram classificadas em trajetórias de “não mudança” (Figura 1-9). Essas trajetórias foram distintas nos diferentes estágios de ocupa o de acordo com o padrão de desmatamento observado, sendo eles: difuso, consolidado e outros, os quais representam a não mudança dos padrões multidirecional, espinha de peixe, geométrico e linear.



**Figura 1-9.** Trajetórias de não mudança: Difuso, Consolidado e Outros (Adaptado de Gavlak, 2011).

As células em que o padrão se manteve consolidado desde 2008 indicaram que o desmatamento estava previamente em um estágio de ocupação avançado, sendo este o último nível de ocupação possível para as classes que foram propostas neste estudo. Nestes casos, a trajetória foi designada como “consolidado”. A trajetória “difuso” é caracterizada pelas células que permaneceram com este padrão de desmatamento. Esse padrão é geralmente atribuído a pequenos produtores e ribeirinhos, indicando uma dinâmica de ocupação mais sutil quando comparada aos outros padrões. A trajetória denominada como “outros” compreende os padrões em estágio intermediário, que possuem dinâmicas de ocupação distintas das trajetórias “difuso” e “consolidado”.

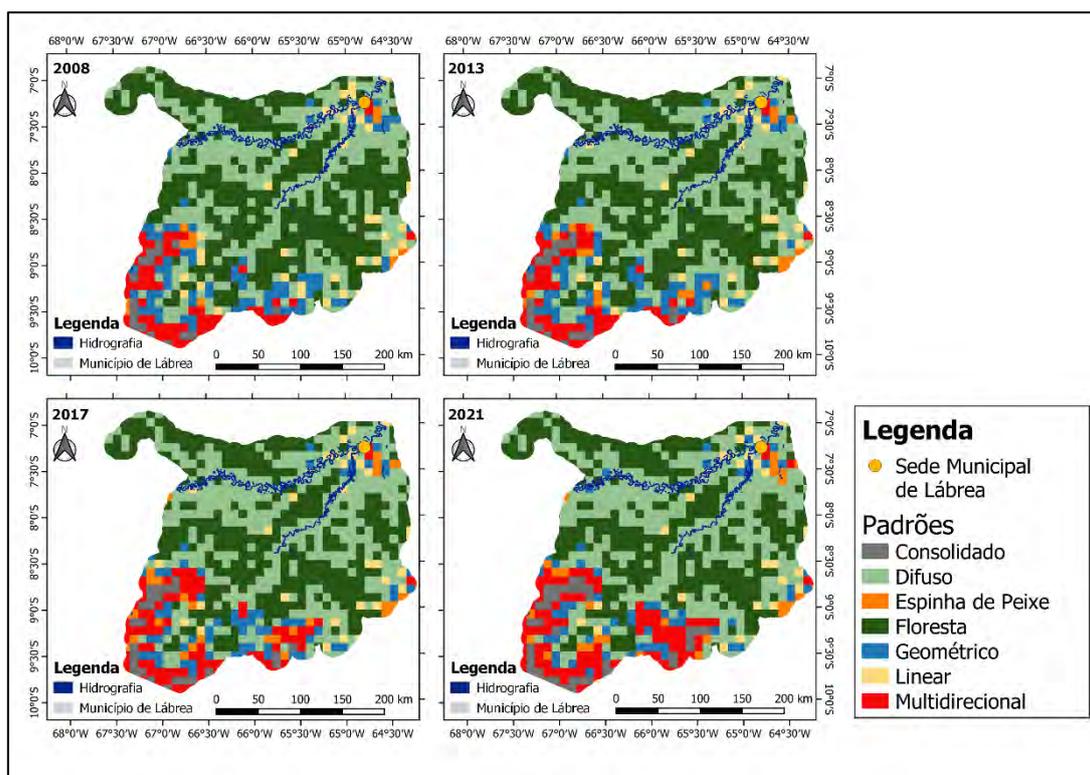
Estas trajetórias foram obtidas tanto entre o mapa inicial e o final (i.e., de 2008 a 2021), quanto nos três intervalos de tempo entre os anos de 2008 e 2021 (i.e., de 2008 a 2013, de 2013 a 2017 e 2017 a 2021). A primeira análise possibilitou capturar as diferenças dos padrões para todo o período de 2008 até 2021, resultando em um único mapa final das trajetórias de ocupação, enquanto a segunda permitiu compreender a evolução das trajetórias ao longo dos períodos analisados.

## RESULTADOS

Nesta seção, estão descritos os resultados das etapas de classificação dos padrões de desmatamento e trajetórias de ocupação referentes à análise feita utilizando o tamanho de grade 10 km × 10 km, o qual corresponde ao que melhor descreveu os padrões observados. Para os demais tamanhos de grade, os resultados estão disponíveis no Apêndice 2B.

### Análise dos padrões de ocupação

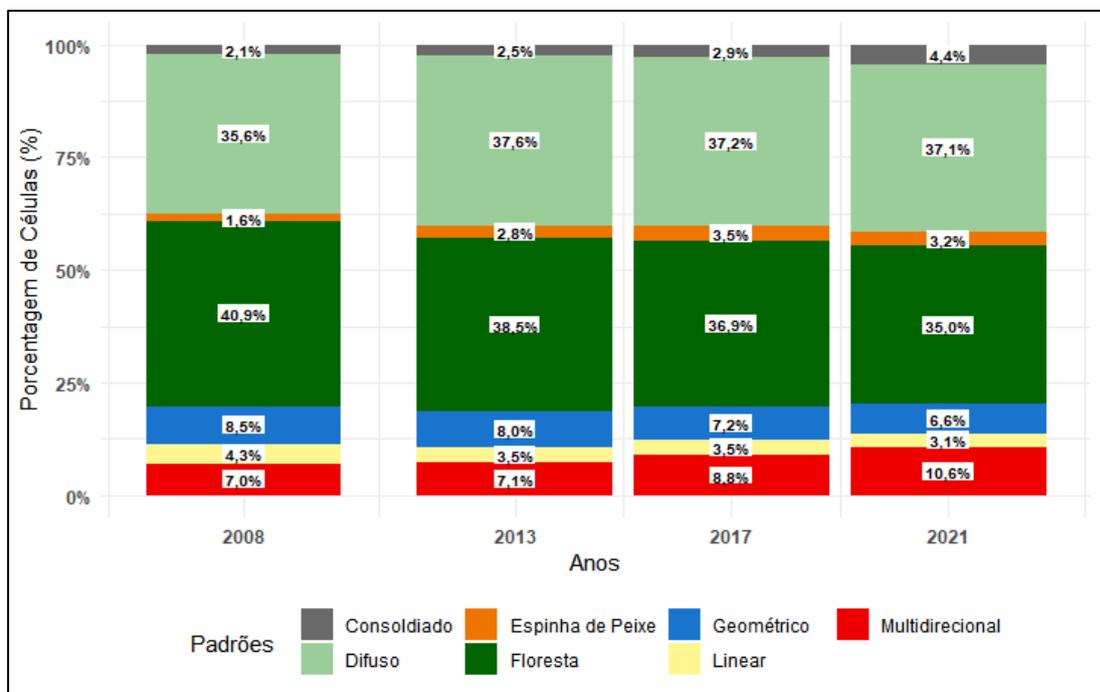
A evolução dos padrões de desmatamento de 2008 a 2021 é apresentada nos mapas da Figura 1-10. De modo geral, é possível observar que o padrão difuso (i.e., ocupação em estágio inicial) se concentrou em sua maioria em áreas próximas aos rios e em áreas que possam indicar novas frentes de desmatamento. Os padrões multidirecional e consolidado, que representam estágios avançados de ocupação, ocorreram principalmente na região sul do município de Lábrea, onde anteriormente existia uma concentração de áreas desmatadas e estradas.



**Figura 1-10.** Mapas de classificação dos padrões de ocupação para os anos de 2008, 2013, 2017 e 2021 para o município de Lábrea-AM.

Conforme apresentado na Figura 1-11, em 2008 a porcentagem de células classificadas como floresta era maior do que para os demais padrões, representando 40,9% de todas as

células da área de estudo. No entanto, ao longo dos anos, esse valor se reduziu, atingindo 35% de floresta no ano de 2021. Isto indica que, com o incremento do desmatamento ao longo dos anos, houve uma transição nas células com o padrão de floresta para padrões com evidências de ocupação (i.e., difuso, linear, espinha de peixe, geométrico, multidirecional e até mesmo consolidado).

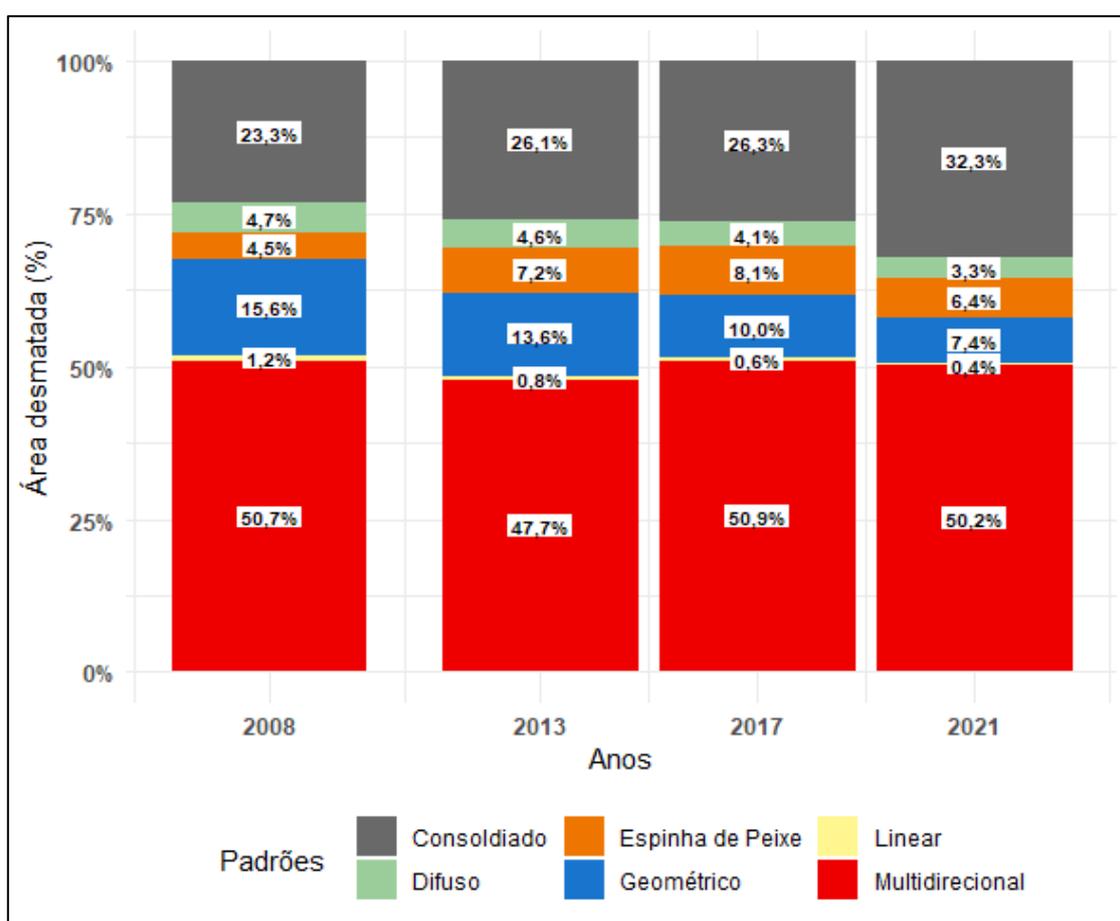


**Figura 1-11.** Evolução das quantidades de células classificadas (%) por cada tipo de padrão de desmatamento para os anos de 2008, 2013, 2017 e 2021.

O padrão difuso, que é composto por pequenos polígonos e representa um estágio inicial de ocupação, também se destacou nos quatro anos, sendo que a porcentagem de células variou de 35,6% a 37,1% de 2008 a 2021, ultrapassando a frequência de células de floresta no ano de 2017 (Figura 1-11). Embora a área desmatada nas células classificadas como difusas tenha aumentado ao longo dos anos, de 27,6 a 31,9 mil hectares de 2008 a 2021, conforme exemplificado na Tabela 1-4, este montante observado no ano de 2021 representou apenas 3,3% da área total desmatada em relação aos demais padrões. Nos demais anos, a contribuição da área total desmatada nas células que apresentavam padrão difuso variou de 4,7 a 4,1% do total desmatado em Lábrea (Figura 1-12).

Tabela 1-4. Evolução da área acumulada desmatada, em hectares, para cada padrão de desmatamento no município de Lábrea até os anos 2008, 2013, 2017 e 2021.

Padrão de Desmatamento	Área Acumulada Desmatada (ha)			
	2008	2013	2017	2021
Consolidado	138.291,30	167.753,43	198.789,95	306.308,41
Difuso	27.593,94	29.923,06	31.023,89	31.867,83
Espinha de Peixe	26.718,25	46.338,08	61.045,10	61.014,06
Geométrico	92.347,47	87.373,97	75.884,02	70.168,14
Linear	7.117,66	5.347,17	4.765,70	3.948,13
Multidirecional	300.653,39	307.041,76	384.629,14	476.301,45
<b>Total</b>	<b>592.722,01</b>	<b>643.777,46</b>	<b>756.137,79</b>	<b>949.608,02</b>



**Figura 1-12.** Evolução da proporção da área desmatada acumulada (%) para cada padrão nos anos de 2008, 2013, 2017 e 2021.

Em contrapartida, embora os padrões consolidado e multidirecional tenham apresentado uma menor porcentagem de células quando comparado ao padrão difuso, estes padrões representaram juntos 74,0%, 73,8%, 77,2% e 82,5% da área desmatada para os anos de 2008, 2013, 2017 e 2021, respectivamente (Figura 1-12). Ao analisar a evolução do desmatamento nestas células, verificou-se que houve um aumento mais expressivo do desmatamento entre o ano de 2017 e 2021. Em 2017, a área desmatada em células

consolidadas era de aproximadamente 199 mil hectares. Em quatro anos, esse valor subiu para 306 mil hectares, enquanto o padrão multidirecional teve um aumento de aproximadamente 91 mil hectares neste mesmo período (Tabela 1-4).

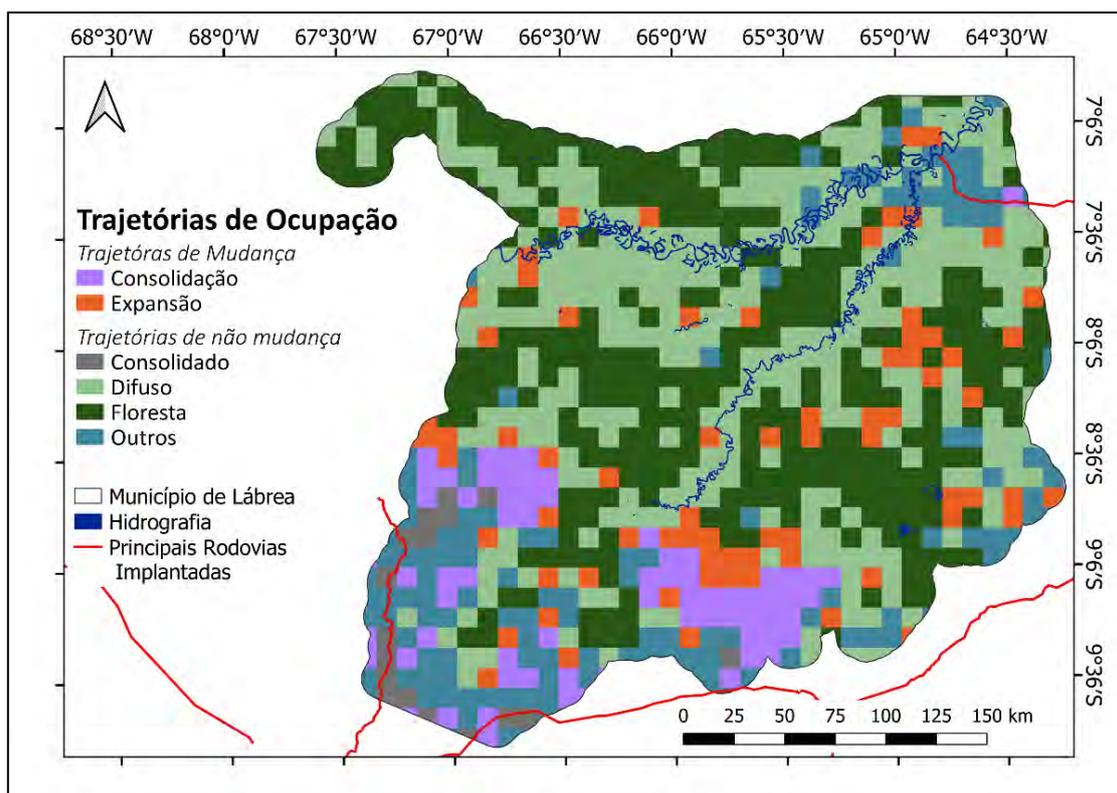
Outra observação importante está relacionada à redução gradual de células classificadas como linear (i.e., de 4,3% a 3,1%) e geométrico (i.e., de 8,5% a 6,6%) (Figura 1-11). Considerando que estes padrões estão relacionados, respectivamente, a estágios de ocupação iniciais e intermediários, o aumento da área desmatada nas células implica a transição para padrões em estágios mais avançados. Assim, ao longo dos anos, uma célula de padrão linear mudou para o padrão geométrico, e o padrão geométrico, por sua vez, progrediu para o multidirecional ou consolidado.

Apesar de estas classes terem apresentado dinâmicas semelhantes ao longo dos anos em relação ao número de células, a proporção de desmatamento foi diferente. A área desmatada em células lineares reduziu de 7,1 mil hectares (1,2%) em 2008 para 3,9 mil (0,4%) em 2021, mantendo a baixa porcentagem de desmatamento em relação aos outros padrões entre os anos analisados (Tabela 1-4; Figura 1-12). Por sua vez, as células do padrão geométrico ocuparam uma área 13 vezes maior do que as células com padrão linear, somando 92,3 mil hectares desmatados em 2008, o que representa 15,6% do total desmatado.

A porcentagem de células constituídas pelo padrão espinha de peixe se manteve baixa ao longo dos anos, de modo que em 2008 representava 1,6% das células, e em 2013, passou a representar 3%, se mantendo nessa porcentagem até o ano de 2021 (Figura 1-11). O desmatamento com padrão espinha de peixe aumentou de 26,7 mil hectares para 61 mil, quase duplicando de área de 2008 para 2021 (Tabela 1-4). A proporção do desmatamento para este padrão também aumentou ao longo dos anos, porém, em relação as demais classes, alcançou apenas 8,1% de todo o desmatamento em Lábrea no ano de 2017 (Figura 1-12).

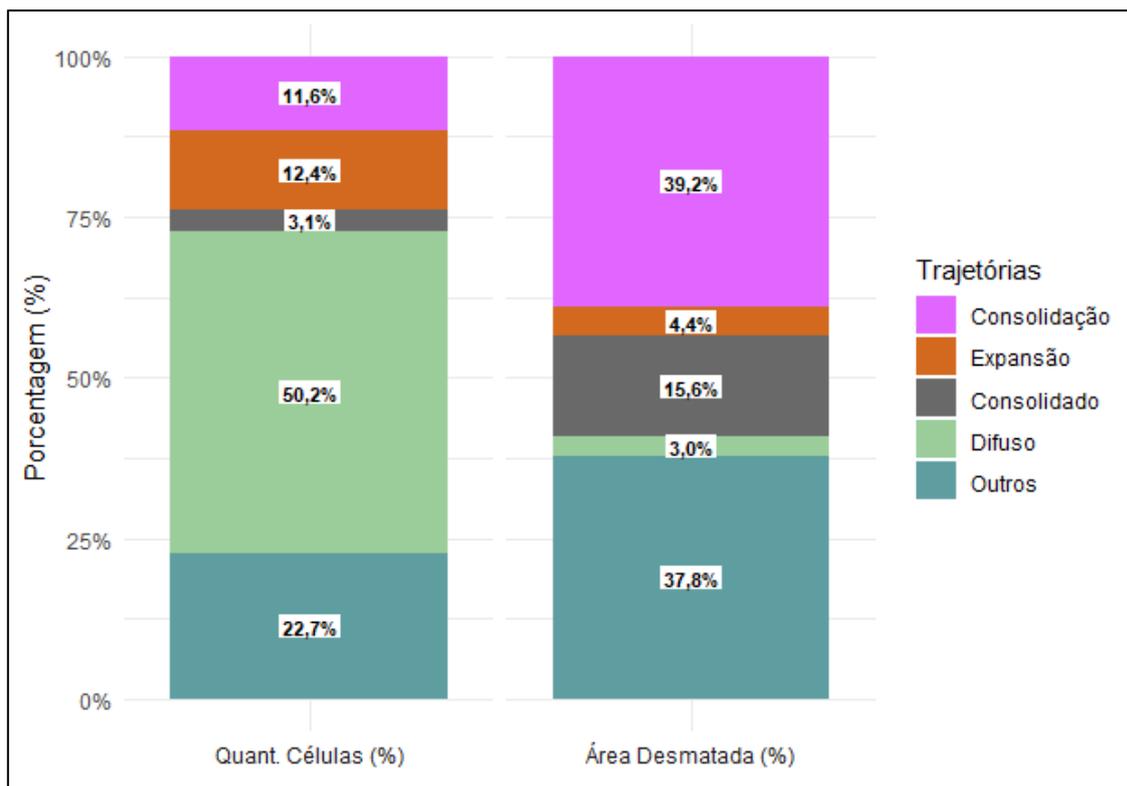
### **Análise das trajetórias de desmatamento**

A trajetória final do desmatamento para Lábrea (i.e., entre o ano de 2008 e 2021), obtida a partir da análise das mudanças dos padrões em diferentes estágios de ocupação, está apresentada na Figura 1-13.



**Figura 1-13.** Mapa final das trajetórias de desmatamento de 2008 a 2021 para o município de Lábrea-AM. A trajetória de não mudança “Outros” é representada pelos padrões espinha de peixe, geométrico, linear e multidirecional.

Conforme exposto na Figura 1-13, as células que apresentaram trajetórias de mudança (i.e., consolidação e expansão) estão localizadas principalmente na região sul de Lábrea, e, apesar da baixa frequência em relação as demais (24%), representaram 43,6% do desmatamento em 2021 (Figura 1-14). A área desmatada nas células em consolidação e em expansão equivale a 371,1 mil e 42,3 mil ha, respectivamente (Tabela 1-5). As células em expansão próximas aos rios e às trajetórias de não mudança composta pelo padrão difuso estão relacionadas principalmente a transição de floresta para o padrão difuso, conforme observado na Figura 1-10, que corresponde a menores áreas desmatadas.



**Figura 1-14.** Proporção do número de células em relação à área desmatada para cada trajetória do ano de 2008 a 2021 em Lábrea.

**Tabela 1-5.** Área total desmatada, em hectares, para cada trajetória do desmatamento de 2008 a 2021 no município de Lábrea.

Trajetoária do Desmatamento	Área Desmatada (ha)
Consolidação	371.130,91
Expansão	42.295,23
Consolidado	148.292,22
Difuso	28.841,04
Outros	359.048,62
<b>Total</b>	<b>949.608,02</b>

As trajetórias de não mudança são retratadas pelas células que mantiveram o mesmo padrão, sendo elas: consolidado, difuso e outros (i.e., as células que durante todo o período da análise mantiveram padrões linear, geométrico, espinha de peixe e multidirecional). A trajetória de não mudança consolidado apresentou a menor porcentagem de células (3,1%), contudo a área desmatada foi de 15,6% (Figura 1-14). Estas células se referem às áreas onde havia uma dinâmica intensa de desmatamento anterior ao ano de 2008, e que se apresentavam previamente consolidadas devido ao montante de desmatamento observado. A área total desmatada nessas células até o ano de 2021 foi de 148,3 mil ha (Tabela 1-5).

As maiores frequências observadas pertencem às trajetórias de não mudança denominadas difuso e outros (Figura 1-14). As células que mantiveram o padrão difuso (sem mudança) ao longo dos anos apresentaram a maior frequência, representando 50,2% do total de células de Lábrea. No entanto, como mencionado anteriormente, o padrão difuso é caracterizado por áreas de ocupação inicial pouco dinâmicas, portanto, a proporção de área desmatada foi de apenas 3,0 % que representa, em área, 28,8 mil ha (Tabela 1-5).

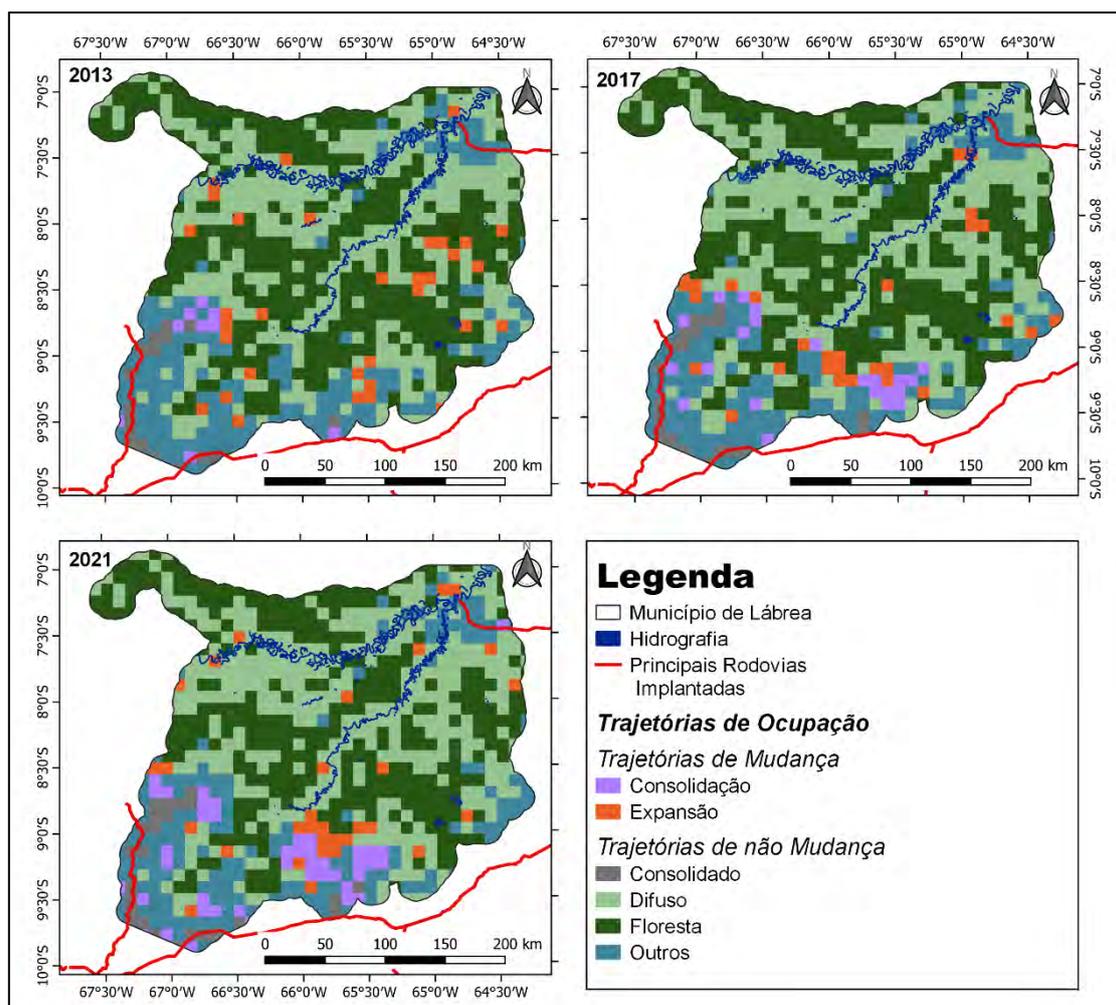
As células classificadas como “outros” compreenderam 22,7% da área de estudo (Figura 1-14). Esta trajetória de não mudança foi responsável por 37,8% do desmatamento em Lábrea e corresponde a uma área estimada de 359 mil ha em 2021 (Tabela 1-5). Do total de células classificadas como “outros”, os padrões multidirecional e geométrico apresentaram a mesma proporção (36,5%), sendo que uma área de 263,2 mil ha (73,3%) está relacionada ao desmatamento pelo padrão multidirecional e 77 mil ha (21,5%) se refere às células que apresentaram o padrão geométrico (Tabela 1-6).

**Tabela 1-6.** Porcentagens de células e desmatamento para os padrões de ocupação que compõem a trajetória final denominada de “Outros”.

<b>Padrões de Desmatamento</b>	<b>Núm. de Células (%)</b>	<b>Área Desmatada (ha)</b>	<b>Área Desmatada (%)</b>
Espinha de Peixe	4,4%	14.290,36	4,0%
Geométrico	36,5%	77.062,04	21,5%
Linear	22,6%	4.509,48	1,2%
Multidirecional	36,5%	263.186,74	73,3%
<b>Total Geral</b>	<b>100%</b>	<b>359.048,62</b>	<b>100%</b>

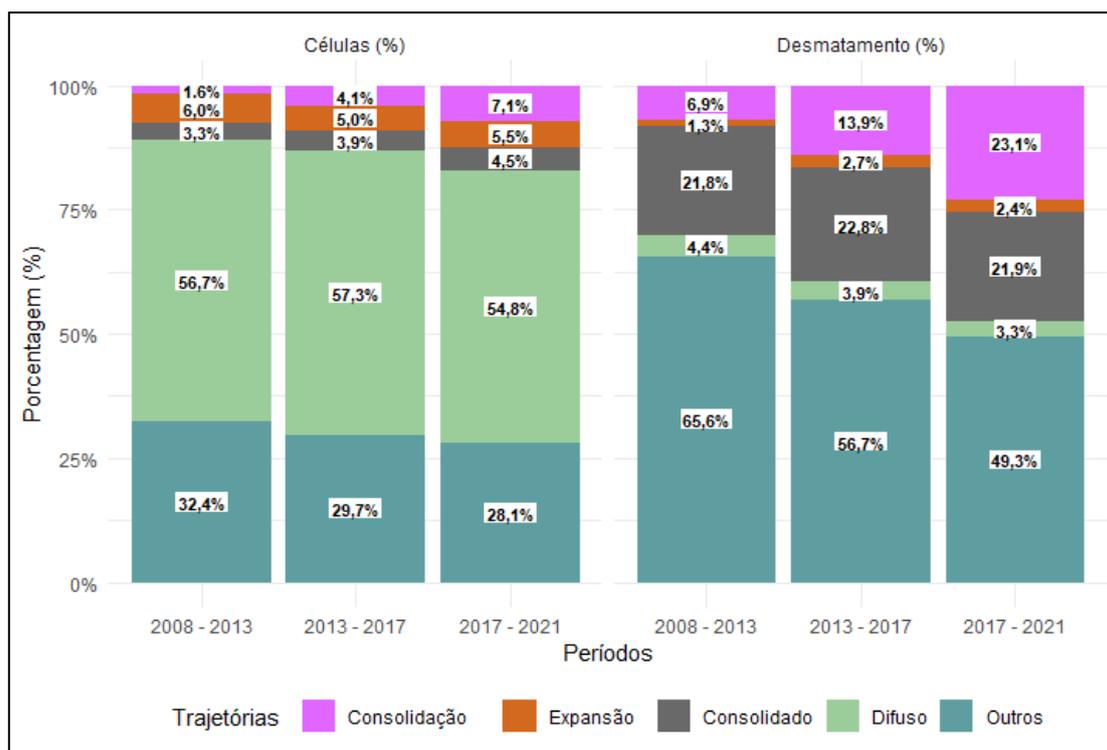
### **Análise temporal da evolução das trajetórias de desmatamento**

A Figura 1-15 ilustra a evolução temporal das trajetórias durante os três intervalos de tempo entre os anos de 2008 e 2021 (i.e., de 2008 a 2013, de 2013 a 2017 e de 2017 a 2021). Estes recortes temporais permitiram compreender a transição dos padrões de desmatamento ao longo destes três períodos analisados, possibilitando associar a evolução das trajetórias à diferentes dinâmicas de desmatamento.



**Figura 1-15.** Mapas da evolução das trajetórias de ocupação para os períodos de 2008-2013, 2013-2017, 2017-2021 para o município de Lábrea-AM.

Os gráficos contidos na Figura 1-16 apresentam a evolução das trajetórias, relacionando a frequência das classes com o percentual de desmatamento. As trajetórias de mudança (i.e., consolidação e expansão) e a trajetória sem mudança consolidado (i.e., células que mantiveram padrão consolidado) apresentaram frequências semelhantes e com um pequeno aumento ao longo dos anos, mas que se manteve inferior ao número de células das trajetórias difuso e “outros” (i.e., células que mantiveram padrões espinha de peixe, linear e multidirecional nos períodos analisados).



**Figura 1-16.** Distribuição percentual das trajetórias de ocupação no município de Lábrea nos períodos de 2008 a 2013, 2013 a 2017 e 2017 a 2021.

Em relação ao percentual de desmatamento representado na Figura 1-16, tanto as células com trajetória consolidada quanto as células em expansão apresentaram um aumento do desmate nos dois primeiros períodos, ao passo que as áreas desmatadas acumuladas em ambas as classes aumentaram ao decorrer dos anos. A contribuição das áreas consolidadas para o desmatamento em Lábrea foi maior do que nas áreas de expansão para os três períodos (Tabela 1-7). Inicialmente, entre os anos de 2008 e 2013, o desmatamento em células consolidadas correspondia a 140,4 mil ha, atingindo no período final (2017 a 2021) 208,1 mil ha. Enquanto nas células em expansão, a área desmatada variou de 8,4 mil ha para 23,2 mil ha, um aumento aproximado de 14,8 mil ha.

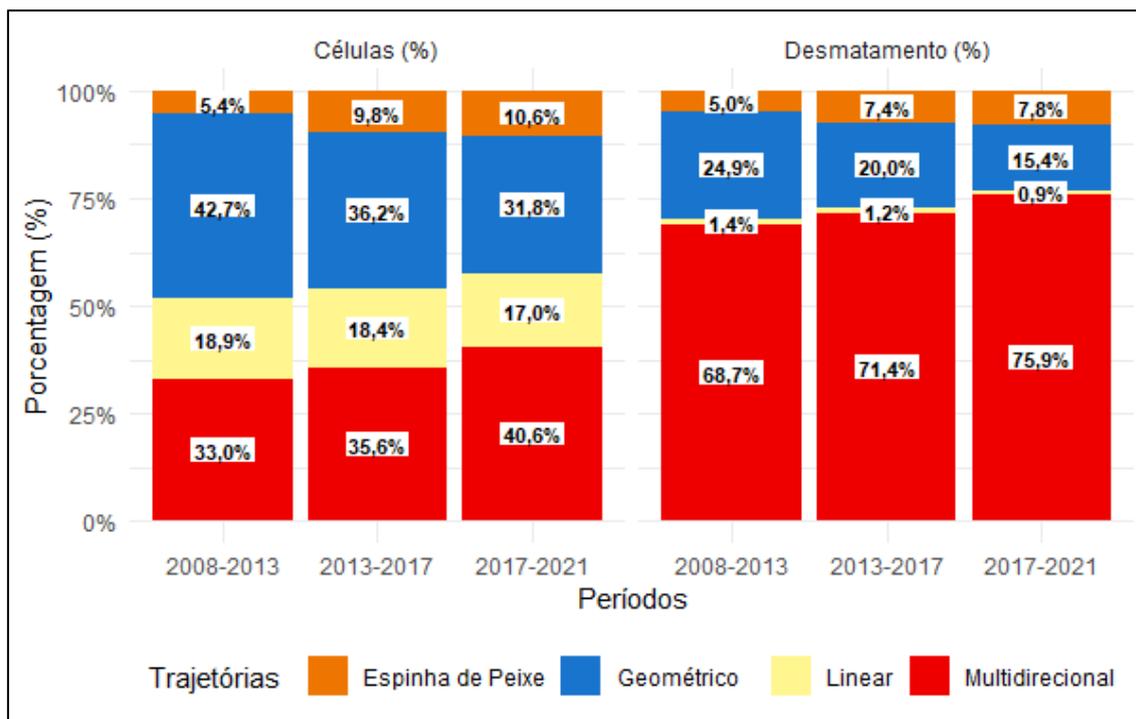
Em contrapartida, as células que apresentaram a trajetória consolidação tiveram um aumento expressivo da porcentagem desmatada, variando de 6,9% a 23,1% do desmatamento total (Figura 1-16). O aumento observado do desmatamento nas áreas em consolidação foi de aproximadamente 174,8 mil ha (Tabela 1-7), de modo que, a princípio, a área desmatada era de 44 mil ha, e nos anos seguintes aumentou para 218,8 mil ha, ultrapassando a área consolidada nos últimos quatros anos (i.e., de 2017 a 2021).

**Tabela 1-7.** Evolução da área acumulada desmatada, em hectares, para cada trajetória de desmatamento no município de Lábrea nos anos 2013, 2017 e 2021.

Trajetória do Desmatamento	Área Acumulada Desmatada (ha)		
	2013	2017	2021
Consolidação	44.020,46	105.362,05	218.808,65
Expansão	8.404,12	20.439,34	23.194,62
Consolidado	140.410,42	172.030,38	208.133,11
Difuso	28.385,44	29.714,26	30.893,13
Outros	422.557,02	428.591,76	468.578,51
<b>Total</b>	<b>643.777,46</b>	<b>756.137,79</b>	<b>949.608,02</b>

As trajetórias de não mudança classificadas como difuso e “outros” apresentaram comportamentos semelhantes em relação à frequência das células e ao percentual de desmatamento, diminuindo em relação aos valores iniciais. No entanto a relação entre a proporção de células e a proporção de desmatamento se distinguiu entre estas classes. Enquanto a frequência das células que mantiveram padrões difusos variou de 54,8% a 57,3%, sendo a principal trajetória observada, o desmatamento representado por esta classe foi inferior a 4,4% (Figura 1-16). A trajetória denominada “outros” apresentou menores porcentagens de células (i.e., 28,1% a 32,4%) e, em contrapartida, estas células foram as que mais contribuíram com o desmatamento em Lábrea, apresentando valores que diminuíram de 65,6% para 49,3%.

A Figura 1-17 mostra as frequências dos padrões com as respectivas proporções de desmatamento nas células classificadas com a trajetória “outros” (i.e., compostas pela proporção de não mudança dos padrões espinha de peixe, geométrico, linear e multidirecional). Os padrões geométrico e multidirecional tiveram as maiores frequências, representando entre 30% e 40% da trajetória de não mudança dentro do grupo “outros”. Estes padrões também foram os que apresentaram as maiores contribuições para desmatamento observado nesta trajetória, de modo que, enquanto a porcentagem de células e área desmatada relativa ao padrão multidirecional aumenta, observou-se que o padrão geométrico diminui. Isto pode indicar que o desmatamento aumentou nestas células, fazendo com que deixem de fazer parte da trajetória de não mudança, alterando para padrões de desmatamento em estágios mais avançados de ocupação (i.e., ocorre um aumento do desmatamento nas células com padrão geométrico que mudam para padrões multidirecional ou consolidado, ressaltando que no próximo período analisado tem-se um menor número de células com padrões geométricos e uma menor porcentagem de desmatamento representado por elas).



**Figura 1-17.** Evolução dos padrões de ocupação que compõem as trajetórias de não mudança (i.e., outros) no município de Lábrea nos períodos de 2008 a 2013, 2013 a 2017 e 2017 a 2021.

A área acumulada desmatada nas células que apresentaram trajetória de não mudança e foram classificadas com padrão geométrico reduziu-se de 105,0 mil ha para 72,2 mil ha (42,7% e 31,8%, respectivamente) entre o período inicial e o final (Tabela 1-8). O padrão de ocupação multidirecional representou entre 68,7% e 75,9% do desmatamento, verificando-se um aumento da área desmatada, partindo de 290,4 mil ha até o ano de 2013 e chegando a 355,7 mil ha em 2021.

**Tabela 1-8.** Evolução da área de desmatamento acumulado, em hectares, para cada trajetória de desmatamento no município de Lábrea nos anos 2013, 2017 e 2021.

Trajetórias de não-mudança	Área Acumulada Desmatada (ha)		
	2013	2017	2021
Espinha de Peixe	21.178,91	31.889,09	36.712,66
Geométrico	105.006,87	85.597,67	72.156,55
Linear	6.006,93	5.078,34	4.041,19
Multidirecional	290.364,30	306.026,66	355.668,11
<b>Total</b>	<b>422.557,02</b>	<b>428.591,76</b>	<b>468.578,51</b>

Para os demais padrões (linear e espinha de peixe) as proporções referentes ao número de células e à área desmatada foram menores. Observou-se um aumento da área desmatada para o padrão espinha de peixe, apresentando no último período 7,8% do desmatamento, o que equivale a 36,7 mil ha (Tabela 1-8). Por sua vez, as células que mantiveram o padrão linear, apesar de terem apresentado maior frequência do que o padrão anterior, tiveram uma redução na área desmatada ao longo dos anos. Ambos os padrões estão relacionados, principalmente, aos estágios iniciais e intermediários de ocupação, sendo frequente as mudanças para padrões mais avançados ao longo dos anos.

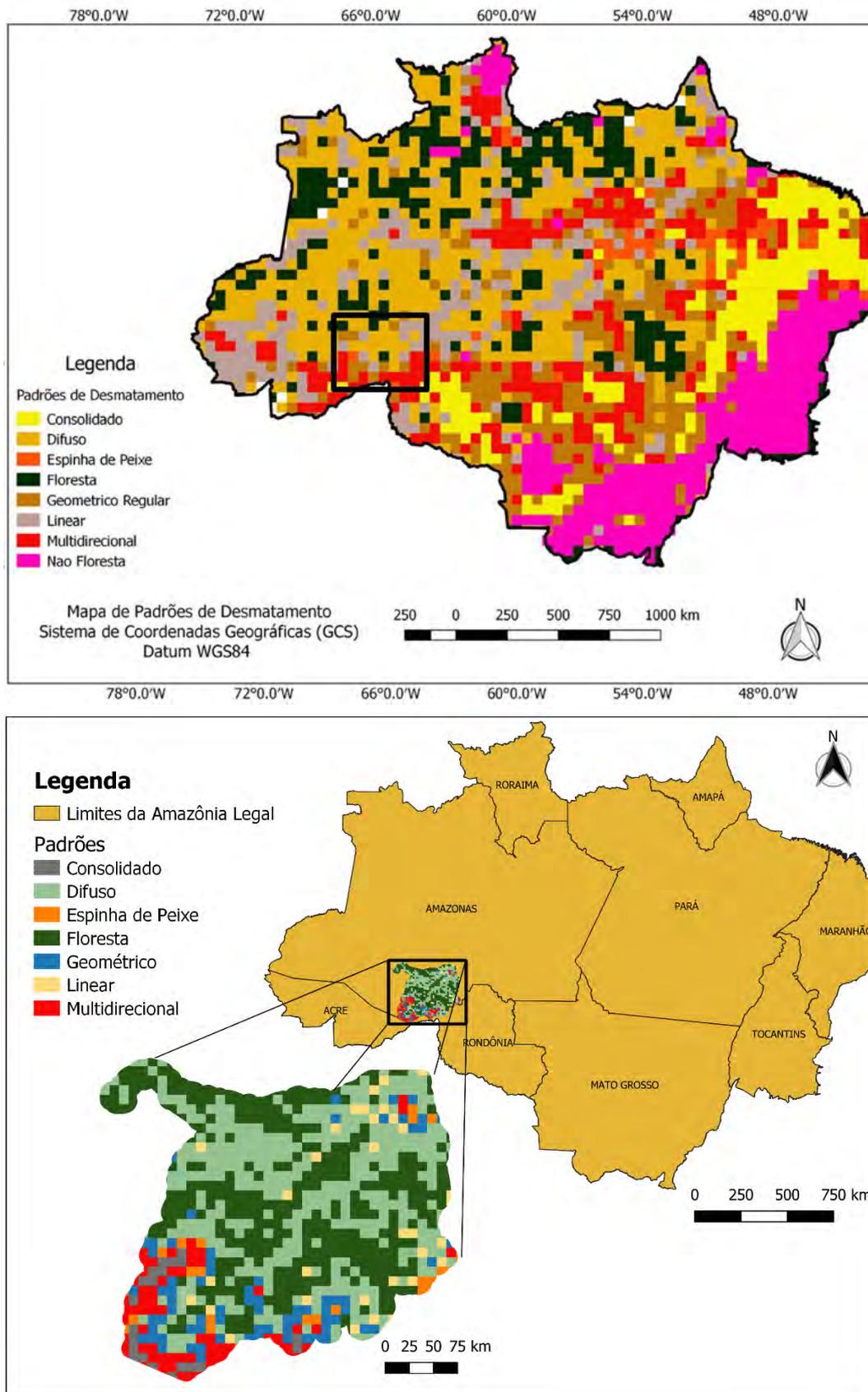
## DISCUSSÃO

Os resultados obtidos das classificações dos padrões e trajetórias de desmatamento observados em Lábrea deste estudo podem ser relacionados com outros estudos realizados em regiões que apresentaram dinâmicas de ocupação semelhantes às encontradas neste município, permitindo identificar fatores que possam ter influenciado nos resultados encontrados.

Um estudo recente realizado por Maurano *et al.* (2019)<sup>4</sup> utilizou grades celulares com resolução de 50 × 50 km para toda região da Amazônia Legal. É possível verificar semelhanças com o nosso trabalho realizado em um contexto local, apesar das divergências causadas principalmente pela diferença entre as escalas e em relação aos anos analisados (Saito *et al.*, 2011). Em ambos os estudos, observam-se padrões de desmatamento em estágios intermediários e avançados (i.e., geométrico e multidirecional, respectivamente) concentrados na porção sul da área de estudo, além da presença do padrão difuso distribuído na região (Figura 1-18). Na análise de Maurano *et al.* (2019), o padrão consolidado não foi observado em Lábrea, o que se explica justamente pela diferença entre as escalas da análise.

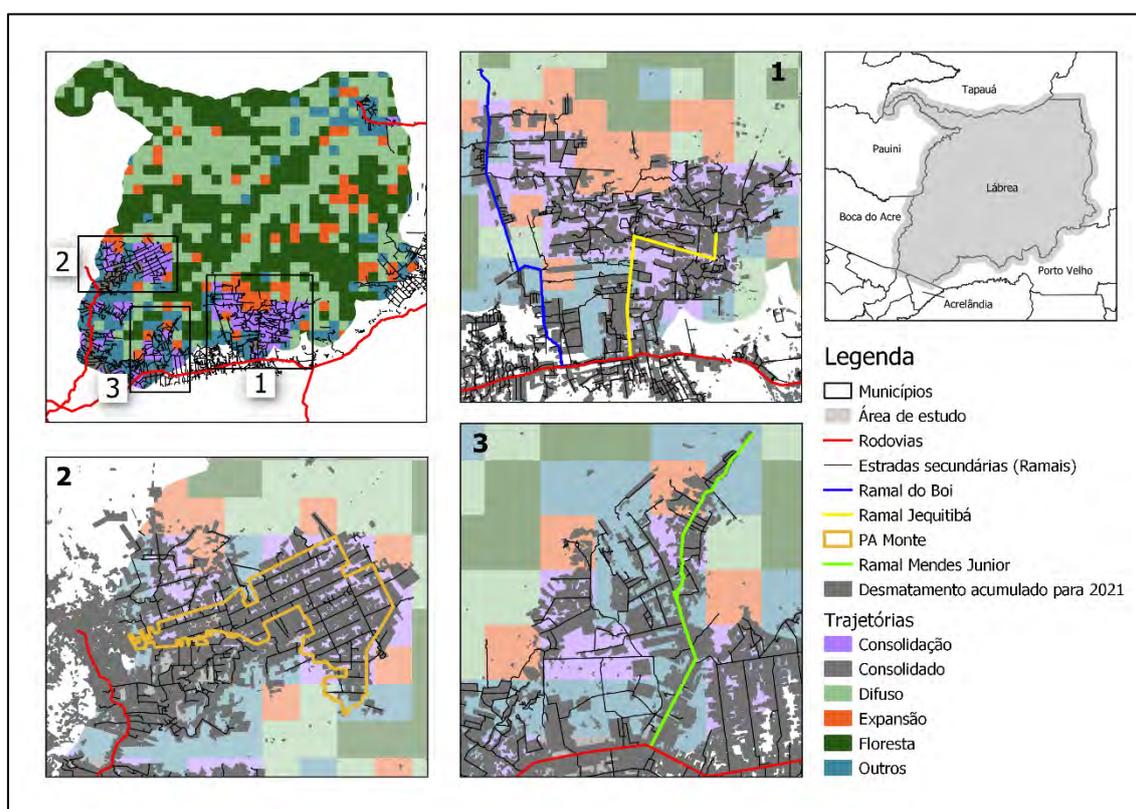
---

<sup>4</sup> Maurano *et al.* (2019) analisaram os padrões espaciais de desmatamento a partir dos mapas do PRODES para a Amazônia Legal Brasileira. Os dados de desmatamento foram de 2014 mapeados em células de 50 × 50 km.



**Figura 1-18.** Comparativo entre os resultados do estudo de Maurano *et al.* (2019) para o ano de 2014 (acima) e o mapa dos padrões de desmatamento para o ano de 2013 deste estudo (abaixo).

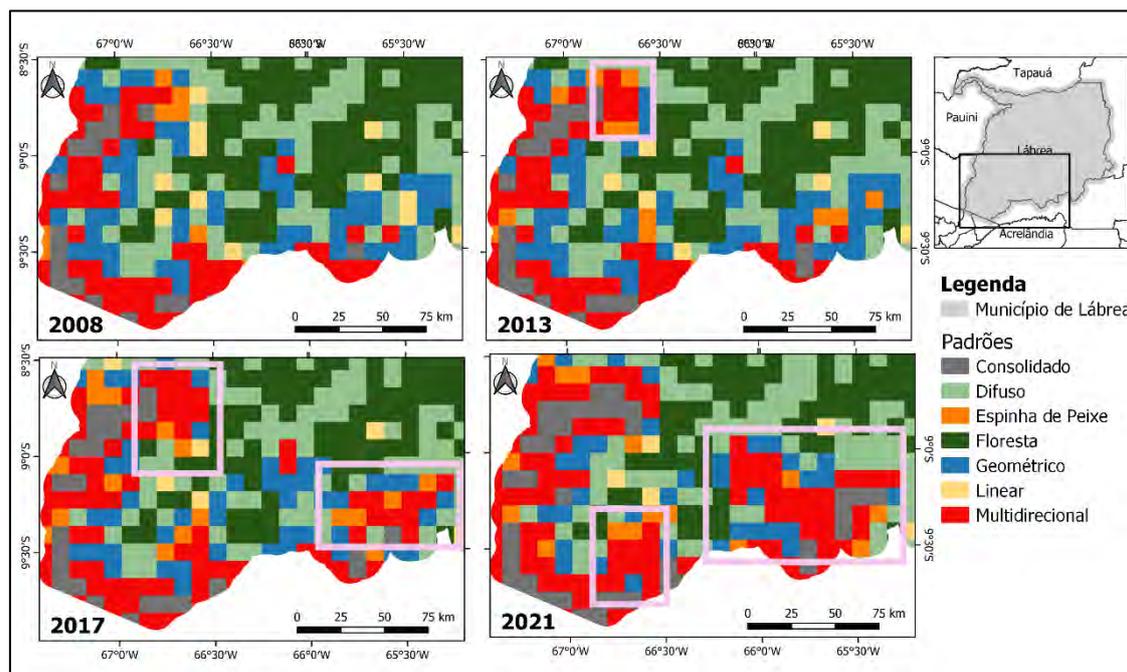
Durante os períodos analisados, os padrões com estágios avançados de ocupação multidirecionais e consolidados localizaram-se principalmente na região sul de Lábrea, constituindo-se na trajetória de consolidação (Figura 1-19). As células em consolidação foram observadas, principalmente, em duas áreas específicas em Lábrea, que também foram relatadas por Tomasi e Galeão (2016), sendo: uma porção próxima ao distrito de Vista Alegre do Abunã, cortada pelos ramais do Boi e Jequitibá (Área 1; Figura 1-19); e uma outra área próxima à sede do município de Boca do Acre, onde está inserido o Projeto de Assentamento (PA) Monte (Área 2). Além dessas duas áreas, nesta análise, a trajetória de consolidação também foi observada próximo ao ramal Mendes Junior, que está localizado próximo a tríplice fronteira entre os estados do Amazonas, Acre e Rondônia (Área 3).



**Figura 1-19.** Mapas das regiões de avanço das trajetórias em consolidação para o município de Lábrea de 2008 a 2021.

As trajetórias de consolidação das regiões apresentadas na Figura 1-19 parecem ter se intensificado principalmente nos últimos quatro anos, pois, observando a evolução temporal dos padrões e trajetórias de ocupação, foi possível perceber dois importantes pontos: o aumento de células multidirecionais (classificadas como trajetória de consolidação na Figura 1-19), próximo aos ramais do Boi e Jequitibá no ano de 2021, e a

presença de células em consolidação onde o desmatamento está concentrado, seguida das células em expansão nessa mesma região (Figura 1-20). A dinâmica observada nessas regiões parece demonstrar a influência dos ramais como vetores para expansão de novas áreas de desmatamento (Fearnside *et al.*, 2009; Santos Junior *et al.*, 2018; Souza *et al.*, 2017). Esta expansão pode indicar o avanço do desmatamento sobre as demais áreas do município e, em um determinado momento, caso medidas de controle não sejam tomadas, o desmatamento pode avançar ainda mais sobre as áreas protegidas.



**Figura 1-20.** Evolução das células com padrão multidirecional na região sul de Lábrea para os anos de 2008, 2013, 2017 e 2021. Os retângulos ressaltam as áreas onde observamos a ocorrência do padrão de desmatamento multidirecional.

O padrão geométrico se encontra próximo às áreas com estágios avançados de ocupação (i.e., multidirecional e consolidado) e são característicos de ocupações por médios e grandes produtores rurais, tendo como atividade principal a pecuária (Gavlak *et al.*, 2011; Saito *et al.*, 2011), conforme observado na Figura 1-21, que apresenta uma fotografia tirada durante o trabalho de campo nos ramais do Boi e Jequitibá. As regiões em que estão inseridos estes padrões também coincidem com a presença de imóveis cadastrados no CAR que se sobrepõem a terras públicas não destinadas. Este tipo de sobreposição representa um indicativo da grilagem de terras (Azevedo-Ramos *et al.*, 2020; Moutinho, 2022; IPAM, 2021).



**Figura 1-21.** Fotografia evidenciando a atividade pecuária no ramal do Boi, município de Lábrea-AM.

O padrão de desmatamento difuso foi predominante no território de Lábrea, e se concentrou, principalmente, na região central do município próximo aos rios Purus e Ituxi. Nestas regiões, a presença de pequenos imóveis e populações ribeirinhas com práticas agroextrativistas de baixo impacto são comuns, o que caracteriza os pequenos polígonos de desmatamento do padrão difuso (Schubart, 1983). Padrões similares a estes também foram encontrados por Gavlak (2011) no Distrito Florestal Sustentável (DFS) da BR-163 localizado na região oeste do Pará, e por Saito *et al.* (2011) para uma porção da Amazônia Legal que engloba parte dos estados do Pará, Mato Grosso e a fronteira com o Amazonas.

Em 2008, dada a intensa pressão sofrida pelas associações extrativistas com indícios do avanço do desmatamento, o governo federal criou quatro unidades de conservação, sendo duas Reservas Extrativistas (i.e., Resex Médio Purus e do Ituxi) solicitadas pelas organizações sociais, um Parque Nacional e uma Floresta Nacional (i.e., PARNA Mapinguari e FLONA do Iquiri), criadas no contexto da pavimentação da BR-319, que liga o município de Porto Velho a Manaus (Franco, 2011; Tomasi e Galeao, 2016). Visto que a frequência do padrão difuso não sofreu grandes alterações nos anos seguintes, assim como a proporção que esse padrão representou em área desmatada, constituindo-se como uma trajetória sem mudança, presume-se que a maior parte do desmatamento observado nas células difusas ocorreu antes de 2008. Isto também demonstra o efeito das áreas protegidas na contenção do desmatamento, impedindo que padrões que podem ser associados às ocupações em estágios iniciais apresentassem

estágios mais avançados de ocupação e desmatamento (Soares-Filho *et al.*, 2010; Vitel *et al.*, 2009; Walker *et al.*, 2020).

O padrão linear está associado aos estágios iniciais de ocupação principalmente no entorno de estradas secundárias (vicinais). Dependendo da região em que estejam inseridas, as células com este padrão podem evoluir facilmente para estágios mais avançados do desmatamento, atuando como vetor para perda de floresta em áreas até então sem acesso. Neste estudo, a proporção de células classificadas como linear foi pequena quando comparada aos demais padrões, de modo que estas células foram distribuídas em áreas próximas à sede municipal e às áreas de assentamento. Importante observar que as matrizes de confusão dos anos analisados indicaram que houve erro de classificação entre o padrão linear e os padrões espinha de peixe e geométrico. Estes erros também foram encontrados por Gavlak (2011), devido à baixa frequência deste padrão em sua área de estudo.

Embora estudos relacionem o padrão espinha de peixe como resultado da evolução dos padrões lineares em algumas regiões próximas a estágios iniciais da construção de rodovias, como é o caso da BR-319 e BR-364 (Saito, 2010; Sampaio e Costa, 2009), este comportamento não foi tão evidente no presente estudo. Isto pode estar associado ao estágio de ocupação de Lábrea, que nos anos analisados apresentou padrões de ocupação mais avançados (i.e., multidirecional e consolidado). Além disso, a expansão do desmatamento, a partir dos ramais (i.e., estradas secundárias) conectados às rodovias principais na região sul do município, ocorreu anterior ao ano de 2008, sendo observada uma grande parcela de trajetórias de não mudança dentro dos limites da área de estudo (Franco, 2011).

Foi possível estabelecer relações entre o padrão espinha de peixe e os estágios iniciais e intermediários de ocupação nos projetos de assentamento. Ao analisar a evolução dos padrões para os assentamentos existentes, é possível perceber que o PA Monte, próximo à sede de Boca do Acre, apresentou inicialmente este padrão. Sobrepondo-se as células com os limites do assentamento, foi possível perceber que o Projeto de Desenvolvimento Sustentável (PDS) Gedeão também apresenta padrões de espinha de peixe, apesar de ser um PDS, ou seja, um projeto de assentamento considerado “ambientalmente diferenciado”, onde os atores e o padrão de desmatamento deveriam ser distintos de um tradicional PA. A presença dos padrões espinha de peixe nos períodos iniciais da análise também está relacionada ao processo de ocupação desses projetos de assentamento, que foi mais intenso na década de 2000 (Tomasi e Galeao, 2016). Os erros

de classificação no mapeamento deste padrão estão relacionados à perda da estrutura espacial devido ao tamanho da célula (Saito *et al.*, 2012).

Por fim, em um contexto geral, os resultados apresentados indicaram que existe no sul de Lábrea, especificamente, próximo aos ramais do Boi e Jequitibá, uma intensificação do desmatamento nos últimos anos, que se difere da região norte, onde está localizada sua sede. As causas para consolidação e expansão do desmatamento nessa região são várias, sendo elas: desmonte das políticas ambientais, aumento dos conflitos no campo, enfraquecimento da fiscalização ambiental, grilagem de terras e proximidade com rodovias e áreas de alta pressão do desmatamento (Brito *et al.*, 2019; Ferrante e Fearnside, 2019; Azevedo-Ramos *et al.*, 2020; Vale *et al.*, 2021). Assim, estudos que aprofundem a relação das dinâmicas de ocupação com variáveis econômicas, sociais e ambientais são necessários para definir ações estratégicas para frear o desmatamento que avança sobre as áreas de floresta no município de Lábrea.

## CONCLUSÃO

Os resultados obtidos permitiram identificar os diferentes processos de ocupação, evidenciando que a dinâmica do desmatamento na região sul de Lábrea se difere das áreas próximas aos rios e à sede municipal. Os padrões de ocupação predominantes na área de estudo correspondem principalmente às classes floresta e difuso, que representam respectivamente a ausência de desmatamento e estágios iniciais de ocupação. No entanto, os padrões que apresentaram maior contribuição para a área desmatada foram as classes multidirecional e consolidado que indicam estágios avançados de ocupação. Em 2021, as trajetórias de não mudança constituídas pelo padrão difuso e multidirecional ocupavam a maior parte do território de Lábrea. Enquanto a trajetória consolidação, apesar de sua menor frequência, correspondeu a maior área desmatada no município.

A distribuição do desmatamento indica que na porção de Lábrea onde estão concentradas as áreas protegidas prevaleceu o padrão difuso ao longo dos anos analisados, estabelecendo uma trajetória de não mudança (i.e., trajetória difuso). Por outro lado, a região de fronteira com os estados de Rondônia e Acre é constituída majoritariamente por áreas com a trajetória consolidação, que nos últimos quatro anos (i.e., de 2017 até 2021) teve um maior aumento da perda de floresta. O crescimento desta trajetória está relacionado principalmente ao aumento, neste mesmo período, do padrão multidirecional (i.e., estágio avançado de ocupação) nesta região. Próximas à estas trajetórias foram identificadas zonas de expansão que avançam da região sul do Amazonas sobre novas áreas ao norte.

A análise de padrões e trajetórias de mudanças no uso da terra possibilita o entendimento sobre como e onde a dinâmica do desmatamento ocorre, indicando os principais atores responsáveis por essa dinâmica. Portanto, esta técnica pode contribuir para o desenvolvimento de políticas públicas com foco na conservação e proteção de florestas em Lábrea e outras regiões semelhantes.

É necessário fortalecer as áreas protegidas que, como observado, possuem um papel importante no controle do desmatamento no município de Lábrea. Além disso, estudos futuros que busquem relacionar as ocupações na região sul do município com fatores sociais e econômicos serão essenciais para compreender a dinâmica desta área com o intuito de desenvolver ações efetivas para reverter o cenário atual.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alencar, A.; Moutinho, P.; Arruda, V.; Silvério, D. 2020. Amazônia em chamas – O fogo e o desmatamento em 2019 e o que vem em 2020. Nota técnica n° 3. Brasília: *Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia*. (<https://ipam.org.br/bibliotecas/amazonia-em-chamas-3-o-fogo-e-o-desmatamento-em-2019-e-o-que-vem-em-2020>). Acesso:16/02/2021.
- Antunes, A.F.B.; Lingnau, C. 1997. Uso dos índices de acurácia para avaliação de mapas temáticos obtidos por meio de classificação digital. III Congresso e Feira para Usuário de geoprocessamento. *Anais...Curitiba: Sagres*.
- Assis, L.F.F.G. Ferreira, K.R.; Vinhas, L.; Maurano, L.; Almeida, C.; Carvalho, A.; Rodrigues, J.; Maciel, A.; Camargo, C. 2019. *TerraBrasilis: A Spatial Data Analytics Infrastructure for Large-Scale Thematic Mapping*. ISPRS International Journal of Geo-Information, 8(513). <https://doi.org/10.3390/ijgi8110513>.
- Assis, T.O.; Escada, M.I.S.; Amaral, S. 2021. Effects of deforestation over the Cerrado landscape: A study in the Bahia frontier. *Land*, 10(4).
- Azeredo, M.; Monteiro, A.M.V.; Escada, M.I.S.; Ferreira, K.R.; Vinhas, L.; Pinheiro, T.F. 2016. Mineração de trajetórias de mudança de cobertura da terra em estudos de degradação florestal. *Revista Brasileira de Cartografia*, 68(4). 717–731p.
- Azevedo-Ramos, C. Moutinho, P.; Arruda, V.L.S.; Stabile, M.C.C.; Alencar, A.; Castro, I.; Ribeiro, J.P. 2020. Lawless land in no man’s land: The undesignated public forests in the Brazilian Amazon. *Land Use Policy*, 99, art. 104863. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104863>.
- Becker, B. K. 2005. *Geopolítica da Amazônia*. Estudos Avançados. 19(53). 71-86p. <https://doi.org/10.1590/S0103-40142005000100005>.
- Brito, B.; Barreto, P.; Brandão Jr., A.; Baima, S.; Gomes, P.H. 2019. Stimulus for land grabbing and deforestation in the Brazilian Amazon. *Environmental Research Letters*, 14(4).
- Congalton, R.G. 1991. A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. *Remote Sensing Environmental*, 37. 35–46p.
- Congalton, R.G.; Green, K. 1999. Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices, *Lewis Publishers*, Boca Raton, Florida, 137p.
- CPT (Comissão Pastoral da Terra). 2021. *Conflitos no Campo*. Brasil: CEDOC Dom Tomás Balduino - CPT. ([www.cptnacional.org.br](http://www.cptnacional.org.br)). Acesso: 09/06/2021.
- Diniz, A.M. 2002. Migração e evolução na fronteira agrícola. In. XIII Encontro da Associação Brasileira de Estudos Populacionais, Ouro Preto, Minas Gerais, 2002. *Anais... Ouro Preto, Minas Gerais*, 26p.

Fearnside, P.M.; Graça, P.M.L.A.; Keizer, E.W.H.; Maldonado, F.D.; Barbosa, R.I.; Nogueira, E.M. 2009. Modelagem de desmatamento e emissões de gases de efeito estufa na região sob influência da rodovia Manaus-Porto Velho (BR-319). *Revista Brasileira de Meteorologia*, 24(2). 208-233p.

Ferrante, L.; Fearnside, P.M. 2019. Brazil's new president and 'ruralists' threaten Amazonian's environment, traditional peoples and the global climate. *Environmental Conservation*, 46. 261-263p. <https://doi.org/10.1017/S0376892919000213>.

Franco, M.H.M. 2011. Novas Configurações territoriais no Purus indígena e extrativista. In: Gilton Mendes dos Santos (Org). *Álbum Purus*. Manaus: EDUA, 1. 153-166p.

Gavlak, A.A.; Escada, M.I.S.; Monteiro, A.M.V. 2011. Dinâmica de padrões de mudança de uso e cobertura da terra na região do Distrito Florestal Sustentável da BR- 163. In: Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 6152-6160p.

Gavlak, A.A. 2011. *Padrões de mudança de cobertura da terra e dinâmica populacional no distrito florestal sustentável da BR-163: população, espaço e ambiente*. Dissertação (Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto). São José dos Campos: INPE.

Hudson, W.D.; Ramm, C.W. 1987. Correct Formulation of the Kappa Coefficient of Agreement. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53(4). 421-422p.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2017. *Censo Agropecuário 2017 - Resultados definitivos*. (<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/am/labrea/pesquisa/24/76693>). Acesso: 07/02/2021.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2021. *Malha Municipal*. (<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads>). Acesso: 14/08/2021.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2020. Solos. (<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>). Acesso: 11/01/2021.

ICMBIO (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade). 2021. *Unidades de Conservação*. (<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>). Acesso: 15/01/2021.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). 2020. *TerraView*. São José dos Campos. INPE. (<https://www.dpi.inpe.br/terralib5/wiki/doku.php?id=wiki:downloads>). Acesso: 02/04/2022.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). 2021. Desmatamento - Amazônia Legal. INPE, Coordenação Geral de Observação da Terra. *Programa de Monitoramento da Amazônia e Demais Biomas*. (<http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads/>). Acesso: 09/06/2021.

IPAM (Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia). 2021. Invasão de terras públicas foi a principal causa do desmatamento na Amazônia. *IPAM*, 22 nov. (<https://ipam.org.br/invasao-de-terras-publicas-foi-a-principal-causa-do-desmatamento-na-amazonia/>). Acesso: 03/01/2022.

Körting, T.S.; Fonseca, L.M.G.; Escada, M.I.S.; Silva, F.C.; Silva, M. 2008. GeoDMA – A novel system for spatial data mining. Proceedings - IEEE International Conference on Data Mining Workshops, ICDM Workshops 2008. *Anais...*

Maurano, L.E.P.; Escada, M.I.S.; Renno, C.D. 2019. Padrões espaciais de desmatamento e a estimativa da exatidão dos mapas do PRODES para Amazônia Legal Brasileira. *Ciência Florestal*, Santa Maria, 29(4). 1763-1775p. <https://doi.org/10.5902/1980509834380>.

McGarigal, K.; Marks, B.J. 1995. *FRAGSTATS*: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Washington: United State Department of Agriculture, 132p., ag. (Pacific Northwest Research Station General Technical Report PNW-GTR-351).

Mertens B.; Lambin, E.F. 1997. Spatial modeling of deforestation in southern Cameroon. Spatial disaggregation of diverse deforestation processes. *Applied Geography*, 17(2). 143-162p.

Moutinho, P. 2022. Comissão de Meio Ambiente debate denúncia fraude no Cadastro Ambiental Rural em 25 de maio de 2022. *TV Senado*. (<https://www12.senado.leg.br/noticias/videos/2022/05/ao-vivo-cma-debate-fraude-do-cadastro-ambiental-rural-para-grilagem>). Acesso: 02/05/2022.

Oliveira Filho, F.J.B.; Metzger, J.P. 2006. Threshold in landscape structure for three common deforestation patterns in the Brazilian Amazon. *Landscape Ecology*, (21). 1061-1073p.

Pereira, L.M.; Escada, M.I.; Renno, C.D. 2007. Análise da evolução do desmatamento em áreas de pequenas, médias e grandes propriedades na região centro-norte de Rondônia, entre 1985 e 2000. *Anais...* XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, 6905-6912p.

Pinheiro, T.F.; Escada, M.I.S.; Valeriano, D.M.; Hostert, P.; Gollnow, F.; Müller, H. 2016. Forest degradation associated with logging frontier expansion in the Amazon: The BR-163 region in southwestern Pará, Brazil. *Earth Interactions*, 20(17). 1 jul. 2016.

Quinlan, J.R. 2017. *C5.0*: an informal tutorial. (<https://www.rulequest.com/see5-unix.html>). Acesso: 09/05/2021.

RADAMBRASIL Projeto. 1978. *Folha no. SB 20 Purus*: geologia, pedologia, vegetação, e uso potencial da terra. Departamento Nacional de Produção Mineral, Rio de Janeiro, RJ, 566p.

Saito, E.A. 2010. *Caracterização de trajetórias de padrões de ocupação humana na Amazônia Legal por meio de mineração de dados*. (sid.inpe.br/mtcm19/2010/12.01.16.33-TDI). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 158p. (<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/38MM2TL>). Acesso: 12/12/2020.

Saito, E.A.; Fonseca, L.M.G.; Escada, M.I.S.; Körting, T.S. 2011. Análise de padrões de desmatamento e trajetória de padrões de ocupação humana na Amazônia usando técnicas de mineração de dados. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15. (SBSR). *Anais...* Curitiba.

Saito, E.A.; Fonseca, L.M.G.; Escada, M.I.S.; Körting, T.S. 2012. Efeitos da Mudança de Escala em Padrões de Desmatamento na Amazônia. *Revista Brasileira de Cartografia*, 63(03). 401–414 p.

Sampaio, L.S.; Costa, R.G.C. 2009. Estradas e suas relações socioambientais. In: Porro, R. (ed.). *Alternativa agroflorestal na Amazônia em transformação*. Brasília: *Embrapa informação tecnológica*, 825p. ISBN (978-85-7383-455-0).

Santos Junior, M.A. 2018. *BR-319 como propulsora de desmatamento: simulando o impacto da rodovia Manaus-Porto Velho*. IDESAM, Manaus.

SEEG (Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa). 2022. *SEEG*. (<http://seeg.eco.br/>). Acesso: 2022.

SFB (Serviço Florestal Brasileiro). 2021. *Cadastro Ambiental Rural*. (<http://www.car.gov.br/publico/imoveis/index>). Acesso: 14/02/2021.

Schubart, H.O.R. 1983. *Ecologia e utilização das florestas*. In: Salati, E. *Amazônia: desenvolvimento, integração e ecologia*. São Paulo: Brasiliense, 327p.

Silva, F.C.; Körting, T.S.; Fonseca, L.M.G.; Escada, M.I.S. 2007. Deforestation pattern characterization in the Brazilian Amazônia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13. (SBSR), Florianópolis. *Anais...* São José dos Campos: INPE. 6207-6214p. <http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.18.01.06>.

Silva, M.P.S.; Câmara, G.; Escada, M.I.S.; Souza, R.C.M. 2008. Remote-sensing image mining: detecting agents of land-use change in tropical forest areas. *International Journal of Remote Sensing*, 29(16). 4803-4822p.

Soares-Filho, B.; Moutinho, P.; Nepstad, D.; Anderson, A.; Rodrigues, H.; Garcia, R. 2010. Role of Brazilian Amazon protected areas in climate mitigation. In: 24 (Ed), *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 107, pp. 10821 – 10826. <http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0913048107>.

Souza, A.A.A.; Pontes, A.N.; Adami, M.; Narvaes, I.S. 2017. A contribuição das estradas e o padrão de desflorestamento e degradação da cobertura florestal no sudoeste paraense. *Revista Brasileira de Cartografia*, 69(9). 1711-1724p.

Story, M.; Congalton, R.G. 1986. Accuracy Assessment: A User's Perspective. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52(3). 397–399 p.

SUDAM (Superintendência do desenvolvimento da Amazônia). 2021. Release *AMACRO-Brasil*, 08 abr. 2021. 255.

Tavares, L.; Cordeiro, L. 2017. *Perfil socioeconômico e ambiental do sul do estado do Amazonas*: Subsídios para Análise da Paisagem. WWF–Brasil.

Tomasi, A.S.; Galeao, P. 2016. *Grilagem de Terras e Violência Agrária*: Criação e Extinção de um Projeto de Reforma Agrária no sul do Amazonas.

Vale, M.M.; Berenguer, E.; de Menezes, M.A.; de Castro, E.B.V; de Siqueira, L.P.; Portela, R.C.Q. 2021. The COVID-19 pandemic as an opportunity to weaken environmental protection in Brazil. *Biological Conservation*, 255, art. 108994. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.108994>.

Vitel, C.S.M.N; Fearnside, P.M.; Graça, P.M.L.A. 2009. Análise da inibição do desmatamento na parte Sudoeste do Arco de desmatamento. 6377-6384p. In: J.C.N. Epiphany & L.S. Galvão (Eds.) *Anais... XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, 2009. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos-São Paulo.

Walker, W.S.; Gorelik, S.R.; Bazzini, A.; Aragon-Osejo, J.L.; Josse, C.; Meyer, C.; *et al.* 2020. The role of forest conversion, degradation, and disturbance in the carbon dynamics of Amazon indigenous territories and protected areas. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 117(6). 3015-3025 p.

Yanai, A.M.; Graça, P.M.L.A.; Ziccardi, L.G.; Escada, M.I.S.; Fearnside, P.M. 2022. Brazil's Amazonian deforestation: the role of landholdings in undesignated public lands. *Regional Environmental Change*, 22(30). <https://doi.org/10.1007/s10113-022-01897-0>.

## CAPÍTULO 2

---

### Modelagem do Desmatamento

## INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a região sul do Amazonas apresentou as maiores taxas de desmatamento. Segundo o sistema PREVISIA, que estima áreas que apresentam risco de serem desmatadas a partir de um modelo estatístico de previsão do desmatamento, observou-se que 2.656 km<sup>2</sup> do território de Lábrea apresentava suscetibilidade para a ocorrência de novas derrubadas nos próximos 12 meses (PREVISIA, 2022). Neste contexto, a construção de rodovias que incentivam a entrada de novos agentes responsáveis pela expansão de novas áreas desmatadas se torna ainda mais preocupante, devido à sua proximidade com uma extensa área de floresta pública não destinada, atrativa para grileiros e ocupantes ilegais, em uma parte da chamada região “Trans-Purus” (Fearnside *et al.*, 2020).

Os modelos são considerados simplificações de relações complexas da realidade, como é o caso dos processos que influenciam as mudanças de uso da terra (Briassoulis, 2000). A modelagem dinâmica espacial (ou espacialmente explícita) baseada em autômatos celulares (em inglês *cellular automata* - CA) integra as dimensões espaciais e temporais da mudança a partir de variáveis biofísicas e socioeconômicas (Wolfram, 1983; Briassoulis, 2000).

Na Amazônia, alguns modelos espaciais da mudança de uso e cobertura da terra têm sido utilizados para simular cenários futuros em vista da construção de rodovias e pontes, da implementação de Unidades de Conservação e de modelos hidrológicos (Vitel, *et al.*, 2009; Ramos *et al.*, 2018; Santos Jr. *et al.*, 2018; Cruz *et al.*, 2022). As possibilidades de aplicação desta metodologia são extensas, podendo constar inúmeras variáveis que influenciam na perda de floresta. No entanto, existem poucos estudos que aplicaram a modelagem ambiental para predição de cenários futuros contendo atributos e variáveis específicas para atores e categorias fundiárias (Yanai *et al.* 2022). A identificação das dinâmicas existentes em cada região possibilita aplicar essas informações em modelos dinâmicos espaciais para projetar cenários futuros específicos para diferentes agentes responsáveis pela mudança. Isso contribui para que ações de controle e combate ao desmatamento sejam priorizadas e direcionadas a essas áreas e aos agentes responsáveis.

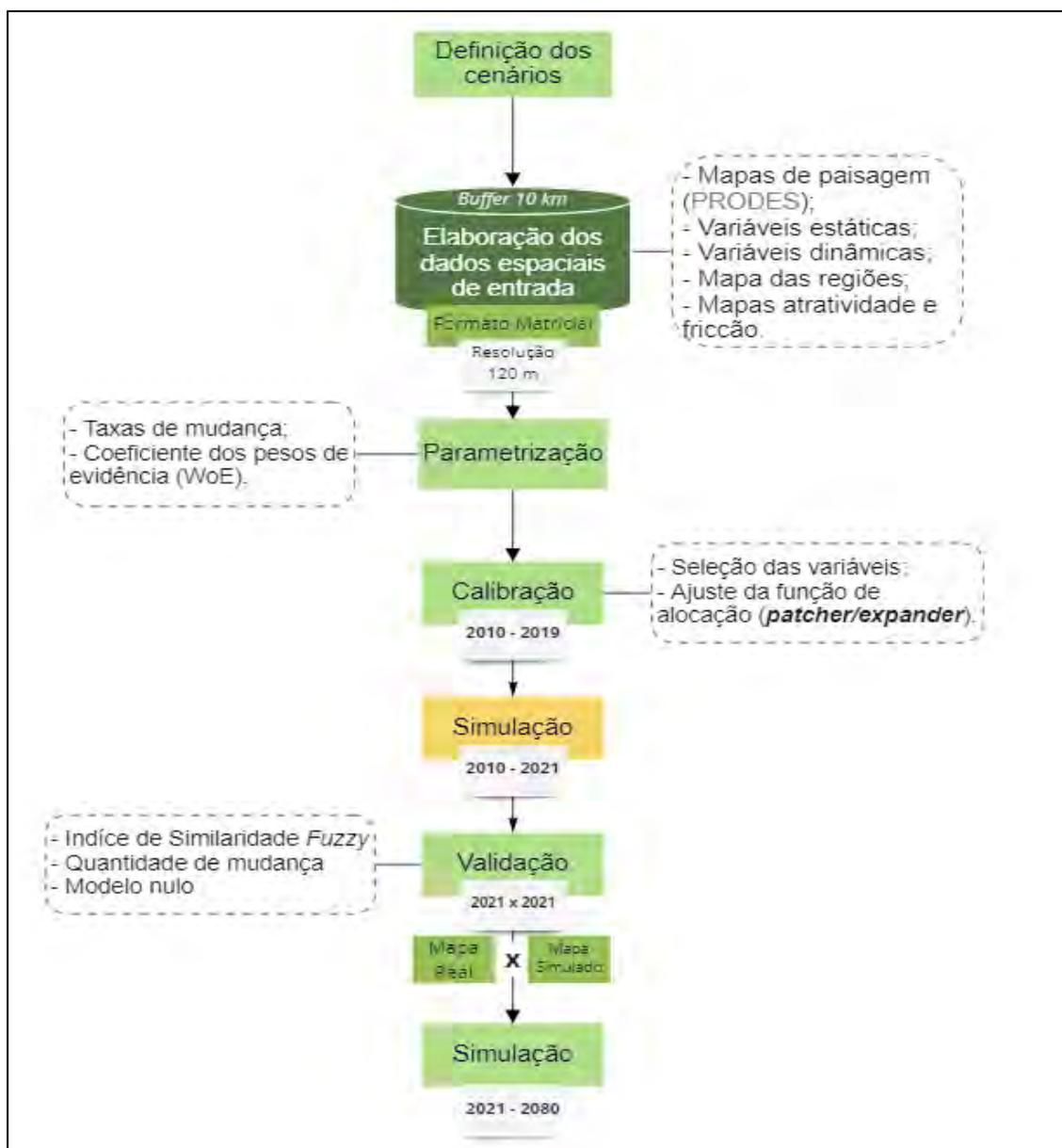
Neste sentido, o presente estudo buscou responder as seguintes questões: quais os cenários futuros para o município de Lábrea, considerando as dinâmicas recentes de ocupação e construção de rodovias planejadas para o município? Como ocorrerá a distribuição espacial do desmatamento dentro das diferentes categorias fundiárias analisadas? Para isso, utiliza-se a modelagem espacialmente explícita, a fim de simular cenários futuros no município de Lábrea, a partir da regionalização do município, considerando a ocupação por diferentes atores e categorias fundiárias (i.e., “imóveis”<sup>5</sup>, assentamentos, áreas protegidas e terras não destinadas).

---

<sup>5</sup> Os “imóveis” neste estudo se referem tanto aos registros do Sistema de Gestão Fundiárias (SIGEF) e do Sistema Nacional de Certificações de Imóveis (SNCI), como também às áreas que foram destinadas pelo programa Terra Legal e que ainda não se encontram no Acervo Fundiário do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA). Inclui ainda os cadastros autodeclarados no CAR, muitos sem ter o direito legal às terras reivindicadas.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O fluxo metodológico e os dados de entrada para realização da modelagem espacial do desmatamento para a área de estudo estão apresentados na Figura 2-1.



**Figura 2-1.** Fluxograma das etapas metodológicas para modelagem do desmatamento.

### Definição dos cenários simulados

Através da elaboração de um modelo preditivo que aborde as possíveis mudanças de cobertura da terra para os imóveis rurais, assentamentos, áreas protegidas e terras não destinadas, foram simulados possíveis cenários para a região de Lábrea até o ano de 2080 (Figura 2-2). Para isso, foram utilizadas as taxas anuais de desmatamento para os anos de

2010 a 2019. Esse período foi escolhido para abranger anos com menores taxas (i.e., de 2010 até 2014), assim como o aumento do desmatamento observado nos últimos anos, principalmente em 2019. Por fim, foram construídos os seguintes cenários:

- Cenário “Linha de Base” (LB): baseado na tendência histórica do desmatamento nas mesmas áreas para os anos de 2010 a 2019 durante toda a simulação;
- Cenário “Com Expansão” (CE): incluiu a construção das rodovias planejadas (i.e., BR-230, BR-317 e AM-165) para o ano de 2045. Portanto, a partir deste ano supõe-se que haverá um aumento das taxas de desmatamento para os imóveis maiores que 100 ha, áreas protegidas e terras não destinadas. A premissa neste cenário é que, com a construção das rodovias, ocorra um aumento do desmatamento nas regiões próximas às estradas planejadas.

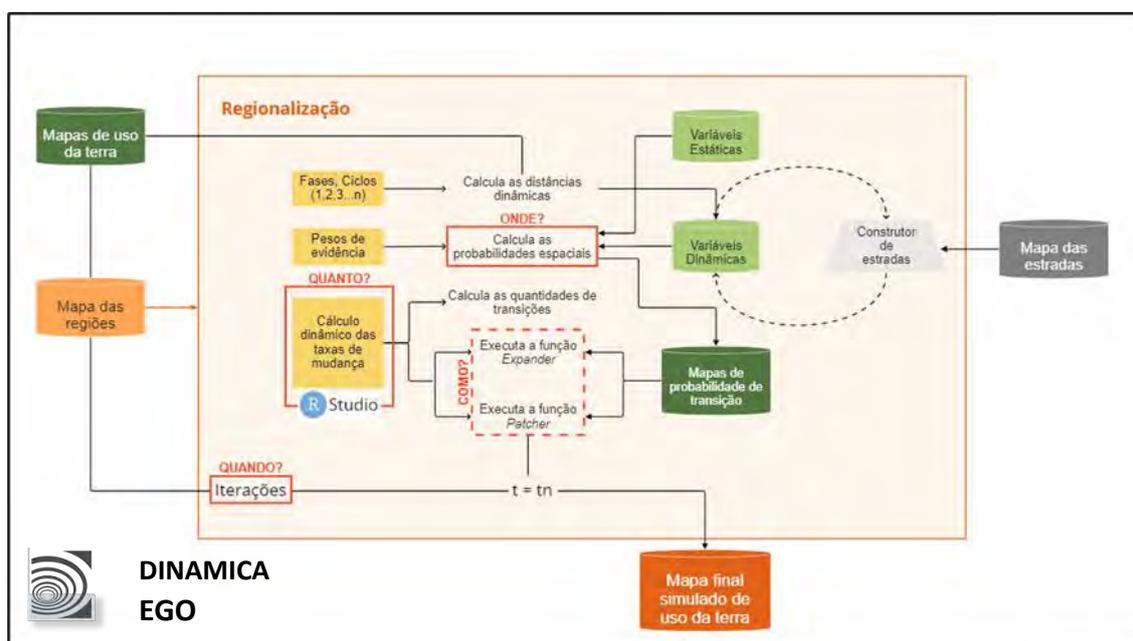


**Figura 2-2.** Descrição dos cenários simulados.

#### *Modelo espacial de cenários futuros*

A simulação do desmatamento para 2080 foi realizada no *software* livre Dinamica EGO (*Environment for Geoprocessing Objects*), desenvolvido pelo Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais (CSR-UFMG) (Soares-Filho *et al.*, 2009). Esta plataforma permite a execução de modelos dinâmicos espaciais (ou

espacialmente explícitos) baseados em autômatos celulares e no cálculo dos pesos de evidência utilizando o teorema de probabilidade condicional de Bayes (Wolfram, 1983; Bonham-Carter, 1994). Os modelos espacialmente explícitos têm como princípio a utilização de variáveis biofísicas e dinâmicas que influenciam a transição de floresta para desmatamento utilizando um horizonte de tempo predeterminado. O Dinamica EGO também possibilita a regionalização da área de estudo, permitindo que sejam atribuídos parâmetros específicos (i.e., taxas, pesos de evidência, tamanho médio e variância de tamanho de manchas para ambos os algoritmos de alocação de mudanças: *patcher* e *expander*, entre outros) para cada região. Uma síntese do modelo aplicado neste estudo é apresentada na Figura 2-3.



**Figura 2-3.** Esquema das etapas gerais do modelo de simulação para Lábrea (adaptado de Soares-Filho, 1998).

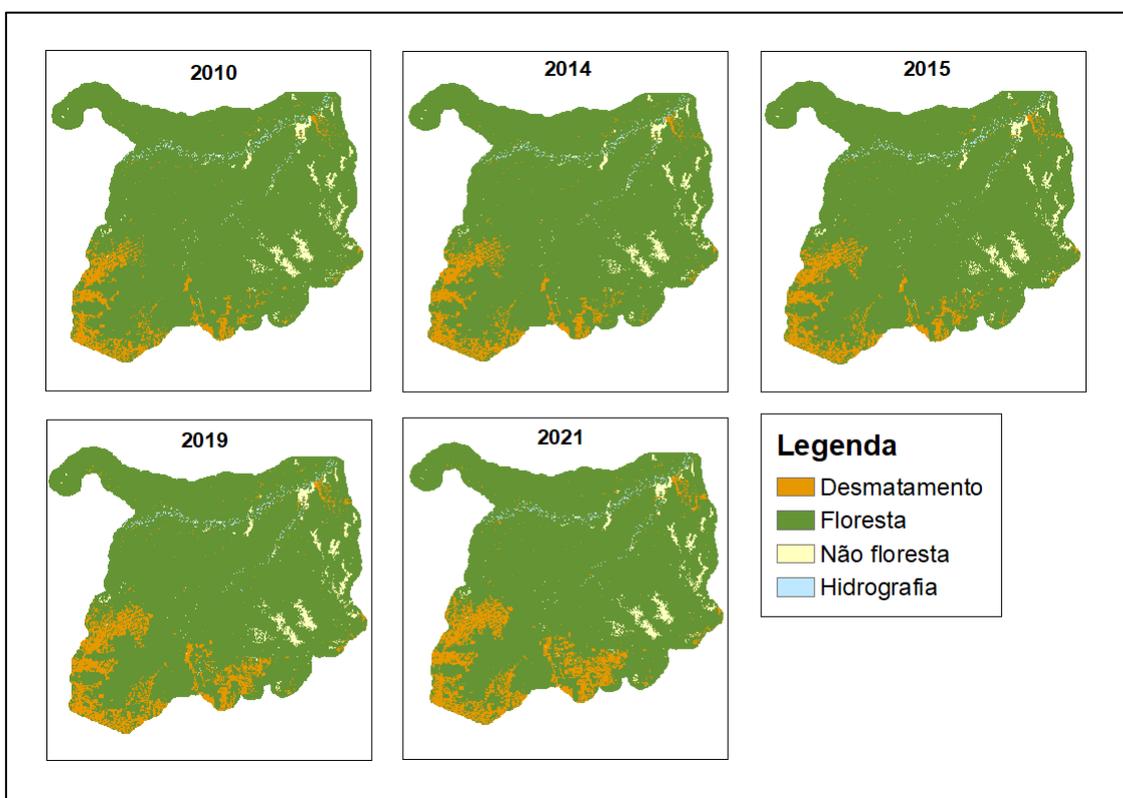
### Elaboração dos dados espaciais de entrada

Para simular os cenários propostos, foram elaborados os dados espaciais que se referem aos mapas de entrada para simulação da área de estudo, como: mapas da paisagem; mapas de variáveis estáticas e dinâmicas; mapas das regiões (áreas protegidas, imóveis rurais, assentamentos e terras não destinadas); e os mapas de atratividade e fricção, que fornecem informações para o construtor de estradas. A partir dos limites de Lábrea, foi delimitado um *buffer* de 10 km abrangendo a área no entorno do município, com o intuito de abranger uma área de possível influência e evitando também um efeito

de borda. Todos os mapas de entrada foram elaborados com a resolução espacial de 120 m.

### Mapas da paisagem

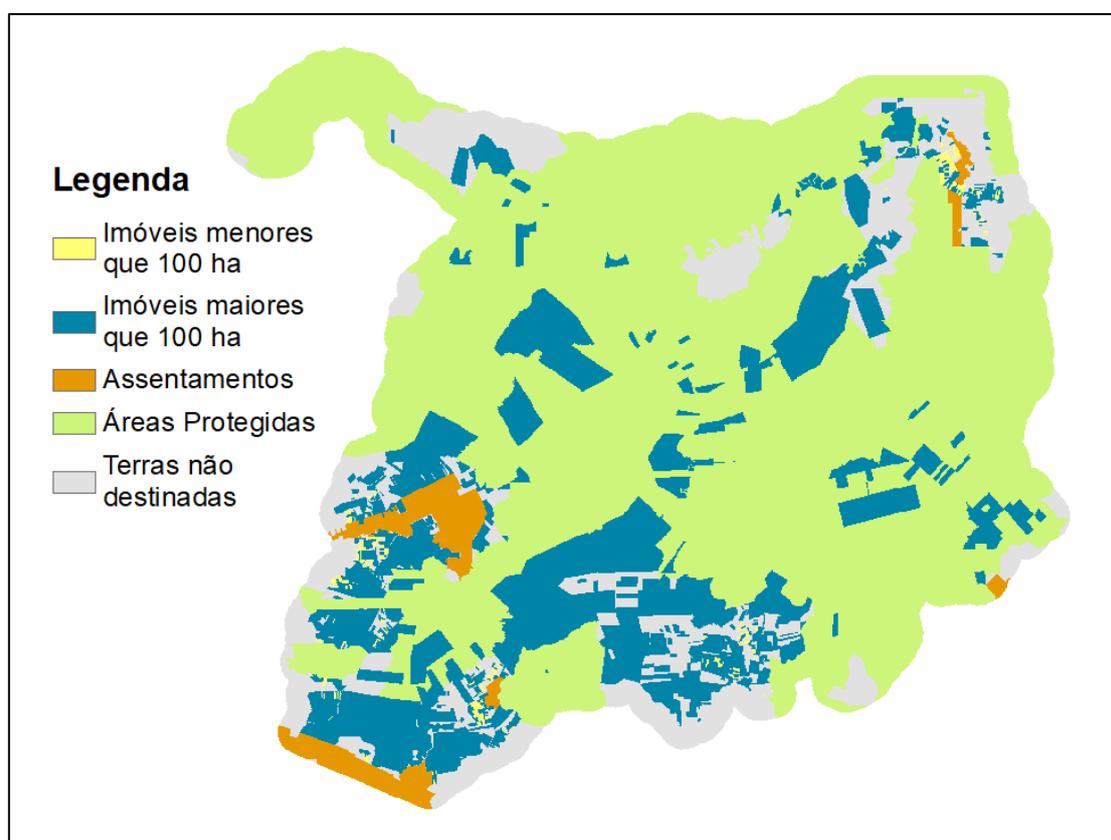
Os mapas de paisagem utilizados como dados de entrada para a calibração, validação e simulação propriamente dita foram obtidos a partir dos dados em formato matricial (*raster*) para toda a Amazônia Legal do PRODES para 2021 (INPE, 2021), que contêm as seguintes informações: desmatamento – incremento anual da perda de floresta por corte raso (2007-2021); floresta – cobertura de floresta original; não floresta – áreas que não estão sob domínio de vegetação com fisionomia florestal; hidrografia – rios, lagos e demais corpos d'água; e nuvem – estimativa das áreas de desmatamento sob nuvens. As áreas de nuvem foram reclassificadas para desmatamento de acordo com o ano. A partir dessas informações, foram gerados cinco mapas referentes aos anos de 2010, 2014, 2015, 2019 e 2021 (Figura 2-4). Os mapas de paisagem serviram de entrada para a modelagem nas seguintes etapas: 2010 e 2019 – calibração do modelo; 2010, 2014, 2015, 2019 e 2021 – cálculo das taxas de desmatamento nos diferentes cenários e categorias; 2010 e 2021 – validação do modelo; e 2021 – simulação dos cenários;



**Figura 2-4.** Mapas da paisagem para os anos 2010, 2014, 2015, 2019 e 2021 da área de estudo.

### Mapa das regiões

A área de estudo foi dividida em regiões para possibilitar o ajuste dos parâmetros em relação às diferentes categorias fundiárias. Este procedimento foi realizado no Dinamica EGO através da ferramenta "For Each Category", em que todas as etapas da modelagem são realizadas para cada classe ou categoria (Soares-Filho *et al.*, 2009). Este processo permitiu analisar as mudanças de forma específica para cada região. Assim, a área se dividiu em cinco regiões principais: áreas com imóveis menores que 100 ha (i.e., menor que um módulo fiscal); áreas com imóveis maiores que 100 ha (i.e., maior que 1 módulo fiscal); assentamentos; áreas protegidas e terras não destinadas (Figura 2-5).



**Figura 2-5.** Mapa das regiões.

Os dados dos imóveis e terras não destinadas foram obtidos a partir da classificação das categorias fundiárias para o município de Lábrea (Apêndice A-2). Os “imóveis” se referem aos cadastros auto declaratórios do CAR, aos registros no SIGEF/SNCI (Sistema de Gestão Fundiária/Sistema Nacional de Certificação de Imóveis) e às áreas do programa Terra Legal, ressaltando que neste estudo só foram considerados os imóveis dentro do município de Lábrea. As terras não destinadas são compostas por parte das camadas SIGEF/SNCI público e Terra Legal que ainda não foram

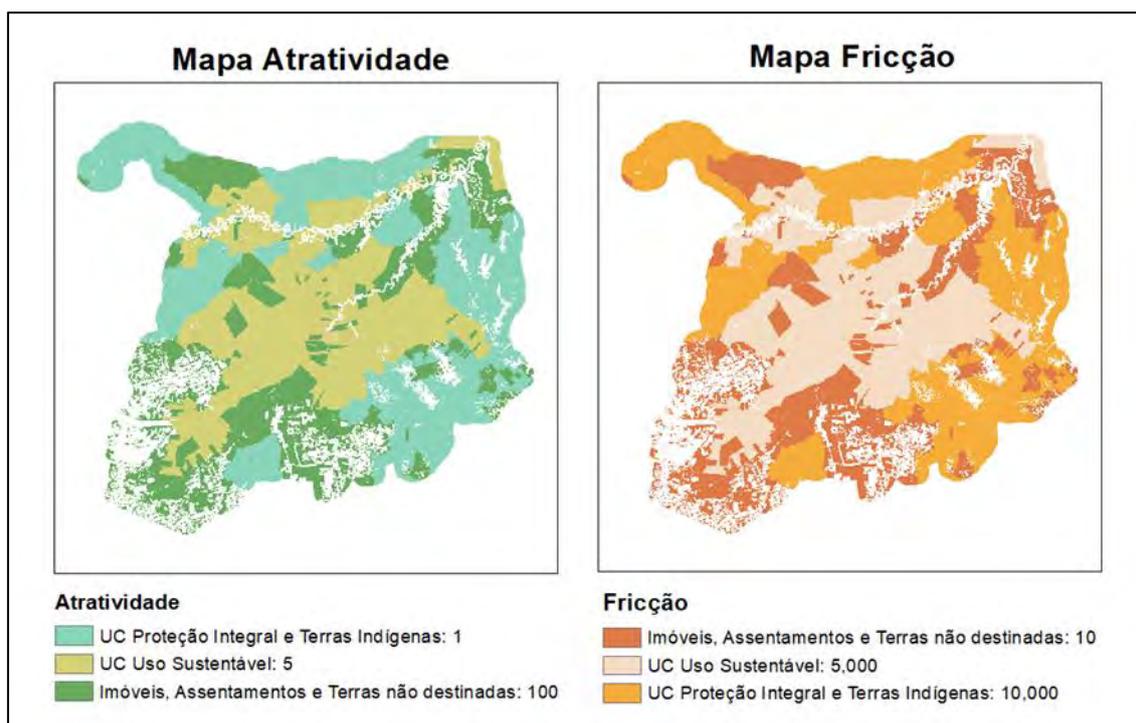
destinadas, além das florestas públicas do tipo B que estão registradas no Cadastro Nacional de Florestas Públicas (CNFP). Das terras não destinadas e áreas protegidas, foram excluídas as áreas que estavam sobrepostas pelos “imóveis”, garantindo que parâmetros específicos sejam atribuídos a essas áreas. Este procedimento foi adotado de modo que as sobreposições das reivindicações e dos "imóveis" sobre as terras públicas não destinadas e as áreas protegidas fossem mantidas.

Devido ao grande número de sobreposições existentes entre os cadastros do CAR, como também em relação a outros sistemas de informações fundiárias, foi aplicado um conjunto de regras para selecionar os cadastros que compreenderam as regiões dos imóveis. Maiores informações relacionadas ao filtro aplicado para remover as sobreposições entre as categorias e compor o mapa da região estão apresentadas no Apêndice A-2, assim como as descrições para as categorias fundiárias analisadas.

#### *Mapas de atratividade e fricção*

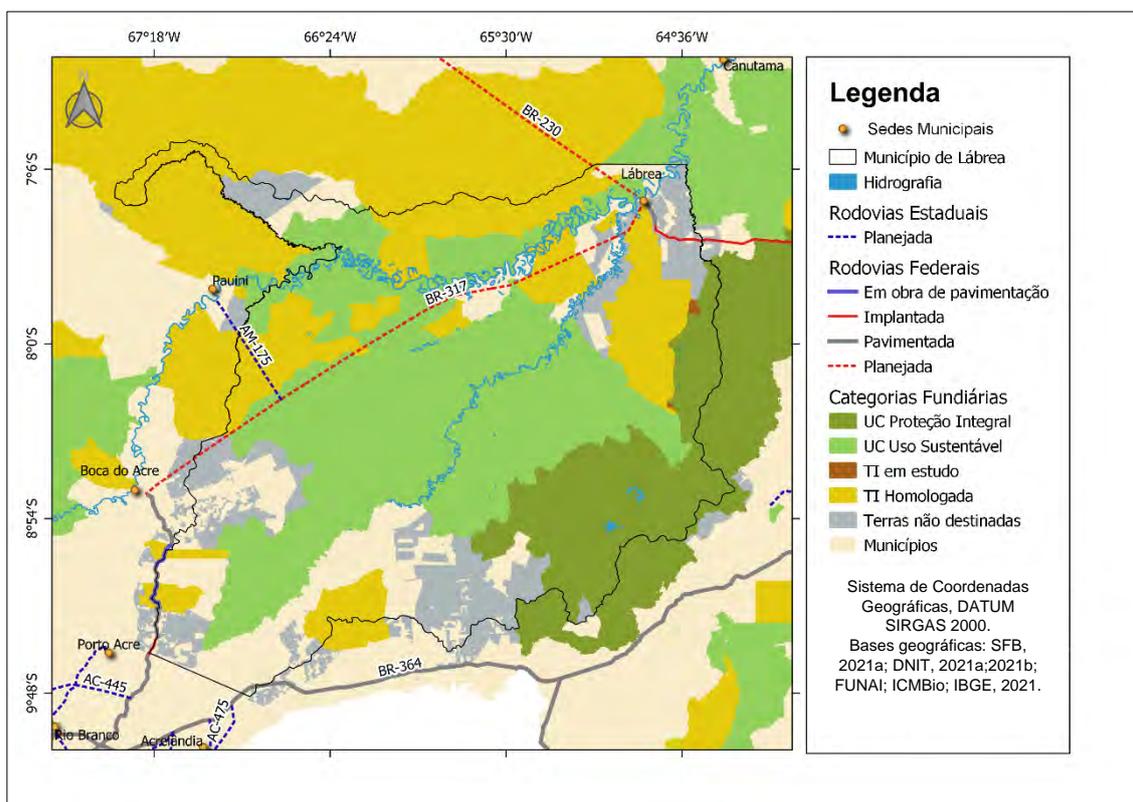
Os mapas de atratividade e fricção fornecem as informações sobre a aptidão e o custo de se construir estradas secundárias. Estes mapas são inseridos no módulo construtor de estradas do Dinamica EGO, que a cada iteração aloca novas estradas por toda a área de estudo baseada nos valores de atratividade e fricção da região. A atratividade está relacionada à predisposição de uma determinada área para comportar a construção de uma estrada, e quanto maior o seu valor, maiores são as possibilidades de o modelo simular novas estradas naquela região. A fricção se refere ao custo e aos esforços para se construir uma estrada, e, portanto, quanto maior o valor de fricção de uma categoria, menor a sua predisposição para receber uma estrada.

Neste estudo, foram definidos parâmetros de atratividade e fricção para as diferentes categorias fundiárias (i.e., regiões da área de estudo) (Figura 2-6). Na elaboração dos mapas, foram consideradas apenas as áreas classificadas como floresta, pois as demais regiões são nulas. As UCs de Proteção Integral e Terras Indígenas apresentam maiores níveis de proteção, logo, são menos susceptíveis à criação de estradas. Enquanto as UCs de Uso Sustentável são categorias de áreas protegidas com maior vulnerabilidade para a expansão de estradas. E, por fim, as regiões onde estão inseridos os imóveis, assentamento e terras não destinadas possuem alta predisposição para a construção de estradas (Yanai et al., 2022).



**Figura 2-6.** Mapas de atratividade e fricção com seus respectivos valores.

Além da simulação da expansão das estradas vicinais (i.e., estradas ilegais e ramais), também estão previstas para a área de estudo a expansão da BR-230 (Transamazônica), no trecho de Lábrea à Benjamin Constant, que visa interligar toda a região norte e que se sobrepõe a unidades de conservação e terras indígenas próximas à sede do município (Figura 2-7), assim como a extensão da rodovia federal BR-317 e a construção da rodovia estadual AM-175, que apresentam riscos similares de abertura de áreas para ocupação na região de estudo, com efeitos diretos e indiretos no aumento do desmatamento na região. A implantação destas estradas ainda não possui data definida, neste estudo, estimou-se que ambas seriam construídas no ano de 2045.



**Figura 2-7.** Mapa das rodovias estaduais e federais planejadas para o município de Lábrea – AM.

#### *Mapas das variáveis estáticas e dinâmicas*

A princípio, foram analisadas 15 variáveis explicativas que se dividem entre estáticas e dinâmicas, descritas na Tabela 2-1. As variáveis estáticas são aquelas que não estão sujeitas a sofrer mudanças ao longo de toda a simulação, sendo elas: mapa de distâncias aos rios, tipo de solo, vegetação, altitude, declividade, áreas protegidas, assentamentos e área de mineração. As variáveis dinâmicas se referem às distâncias às classes de uso e cobertura da terra, que mudam a cada iteração (i.e., no caso deste estudo, a cada ano simulado), como é o caso das distâncias ao desmatamento e às estradas secundárias.

**Tabela 2-1.** Variáveis utilizadas no modelo e as respectivas fontes indicando onde os dados foram obtidos.

<b>Variáveis de entrada</b>	<b>Descrição</b>	<b>Fonte</b>
<b>Assentamentos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Projeto de Assentamentos Tradicionais</li> <li>▪ Projeto de Assentamentos Especiais ou Ambientalmente Diferenciados</li> </ul>	INCRA (2020)
<b>Áreas protegidas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Unidade de Conservação de Proteção Integral</li> <li>▪ Unidade de Conservação de Uso Sustentável</li> </ul>	ICMBio (2020)
<b>Vegetação</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Terra Indígena Homologadas</li> <li>▪ Terra Indígena em estudo</li> </ul> <p>Tipos de vegetação na área de estudo</p>	FUNAI (2020) RADAMBRASIL (IBGE, 2020b)
<b>Solo</b>	Classes de solo na área de estudo	IBGE (2020a)
<b>Área de mineração</b>	Polígonos de requerimento de uma área para mineração em terras não destinadas.	Adaptado de SIGMINE (2021)
<b>Altitude</b>	Modelo Digital de Elevação (TOPODATA)	TOPODATA (BRASIL, 2008)
<b>Declividade</b>	derivado do Modelo Digital de Elevação (TOPODATA)	TOPODATA (BRASIL, 2008)
<b>Distâncias</b>	Rodovias principais existentes e planejadas	Dados provenientes do acervo do DNIT (2021a; 2021b) e calculando as distâncias pelo Dinamica-EGO.
	Estradas secundárias (ramais)	Atualização de bases existentes e calculando as distâncias pelo Dinamica-EGO.
	Desmatamento prévio	Quantificação do desmatamento proveniente do PRODES (INPE, 2021) e calculando as distâncias pelo Dinamica-EGO.
	Rios	Obtida a partir da classe hidrografia do PRODES (INPE, 2021) e calculando as distâncias pelo Dinamica-EGO.

## Parametrização

### *Cálculo das taxas de transição*

As taxas foram calculadas considerando a transição anual de floresta → desmatamento para cada região. As taxas anuais de desmatamento foram calculadas em relação à área de floresta remanescente existente no ano anterior e o que foi desmatado no ano analisado. Os resultados do cálculo das taxas anuais para o período de 2010 a 2019 estão apresentados na Tabela 2-2. Estas taxas foram sorteadas e inseridas a cada iteração do modelo a partir do acoplamento do Dinamica EGO com o software em linguagem de programação R, o RStudio (RStudio, 2022). Optou-se por realizar o sorteio dessas taxas em vez de usar a média calculada pela matriz de transição no Dinamica EGO, pois esta abordagem permite que sejam aplicadas taxas distintas para cada ano da simulação. Com o intuito de diminuir os possíveis erros de subestimação ou superestimação do desmatamento devido à seleção aleatória das taxas, foram calculados os fatores de ajuste para cada região em relação à diferença entre o desmatamento simulado e o real para o ano de 2019.

O fator de ajuste foi calculado pela seguinte equação:

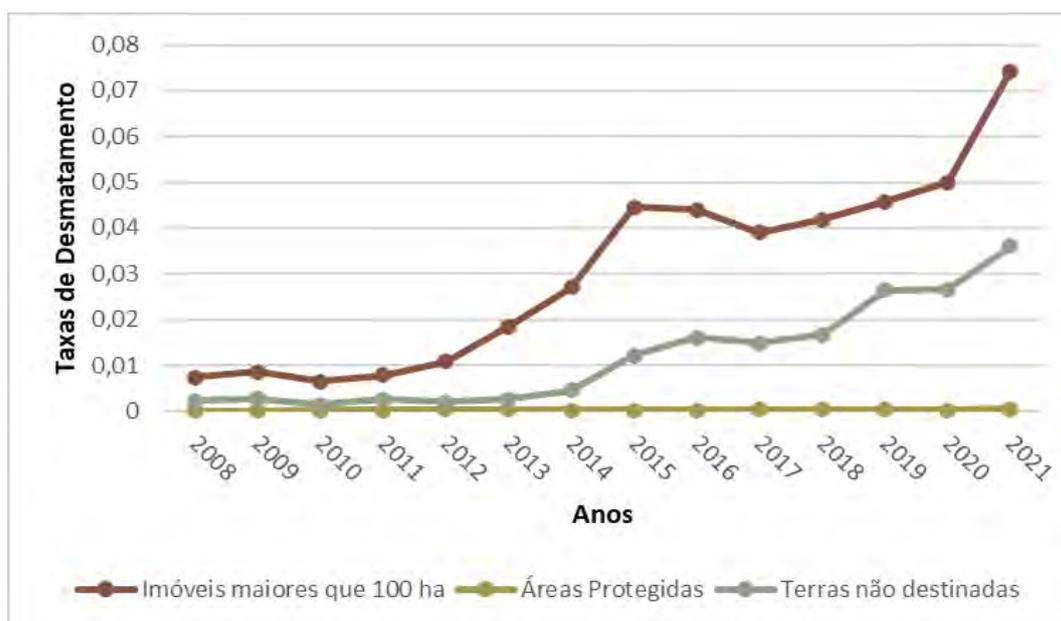
$$\text{fator de ajuste} = \frac{\text{desmatamento real}_f - \text{desmatamento real}_i}{\text{desmatamento simulado}_f - \text{desmatamento real}_i} \quad (1)$$

Onde, *desmatamento real<sub>f</sub>* é a área real total desmatada no ano final (i.e., em 2019), *desmatamento real<sub>i</sub>* é a área real total desmatada no ano inicial (i.e., em 2010) e *desmatamento simulado<sub>f</sub>* é a área simulada total desmatada no ano final (i.e., em 2019).

**Tabela 2-2.** Taxas de desmatamento anuais por região para o período de 2010 a 2019 com os respectivos valores de correção.

Regiões	Anos										Fator de Ajuste
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
Imóveis menores que 100 ha	0,006	0,013	0,018	0,029	0,041	0,051	0,041	0,053	0,053	0,064	1,14
Imóveis maiores que 100 ha	0,006	0,008	0,011	0,018	0,027	0,044	0,044	0,039	0,042	0,046	0,28
Assentamentos	0,022	0,026	0,019	0,025	0,019	0,044	0,035	0,014	0,046	0,025	1,68
Áreas Protegidas	0,0001	0,0002	0,0004	0,0003	0,0002	0,0001	0,0002	0,0003	0,0003	0,0003	0,75
Terras não destinadas	0,001	0,003	0,002	0,002	0,004	0,012	0,016	0,015	0,017	0,026	1,28

Para simular as possíveis mudanças nas regiões afetadas pela construção das rodovias e, também, a influência do aumento expressivo do desmatamento observado nos últimos anos, as taxas de desmatamento nos imóveis maiores que 100 ha, áreas protegidas e terras não destinadas foram atualizadas para a simulação do cenário CE (i.e., com expansão), a partir do ano de 2045 que representa o ano de construção das rodovias planejadas. Assim, de 2045 a 2080, os imóveis maiores que 100 ha assumiram maiores taxas de desmatamento, utilizando como referência as taxas do período de 2015 a 2021. As taxas das terras não destinadas também foram alteradas a partir de 2045, atribuindo a elas a dinâmica de desmatamento nos imóveis maiores que 100 ha. A escolha dessas taxas para estas regiões está relacionada ao aumento do desmatamento nos imóveis, principalmente nos últimos dois anos (2020 e 2021) (Figura 2-8). Além disso, as novas taxas irão simular uma intensificação da ocupação em terras não destinadas e um avanço do desmatamento nos imóveis maiores, que apresentam maiores contribuições para o desmatamento (D'Antona *et al.*, 2006; Godar *et al.*, 2012a, b). Para as áreas protegidas, foram usadas as taxas das terras não destinadas referentes à dois períodos distintos a partir de 2045 (ano estimado para a construção das estradas) para simular o avanço do desmatamento, são eles: de 2010 até 2014 para a simulação dos anos de 2045 a 2060, e de 2015 a 2021 para simular os anos de 2060 até 2080. Estas alterações foram realizadas para obter um aumento gradual do desmatamento, semelhante a dinâmica observada em terras não destinadas de 2010 a 2021, simulando o impacto das estradas em áreas protegidas. Assim, a ocupação ao longo das estradas será supostamente gradual até 2060, devendo tornar-se mais intensa e de maior impacto de 2060 a 2080. Também foram calculados os fatores de ajuste para essas novas taxas (Equação 1; Tabela 2-3).



**Figura 2-8.** Gráfico das taxas anuais de desmatamento nos anos de 2008 até 2021 para os imóveis maiores que 100 ha, áreas protegidas e terras não destinadas.

**Tabela 2-3.** Fatores de correção para as taxas de referência utilizadas para os imóveis maiores que 100 ha, áreas protegidas e terras não destinadas.

Regiões	Região de referência	Período de referência	Período da simulação	Fator de correção
Imóveis > 100 ha	Imóveis > 100 ha	2015 – 2021	2045 – 2080	1,05
Áreas protegidas	Terras não destinadas	2010 – 2014	2045 – 2060	1,6
		2015 – 2021	2060 – 2080	0,78
Terras não destinadas	Imóveis > 100 ha	2015 – 2021	2045 – 2080	1,05

#### *Coefficientes dos Pesos de Evidência*

Os pesos de evidências são parâmetros relacionados ao comportamento de cada variável ao analisar um determinado evento, ou seja, a probabilidade de uma variável contribuir ou não com uma determinada transição. Este método está fundamentado no teorema da probabilidade condicional de Bayes, sendo calculado para cada variável de entrada. Através da ponderação desses dados é possível combinar diferentes variáveis de entrada em um mesmo modelo de maneira independente (Bonham-Carter *et al.*, 1994).

Desta forma, para inserir estes pesos no modelo, foi necessário criar um cubo com as variáveis explicativas (i.e., discretas e contínuas). Através de um fatiamento baseado em um algoritmo de generalização de linhas, o Dinamica-EGO permite ajustar os parâmetros que irão definir os intervalos para as variáveis contínuas (i.e., não categóricas) (Goodacre *et al.*, 1993). Os valores utilizados para o parâmetro de incremento foram estabelecidos conforme a resolução espacial dos mapas. Para o máximo delta e o ângulo

de tolerância, utilizaram-se os valores *default* do próprio Dinamica-EGO. Por fim, os valores de mínimo delta foram definidos para cada região através de uma análise exploratória e alguns testes até obtermos intervalos mais adequados para as variáveis contínuas que melhor representassem sua influência na alocação do desmatamento.

### **Calibração**

Após definidos os coeficientes dos pesos de evidência para as variáveis de entrada, a próxima etapa foi realizar a calibração do modelo para o período de 2010 a 2019. Este procedimento consiste na seleção do melhor conjunto de variáveis entrada e nos ajustes dos parâmetros para que representem de forma adequada as transições reais para cada região (Rykical, 1996; Almeida, 2003).

O teorema de Bayes parte do pressuposto de que as variáveis analisadas sejam independentes entre si. Portanto, foi necessário realizar um teste de associação com variáveis pareadas, utilizando o Coeficiente de Cramer e o Índice de Incerteza da Informação Conjunta (em inglês *Joint Information Uncertainty* – JIU). Para os pares de variáveis que tiveram valores maiores que 0,5 (i.e., indicando que há associação ou dependência espacial entre as variáveis analisadas) foi selecionada apenas uma delas, com base em seu poder explicativo. Optou-se por excluir da análise e dos pesos de evidências as variáveis altitude, declividade, vegetação e solo de todas as regiões, visto que, com elas, a distribuição espacial do desmatamento não estava sendo bem representada. Somente com as distâncias às estradas, aos rios e ao desmatamento, bem como com as demais variáveis categóricas, foi o suficiente para representar melhor a mudança simulada.

Por fim, foram ajustados os algoritmos de transição *Expander* e *Patcher*, que, no caso deste estudo, estão relacionados ao desmatamento. O *Expander* está relacionado à alocação do desmatamento de modo a aumentar ou diminuir a área de uma mancha. Enquanto o *Patcher* é responsável por criar novas manchas de desmatamento, reproduzindo os padrões existentes na área de estudo (Soares-Filho *et al.*, 2002). Esses valores foram baseados na análise dos padrões de desmatamento realizada no capítulo anterior. Desse modo, a partir da tipologia encontrada para o município de Lábrea, foram definidos os parâmetros de acordo com as regiões para simulação.

## Validação

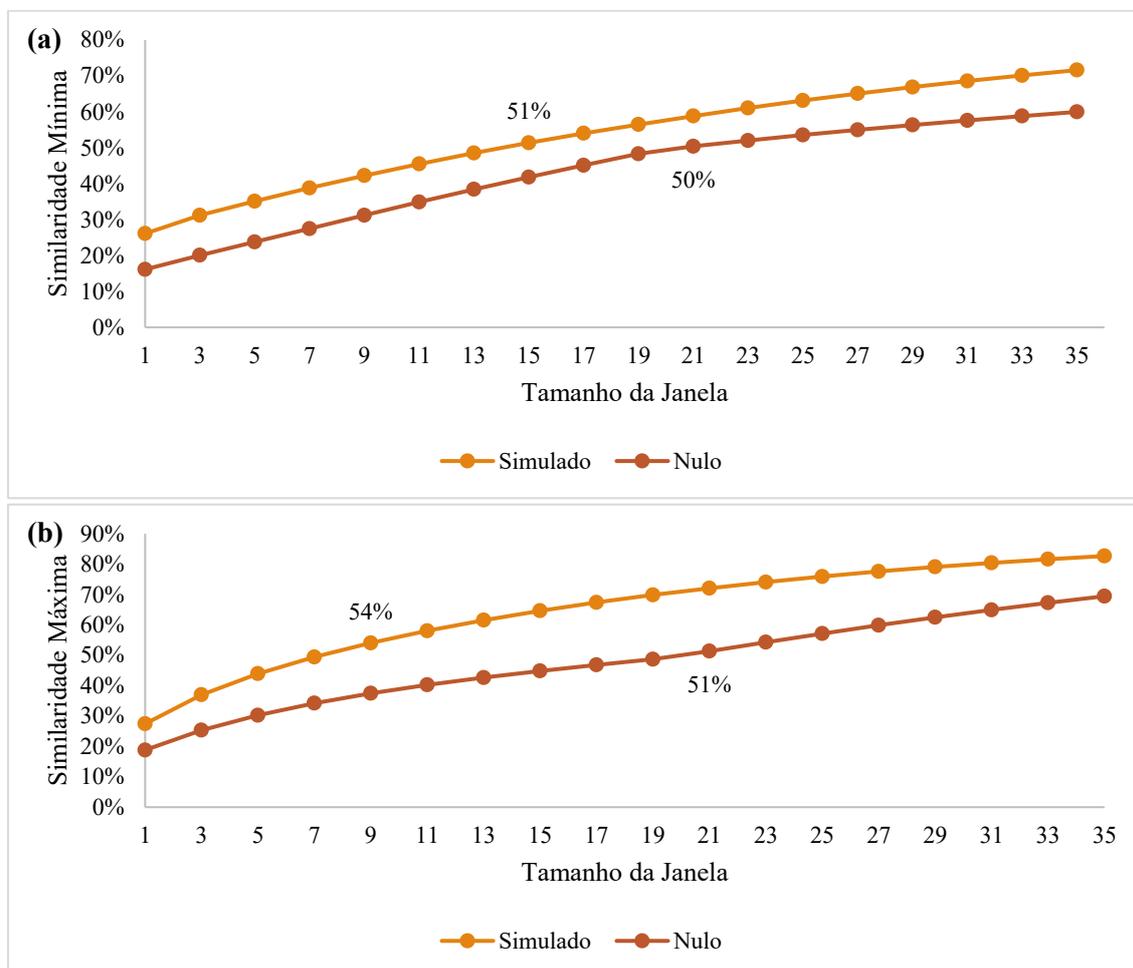
Para verificar a representatividade do modelo, foi necessário realizar primeiramente uma simulação pretérita, ou seja, referente ao passado, que considerou as variáveis e os parâmetros ajustados para o período da calibração (i.e., de 2010 a 2019). Utilizando o mapa inicial para o ano de 2010 foi simulado o desmatamento até 2021. Assim, neste estudo, apesar de prolongar o período da validação por mais dois anos (i.e., até 2021) em relação à calibração, os anos de 2010 a 2019 foram utilizados para estas duas etapas. No entanto, ressalta-se que este procedimento não traz viés à validação, uma vez que a plataforma utilizada (i.e., Dinamica-EGO) aloca aleatoriamente a mudança. Além disso, o uso de períodos semelhantes para a calibração e validação se justifica pela não transferência das variáveis e parâmetros ajustados para períodos distintos (Teixeira *et al.*, 2009; Campos *et al.*, 2022).

Posteriormente, foram comparadas as mudanças observadas entre o mapa inicial real (2010) e os mapas finais real e simulado de 2021. Esse processo foi realizado através do modelo de validação disponível no Dinamica-EGO, que utiliza o Índice de Similaridade *Fuzzy* (ISF) desenvolvido por Hagen (2003). Este método calcula índices de similaridade em função de uma célula central entre os mapas, utilizando as localizações e as classes das células em um contexto de vizinhança, podendo ser máxima e mínima (Soares-Filho *et al.*, 2009), visto que opera em dois sentidos (*two-way similarity*). A similaridade *fuzzy* apresenta, assim, pesos distribuídos em função da distância entre a célula central e suas células vizinhas (decaimento exponencial) ou valores homogêneos nas células dentro de uma janela (decaimento constante). Neste estudo, aplicamos o decaimento constante para analisar os valores de similaridade mínima e máxima.

Este método de validação também foi aplicado para um modelo nulo, que consiste na simulação do desmatamento com os coeficientes dos pesos de evidência iguais a zero, alocando aleatoriamente as transições (Hagen-Zanker e Lajoie, 2008). Este modelo também foi realizado utilizando os parâmetros calibrados para os anos de 2010 a 2019, e simulado para 2021.

O modelo obteve similaridade mínima igual a 51% na janela de tamanho  $15 \times 15$  pixels ( $1.800 \text{ m} \times 1.800 \text{ m}$ ), que corresponde a uma área de aproximadamente  $3,24 \text{ km}^2$ , dada a resolução espacial da área de estudo (120 m) (Figura 2-9). A similaridade máxima atingiu 54% em uma janela  $9 \times 9$  ( $135 \text{ m} \times 135 \text{ m}$ ), enquanto o modelo nulo apresentou

resultados inferiores, com 50% e 51% de similaridade mínima e máxima, respectivamente, na janela  $21 \times 21$  pixels.



**Figura 2-9.** Resultados da validação aplicando o método da similaridade mínima (a) e máxima (b) na comparação entre o mapa simulado e o real e o mapa nulo e o real.

Além de validar o modelo aplicando o método de similaridade *fuzzy*, o mapa real e o simulado foram comparados em relação à área total de mudança para o ano de 2021. Esta análise mostrou que o modelo estava subestimando em 4,88% (161,53 km<sup>2</sup>) a transição de floresta para desmatamento em relação ao real, conforme observado na Tabela 2-4.

**Tabela 2-4.** Comparação das áreas de mudança entre o mapa real e simulado.

Transição analisada	Mudança entre os mapas reais de 2010 e 2021		Mudança entre o mapa real de 2010 e o simulado de 2021		% de erro
	<i>células</i>	<i>área (km<sup>2</sup>)</i>	<i>células</i>	<i>área (km<sup>2</sup>)</i>	
Floresta → Desmatamento	230.045	3.312,65	218.828	3.151,12	4,88%

Só após a validação do modelo, foi então realizada a simulação prognóstica (i.e., simulação referente ao tempo futuro) utilizando como mapa inicial o ano de 2021, e simulando até 2080. Assim, ao total foram 69 *steps*, ou seja, número de vezes que o modelo rodou, gerando mapas anuais da paisagem.

## RESULTADOS

Nesta seção, são apresentados os resultados para a simulação do cenário linha de base (LB) e cenário com as alterações das taxas e construção das rodovias (Cenário “Com Expansão”). Primeiramente, estão descritos os resultados para toda área de estudo, ponderando-se as diferenças encontradas para cada cenário em um contexto geral. Em seguida, são analisadas as mudanças do uso da terra para cada região, com enfoque nos imóveis, áreas protegidas e terras não destinadas para o município de Lábrea.

### Resultados gerais para a simulação dos cenários na área de estudo

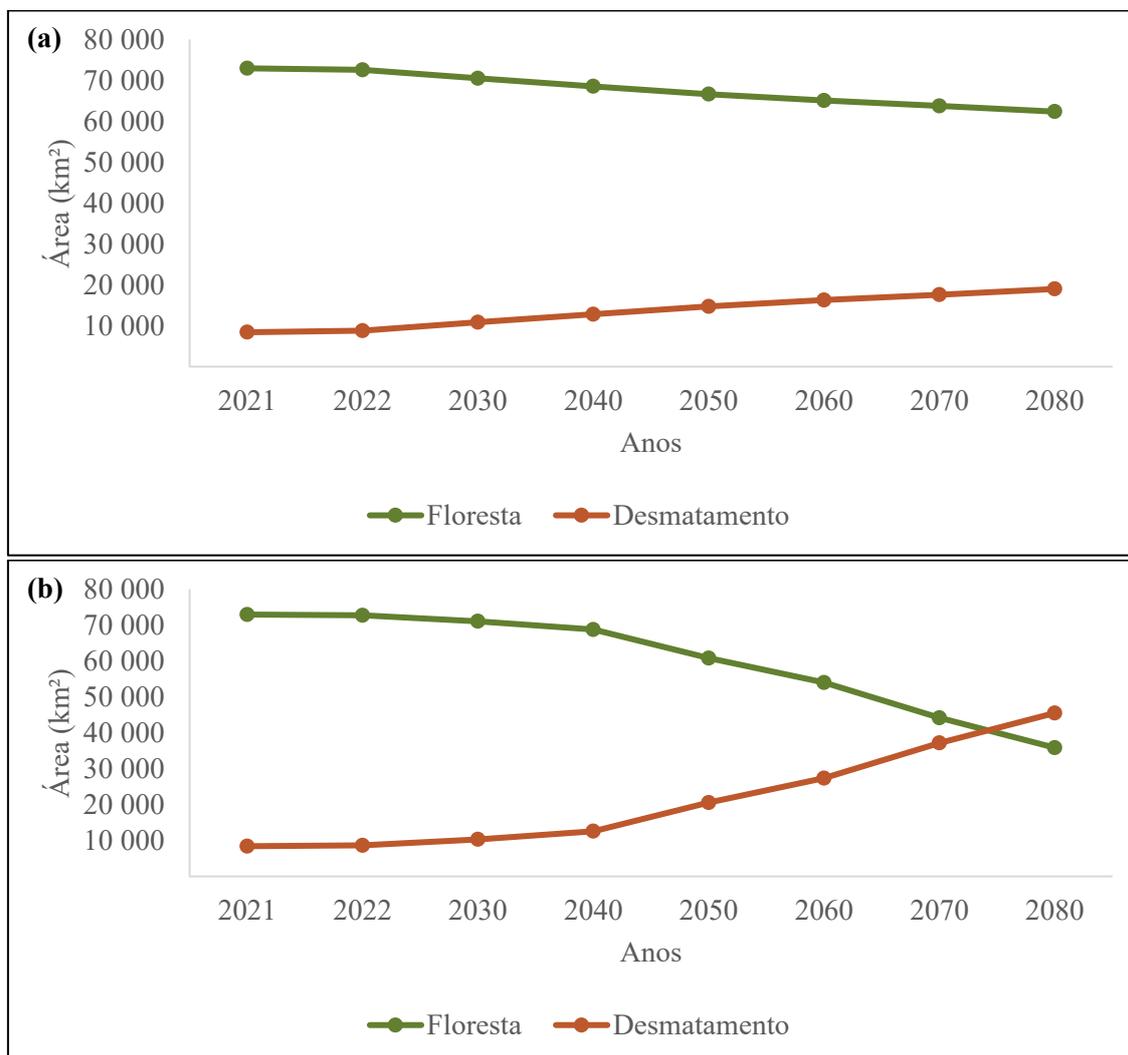
Até o ano de 2021, a área de estudo era composta por aproximadamente 73 mil km<sup>2</sup> de floresta, o que correspondia à 87% de seu território (Tabela 2-5). A simulação do cenário “Linha de Base”, que considerou a simulação com as taxas históricas de desmatamento no período de 2010 a 2019, indicou uma redução de 14,5% da floresta existente em 2021, ou seja, o modelo simulou que em 59 anos 10,6 mil km<sup>2</sup> de floresta seriam desmatadas. Enquanto no cenário “Com Expansão”, 54% da área total do estudo estaria desmatada no ano de 2080. A diferença entre os dois mapas finais simulados em relação a perda de floresta foi de 26,6 mil km<sup>2</sup> (i.e., um aumento de 139,6% do desmatamento no cenário CE em relação ao LB).

**Tabela 2-5.** Áreas (em km<sup>2</sup>) e porcentagens das classes do PRODES para o mapa real (2021) e os mapas simulados para o ano de 2080 em relação aos cenários LB e CE para toda a área de estudo (i.e., município de Lábrea incluindo o *buffer* de 10 km<sup>2</sup>).

Classe do PRODES	Mapa real (2021)		Mapas simulados (2080)			
			LB		CE	
	(km <sup>2</sup> )	(%)	(km <sup>2</sup> )	(%)	(km <sup>2</sup> )	(%)
Floresta	73.072,94	87%	62.468,96	74%	35.902,30	43%
Desmatamento	8.422,15	10%	19.026,13	23%	45.592,79	54%
Não floresta	2.025,63	2%	2.025,63	2%	2.025,63	2%
Hidrografia	497,52	1%	497,52	1%	497,52	1%
<b>Área total</b>	<b>84.018,24</b>	<b>100%</b>	<b>84.018,24</b>	<b>100%</b>	<b>84.018,24</b>	<b>100%</b>

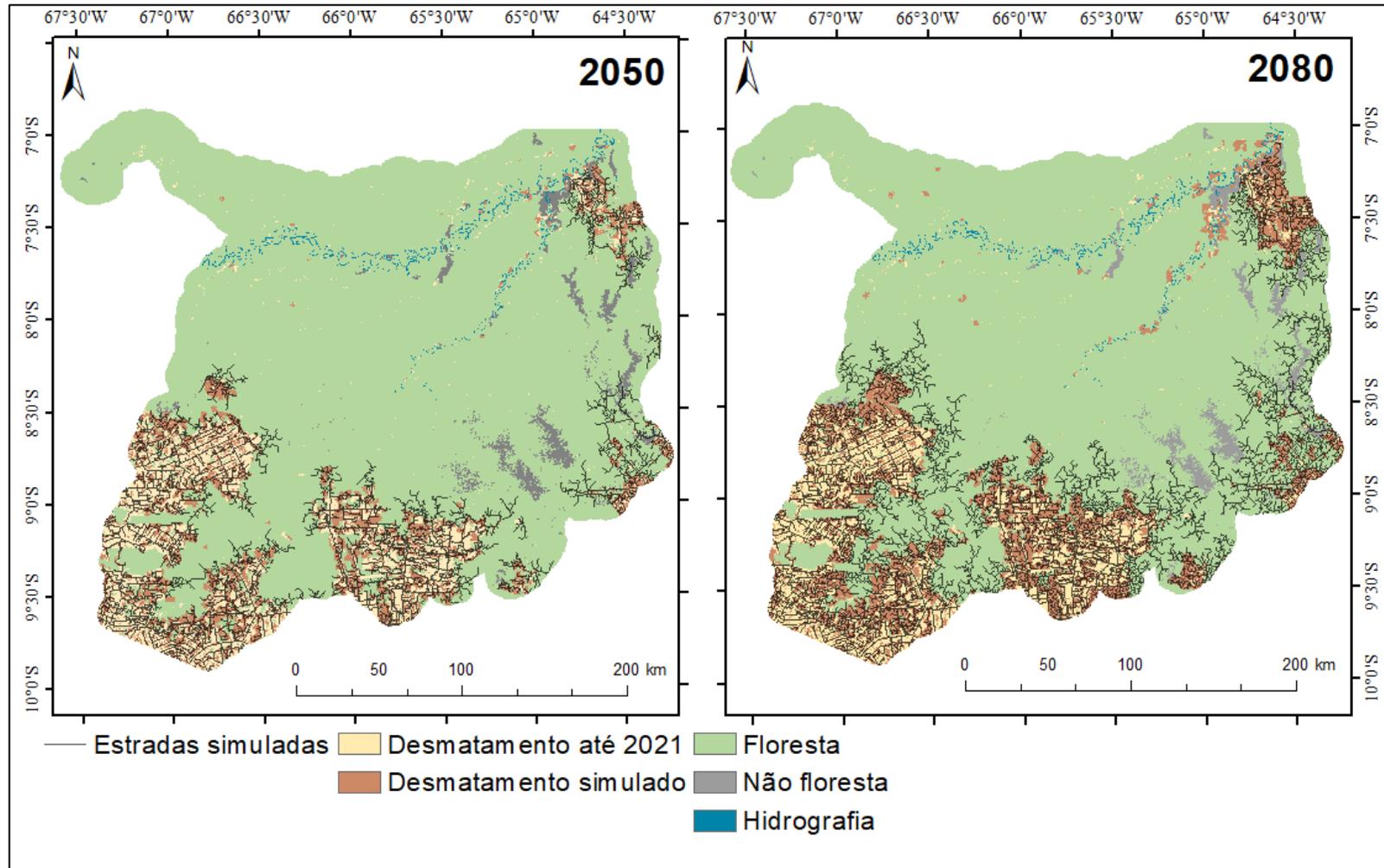
O aumento das áreas desmatadas até o ano de 2040 foi semelhante para os dois cenários simulados. Em 2050, com o aumento das taxas devido à construção das rodovias, o desmatamento no cenário CE teve um aumento de 64% em relação à década anterior. Conforme observado na Figura 2-10, enquanto o cenário LB manteve um aumento

constante do desmatamento ao longo dos anos, a área acumulada de desmatamento no cenário CE ultrapassou a área de floresta remanescente a partir do ano de 2070.

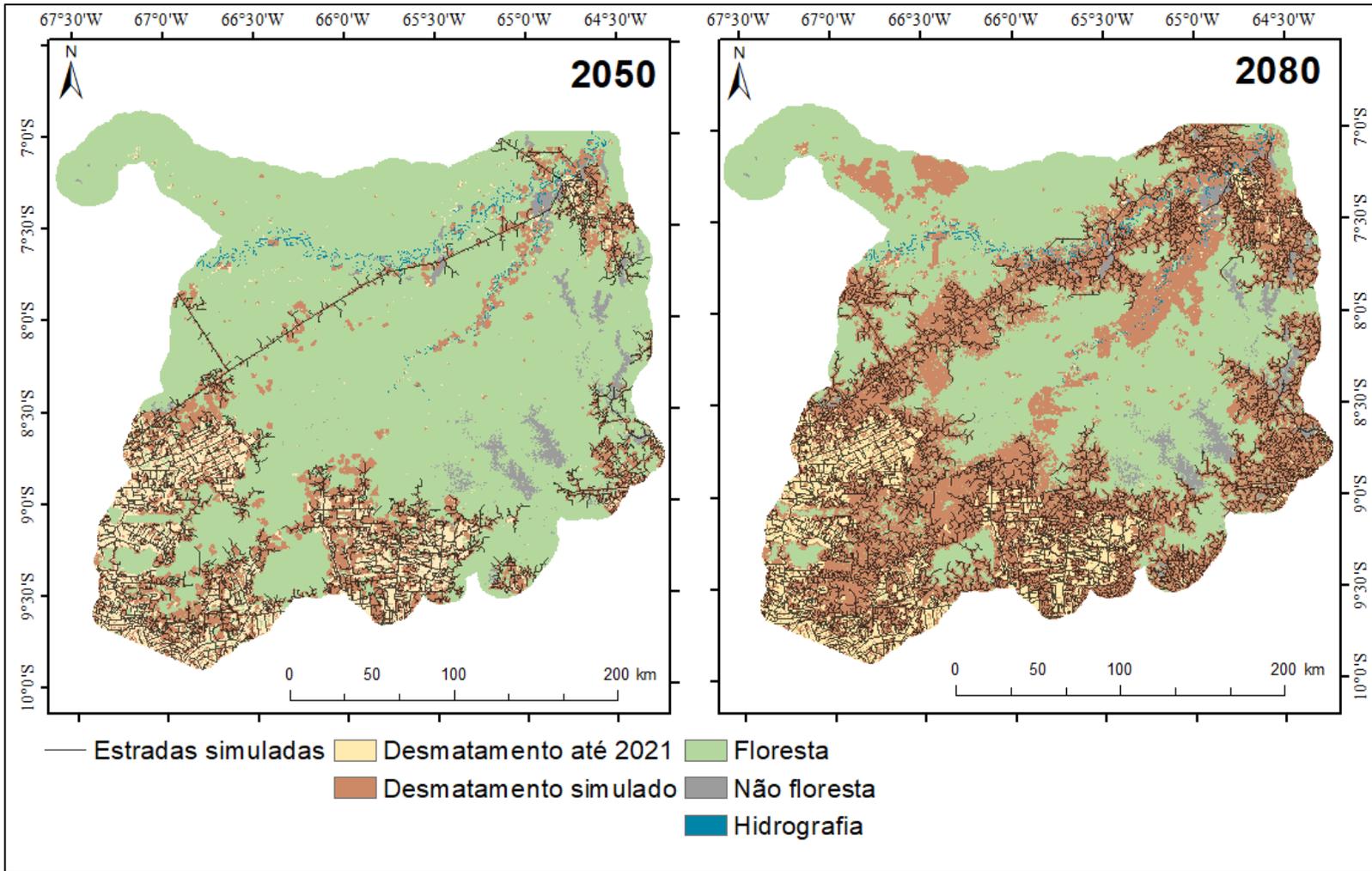


**Figura 2-10.** Gráficos das áreas de desmatamento acumulado e floresta remanescente ao longo dos anos para os cenários “Linha de Base” (a) e “Com Expansão” (b). Os valores no ano de 2021 representam as áreas reais observadas.

As diferenças entre os cenários também foram observadas comparando os mapas simulados para os anos de 2050 e 2080 nas Figuras 2-11 e 2-12. No cenário LB, o desmatamento, assim como as estradas secundárias simuladas, se concentraram principalmente na região sul da área de estudo e próximos à sede do município de Lábrea. Neste mesmo cenário, observou-se que houve uma expansão do desmatamento próximo às margens dos rios Purus e Ituxi entre 2050 e 2080. No cenário CE, o desmatamento se espalhou em grande parte da área de estudo, e se destaca a conexão entre a porção sul e a sede do município através da ocupação ao longo das rodovias construídas e nas margens do rio Ituxi.



**Figura 2-11.** Mapas simulados para os anos de 2050 e 2080 no cenário “Linha de Base” para toda a área de estudo.



**Figura 2-12.** Mapas simulados para os anos de 2050 e 2080 no cenário “Com Expansão” para toda a área de estudo.

## Resultados da simulação para as regiões de Lábrea

Os resultados aqui descritos para as regiões referem-se à análise do desmatamento apenas para o território de Lábrea, ou seja, sem contabilizar a perda de floresta que ocorreu no *buffer* de 10 km, visto que os imóveis (i.e., regiões dos imóveis menores que 100 ha e maiores que 100 ha) para os demais municípios não foram incluídos em nosso estudo.

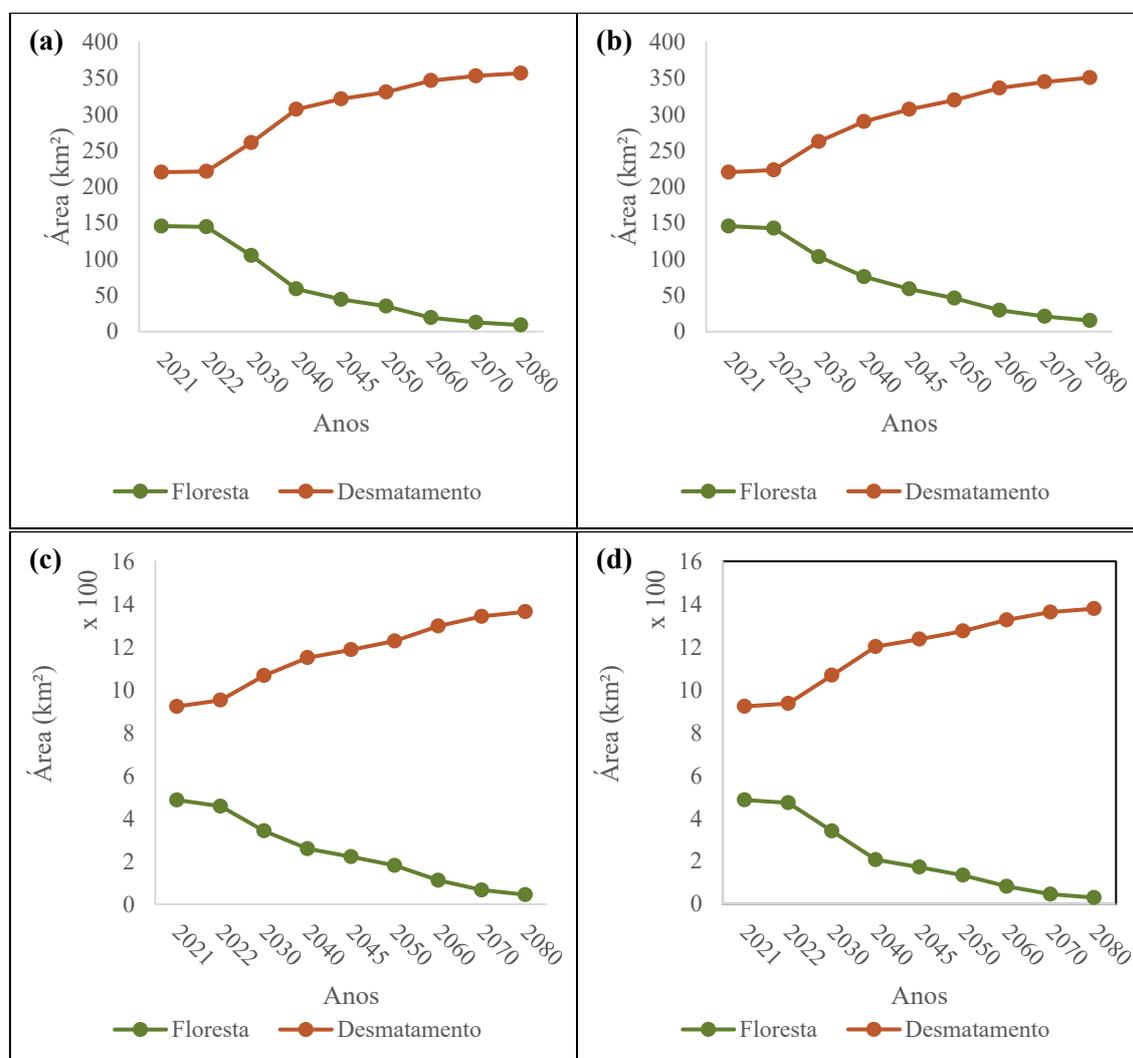
Em 2021, o município de Lábrea apresentava uma área de aproximadamente 60,2 mil km<sup>2</sup> de floresta, sendo que 69% desta área estava dentro de áreas protegidas (Tabela 2-6). A perda de floresta até o ano de 2080, para a simulação do cenário “Linha de Base” (LB), seria equivalente a 14,2% da área total, ou seja, 8,6 mil km<sup>2</sup> seriam desmatados. Deste total, 55% do desmatamento estão nos imóveis maiores que 100 ha e 28% nas terras não destinadas. Para o cenário “Com Expansão” (CE), foi projetado um desmatamento equivalente a 31,1 mil km<sup>2</sup> até o ano de 2080 (i.e., uma perda de 52% da floresta observada no ano de 2021). Grande parte deste desmatamento ocorreria dentro dos imóveis maiores que 100 ha e em áreas protegidas, correspondendo a 11,9 mil km<sup>2</sup> para os imóveis e 13,8 mil km<sup>2</sup> nas áreas protegidas (i.e., 40% e 38% do desmatamento acumulado para o ano de 2080).

**Tabela 2-6.** Áreas de floresta e desmatamento (em km<sup>2</sup>) observadas para o ano de 2021 (real) e as áreas simuladas para os cenários LB e CE nas regiões de Lábrea até o ano de 2080.

Regiões	Mapa real (2021)		Mapas simulados (2080)			
			LB		CE	
	Floresta (km <sup>2</sup> )	Desmate (km <sup>2</sup> )	Floresta (km <sup>2</sup> )	Desmate (km <sup>2</sup> )	Floresta (km <sup>2</sup> )	Desmate (km <sup>2</sup> )
Imóveis menores que 100 ha	145,66	220,19	8,97	356,88	15,21	350,64
Imóveis maiores que 100 ha	13.213,04	3.040,88	8.210,02	8.043,90	1.297,94	14.955,97
Assentamentos	486,13	922,91	44,15	1.364,89	29,91	1.379,13
Áreas Protegidas	41.237,22	252,24	40.830,09	659,38	27.424,71	14.064,75
Terras não destinadas	5.077,17	1.573,70	2.502,72	4.148,15	304,65	6.346,22
<b>Área total</b>	<b>60.159,21</b>	<b>6.009,93</b>	<b>51.595,95</b>	<b>14.573,19</b>	<b>29.072,42</b>	<b>37.096,72</b>

As dinâmicas de desmatamento nos imóveis menores que 100 ha e nos assentamentos não divergiram entre os cenários simulados (Figura 2-13). Utilizando-se as taxas para o período de 2010 a 2019, todos os cenários apresentaram desmatamento crescente nessas áreas a partir de 2022. Conforme observado na Figura 2-13, as semelhanças também

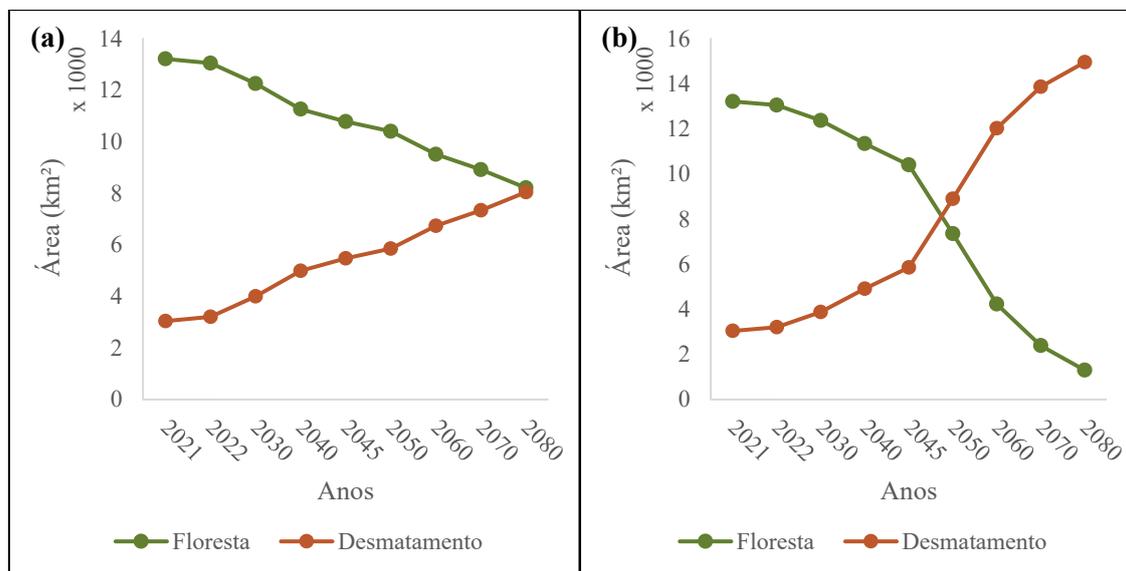
foram perceptíveis entre essas duas categorias, de modo que nessas duas regiões, a área de floresta era menor do que o desmatamento acumulado no ano de 2021. No entanto, em relação à área total, os assentamentos tiveram as maiores áreas desmatadas. Enquanto os imóveis menores que 100 ha, nos dois cenários, desmataram aproximadamente 350 km<sup>2</sup> até 2080, os assentamentos tiveram uma perda de floresta de 2,1 mil km<sup>2</sup> (Tabela 2-6).



**Figura 2-13.** Gráficos da área de floresta remanescente e desmatamento para os imóveis menores que 100 ha nos cenários LB (a) e CE (b), e para os assentamentos também nos cenários LB (c) e CE (d). As áreas observadas para o ano de 2021 se referem aos mapas reais.

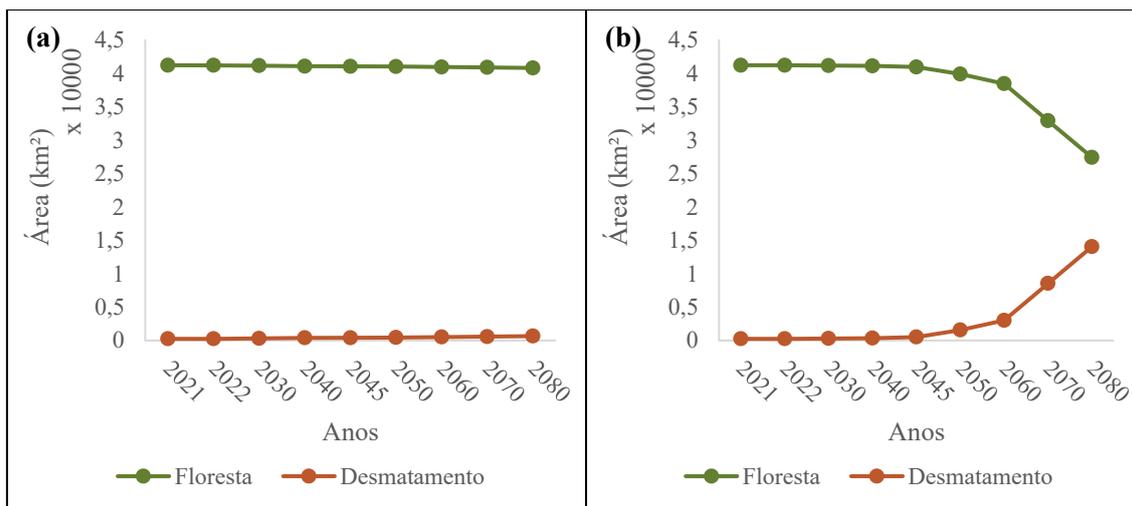
As demais regiões na área do estudo apresentaram diferenças entre os cenários simulados devido ao aumento das taxas de desmatamento para representar o seu impacto a partir da construção das rodovias. A área ocupada pelos imóveis maiores que 100 ha apresentaram as maiores probabilidade de perda futura de floresta em ambos os cenários (Figura 2-14). No cenário CE no ano de 2050, a proporção de desmatamento seria maior

do que a área de floresta, correspondendo a uma área desmatada equivalente a 14,96 mil km<sup>2</sup> em 2080 (i.e., 92% em relação à área originalmente de floresta esta região) (Tabela 2-6). No cenário LB, o desmatamento acumulado se igualou à área de floresta remanescente no ano de 2080, mostrando uma média anual de desmatamento de aproximadamente 136,3 km<sup>2</sup>.



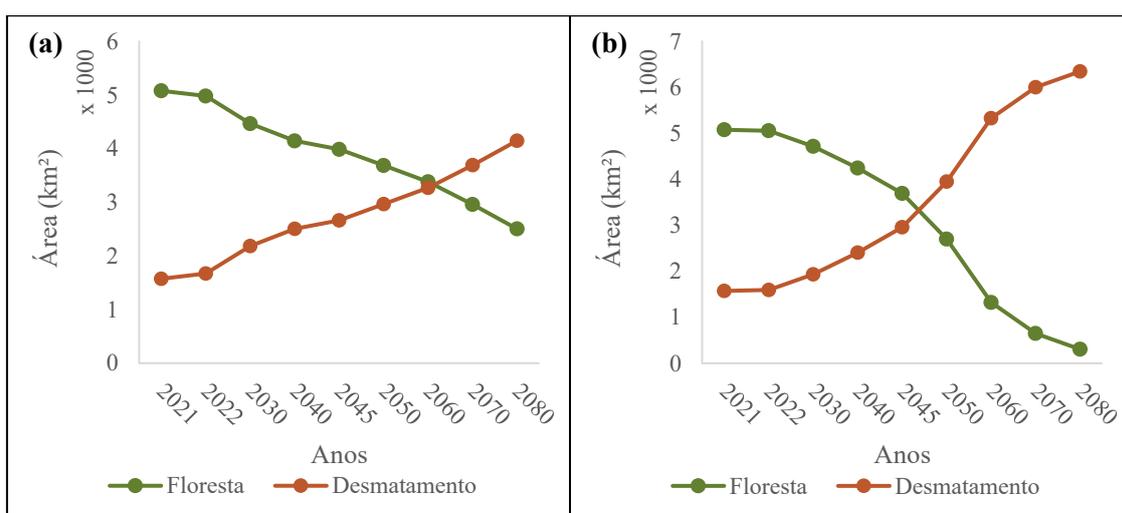
**Figura 2-14.** Gráficos da área de floresta remanescente e desmatamento para os imóveis maiores que 100 ha nos cenários LB (a) e CE (b). O ano de 2021 representa os valores reais de floresta e desmatamento.

As áreas protegidas apresentaram as maiores divergências entre os cenários simulados, visto que o aumento das taxas para essa região no cenário "Com Expansão" resultou em grandes áreas desmatadas até o ano de 2080 (i.e., uma perda de floresta equivalente a 13,6 mil km<sup>2</sup>) (Figura 2-15; Tabela 2-6). O maior aumento do desmatamento foi observado entre os anos de 2060 e 2070, que corresponderia a um aumento de 183,4%. Neste período, foram aplicadas as taxas referentes às maiores perdas de florestas em terras não destinadas (i.e., de 2015 a 2021). Em contrapartida, no cenário LB sem a construção de rodovias, a região de áreas protegidas se manteria conservada, desmatando um total de 407 km<sup>2</sup> até 2080, o que representa uma redução de apenas 1% da área de floresta em áreas protegidas no ano de 2021.



**Figura 2-15.** Gráficos da área de floresta remanescente e desmatamento para áreas protegidas nos cenários LB (a) e CE (b). O ano de 2021 representa os valores reais de floresta e desmatamento.

Por fim, as terras não destinadas apresentaram algumas semelhanças entre os cenários simulados, apesar de terem sido aplicadas taxas distintas para essas regiões (Figura 2-16). Em ambos os cenários, a área desmatada acumulada ultrapassaria a área de floresta remanescente, porém, em períodos distintos e em diferentes proporções. No cenário "Linha de Base", a área de floresta remanescente seria menor que o desmatamento acumulado entre os anos de 2060 e 2070, enquanto no cenário CE, este marco seria alcançado logo após a construção das rodovias, entre os anos de 2045 e 2050. Para o ano de 2080, a área acumulada desmatada em terras não destinadas no cenário CE seria aproximadamente 53% maior que no cenário LB (Tabela 2-6).



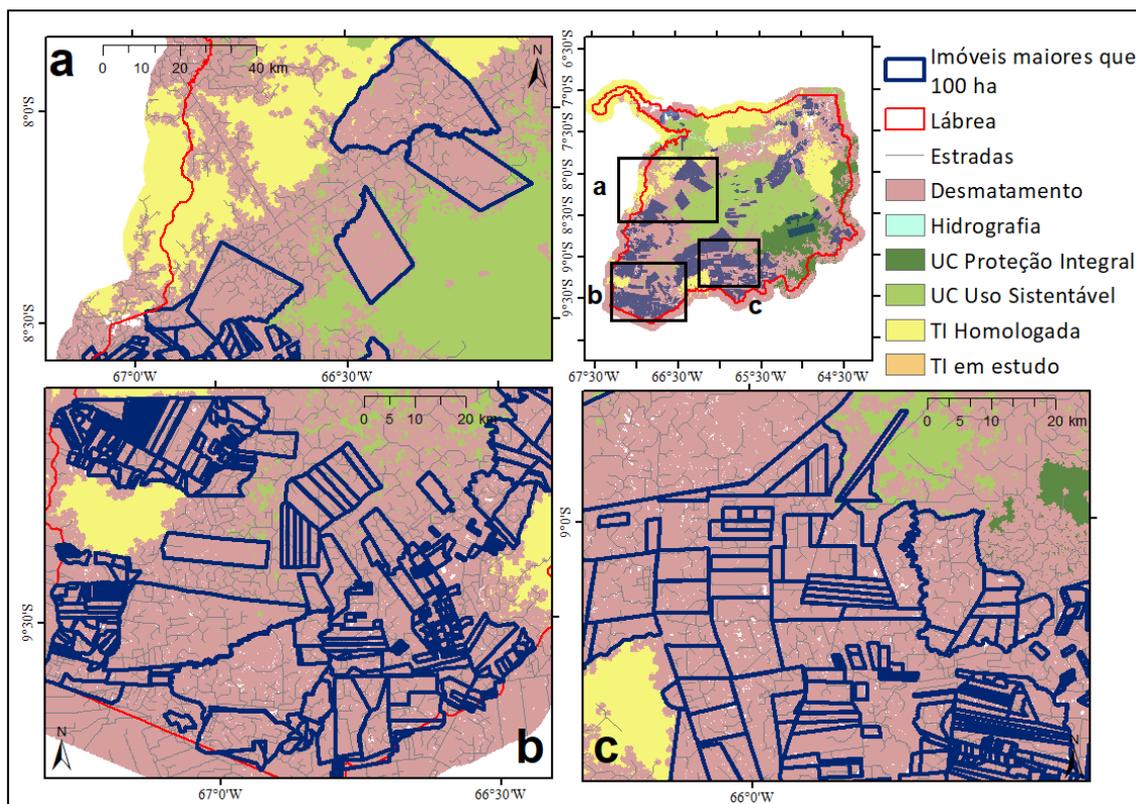
**Figura 2-16.** Gráficos da área de floresta remanescente e desmatamento acumulado para as terras não destinadas nos cenários LB (a) e CE (b). O ano de 2021 representa os valores reais para floresta e desmatamento.

## DISCUSSÃO

O município de Lábrea apresenta um papel importante nas dinâmicas de ocupação do sul do Amazonas. Conforme observado, o território de Lábrea é majoritariamente composto por unidades de conservação e terras indígenas, e o restante de sua área se distribui entre terras “privadas” (muitas sem titulação ou direito legal de posse) e demais terras públicas (i.e., assentamentos e terras não destinadas). Essas últimas se dividindo entre assentamentos e terras não destinadas. As áreas protegidas representam quase 70% da área de floresta em Lábrea, enquanto grande parte das florestas fora de UCs e TIs estão previamente desmatadas.

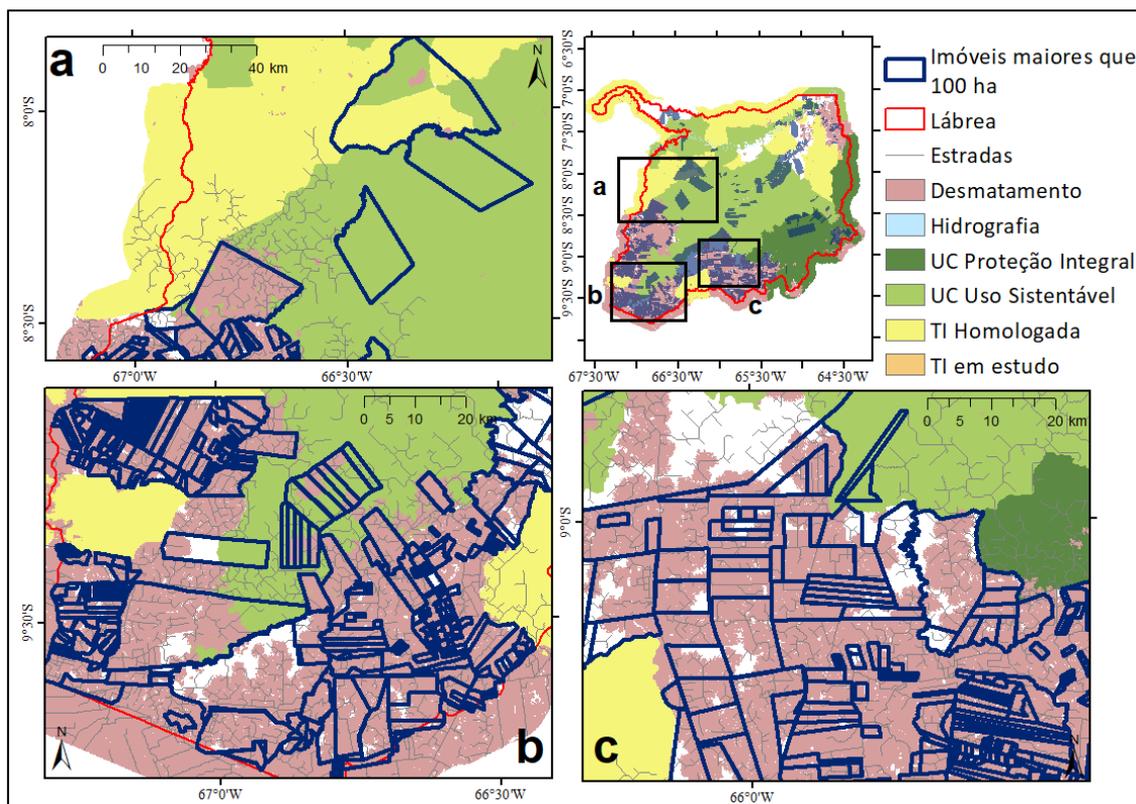
Em condições normais, as áreas protegidas apresentam menor propensão ao desmatamento e à construção de estradas, atuando como uma barreira ao avanço de novas ocupações (Azevedo-Ramos e Moutinho, 2018; Nogueira *et al.*, 2017; Vitel *et al.*, 2009; Walker *et al.*, 2020). Neste estudo, isso é comprovado devido aos valores de atratividade e aos coeficientes dos pesos de evidência atribuídos a essas áreas. O papel de inibir o desmatamento se deve não ao controle dos órgãos do governo e sim à percepção de quem invade as áreas protegidas ou de que investir em desmatamento é arriscado e que isto pode não levar à futura obtenção de um título de terra (Fearnside, 2017). Entretanto, quando sob pressão, como a causada por projetos de infraestrutura ou políticas de enfraquecimento ambiental, estas áreas podem assumir um papel contrário (Santos Jr. *et al.*, 2018). Os resultados encontrados demonstraram a suscetibilidade das unidades de conservação e das terras indígenas em ambas as situações.

As estradas atuam como vetores do desmatamento, facilitando a entrada de novos atores em áreas de florestas remotas, promovendo expansão da atividade pecuária e aumentando o valor da terra (Fearnside, 1989; Soares-Filho *et al.*, 2004; Rosa *et al.*, 2015; Santos Jr. *et al.*, 2018). As alterações nas taxas utilizando o período mais recente do desmatamento (i.e., de 2015 a 2021) simulam as mudanças do uso da terra, representando a dinâmica intensa dos últimos anos na região. O aumento expressivo do desmatamento no cenário CE é exemplo disso. A simulação demonstrou grandes perdas de florestas em áreas protegidas, próximas às estradas planejadas, assim como também nos imóveis sobrepostos a essas áreas (Figura 2-17).



**Figura 2-17.** Representação do desmatamento em áreas protegidas próximo às estradas simuladas e dentro dos imóveis sobrepostos para o cenário CE no ano de 2080.

No cenário "Linha de Base", também foi possível observar este padrão (i.e., desmatamento adentrando unidades de conservação e terras indígenas), em menor proporção, nas áreas protegidas, ressaltando que neste caso as taxas não foram alteradas. Na simulação até 2080, pequenas porções do desmatamento avançariam sobre as áreas protegidas, principalmente onde se encontram os imóveis e próximo às estradas secundárias simuladas (Figura 2-18). Essas regiões estão inseridas em unidades de conservação, que nos últimos anos têm sofrido sucessivas invasões e exploração ilegal de madeira (Oviedo, 2022).



**Figura 2-18.** Representação do desmatamento em áreas protegidas próximas às estradas simuladas e dentro dos imóveis sobrepostos para o cenário LB no ano de 2080

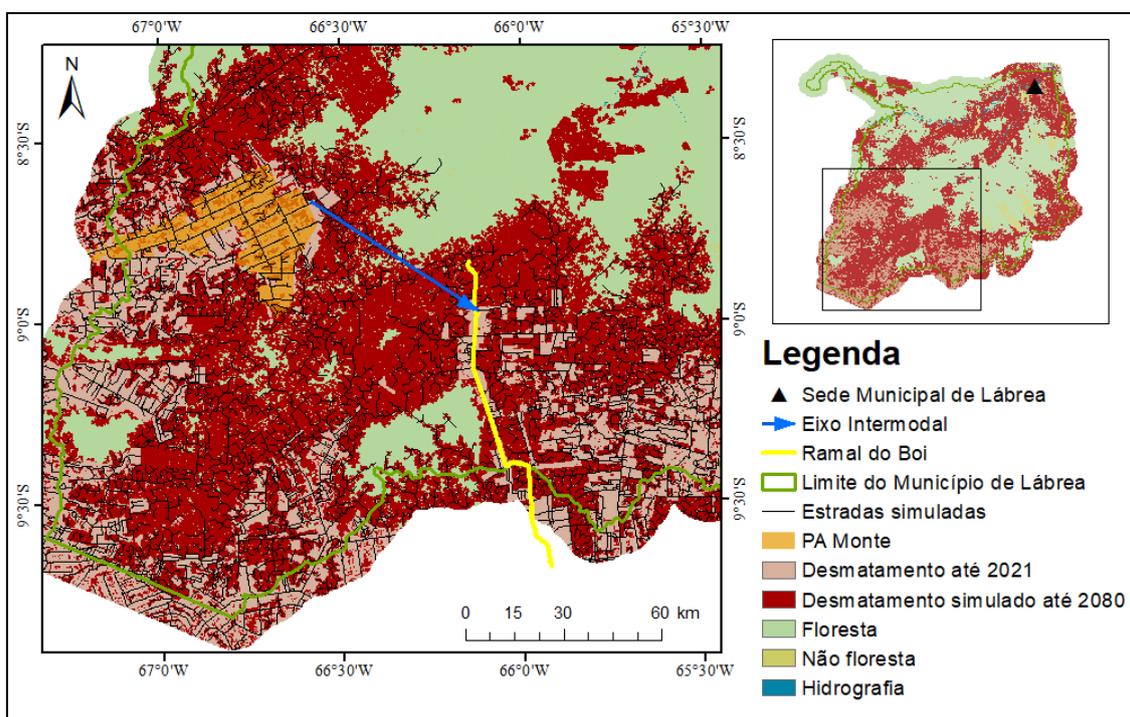
Outro ponto importante que se destacou na simulação dos dois cenários foi a perda de floresta nas terras não destinadas. Ao contrário das áreas protegidas, esta categoria consiste em áreas que são muito atrativas para ocupações ilegais. O desmatamento nessas áreas está relacionado principalmente com as disputas de terras e as incertezas nas posses destas terras, que representam importantes desafios para a conservação das florestas na Amazônia (Moutinho *et al.*, 2016; Azevedo-Ramos e Moutinho, 2018).

Além das implicações causadas pela expansão da malha viária (estradas não oficiais) com a implantação de novas rodovias, os resultados do presente estudo reforçam os problemas que estão associados à presença de imóveis em áreas protegidas e de terras públicas sem destinação. Esta situação se agrava devido às circunstâncias políticas atuais no Brasil: desmonte dos órgãos e medidas de fiscalização ambiental, políticas de incentivo a ocupações ilegais e enfraquecimento da conservação em áreas protegidas (Brito *et al.*, 2019; Ferrante e Fearnside, 2019; Walker, 2020; Vale *et al.*, 2021).

As dinâmicas observadas nos assentamentos e nos imóveis menores que 100 ha apresentaram poucas diferenças entre os dois cenários simulados. Isto se explica pelo uso das taxas de desmatamento em um mesmo período, e, também, reflete o fato de estas áreas apresentarem, inicialmente, grandes áreas desmatadas. Em relação aos

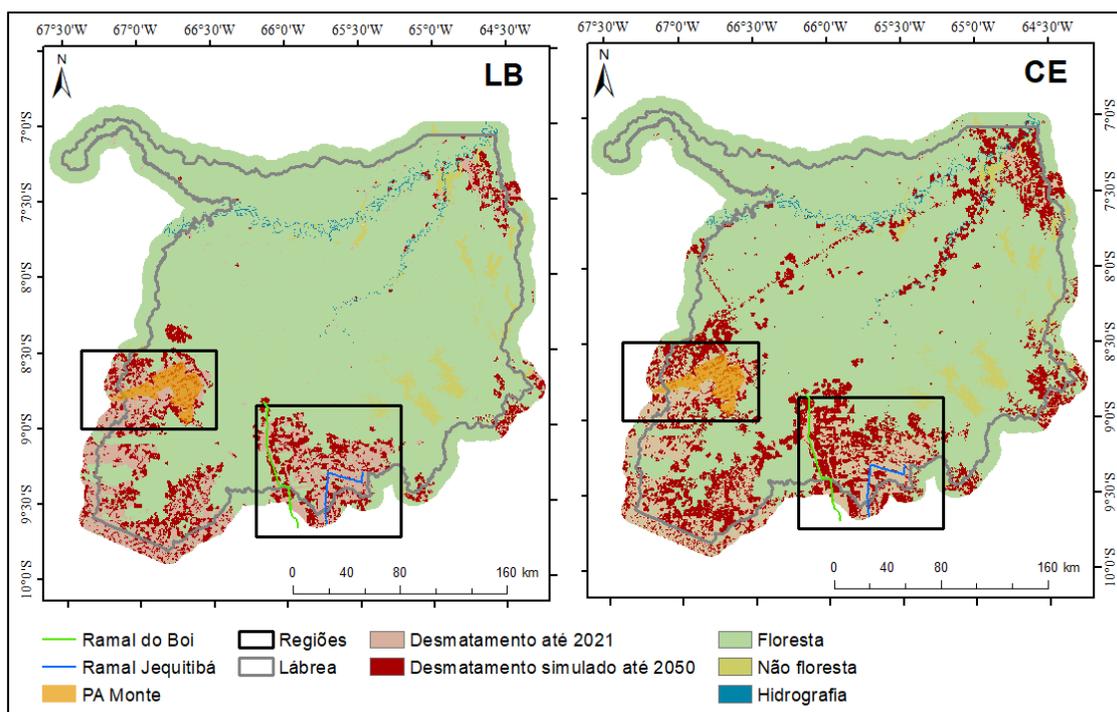
assentamentos, é necessário salientar que o processo de ocupação nessas áreas foi intenso na década de 2000 (Franco, 2011; Tomasi e Galeao, 2016).

De modo geral, o conjunto de alterações aplicadas no cenário “Com Expansão” resultou em maiores áreas desmatadas e no surgimento de novas frentes de desmatamento quando comparado ao cenário “Linha de Base”. O cenário CE simulou o avanço da perda de floresta conectando a sede do município de Lábrea à região sul do município, principalmente às margens dos rios e das rodovias. Nesse sentido, também foi possível observar a consolidação do eixo intermodal mencionado por Tomasi e Galeão (2016), conectando o PA Monte ao sul de Lábrea, cruzando o rio Ituxi (Figura 2-19).



**Figura 2-19.** Mapa da consolidação das porções localizadas na região sul do município de Lábrea para o ano de 2080, a partir da projeção do cenário CE.

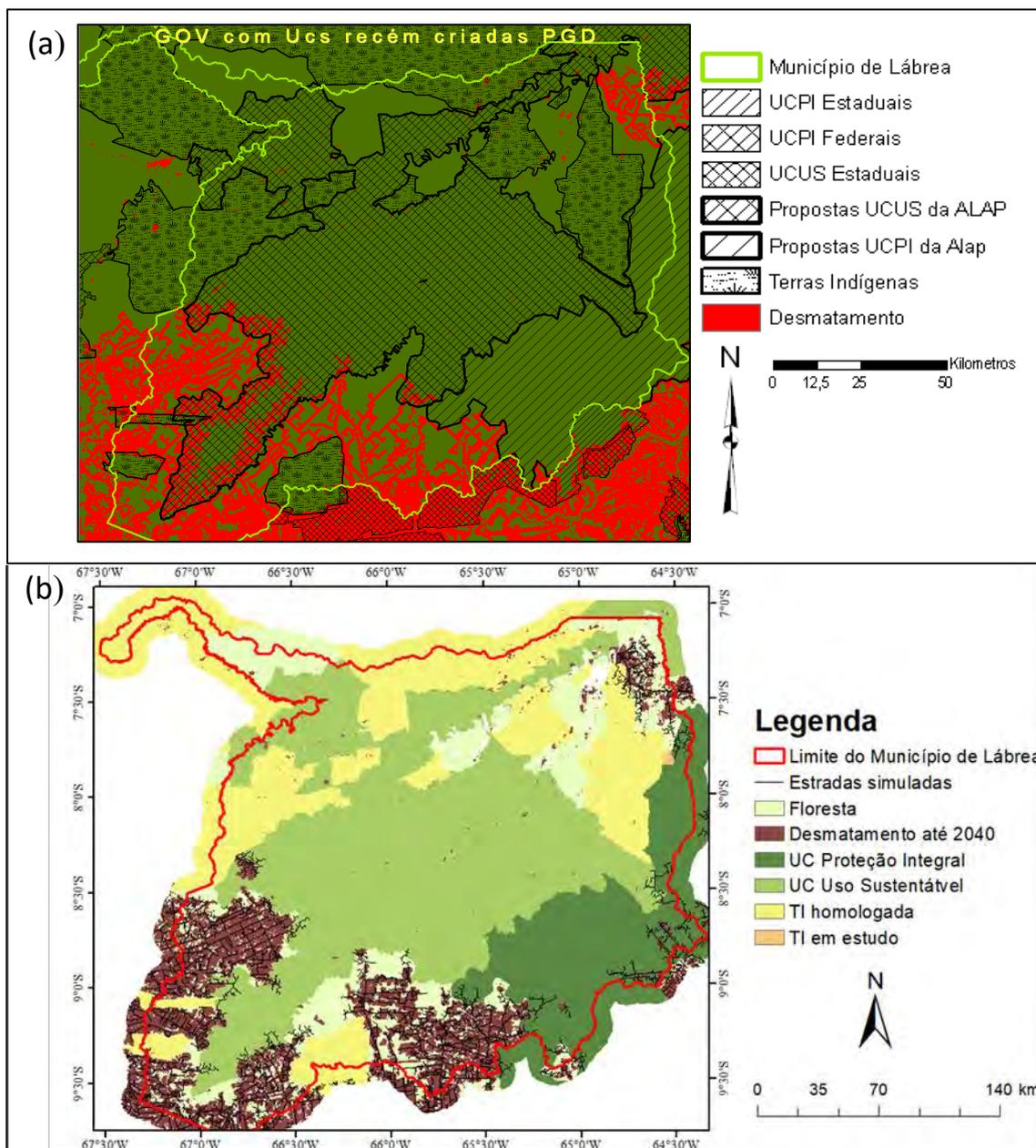
Apesar das discrepâncias em área total e na distribuição do desmatamento nos cenários simulados, ambas as simulações alertam para a expansão do desmatamento ao longo dos anos em três regiões: ramal do boi, ramal do jequitibá e PA Monte (Figura 2-20). Estas áreas também foram mencionadas por Tomasi e Galeão (2016) e encontradas na análise dos padrões e trajetórias no capítulo anterior para o ano de 2021.



**Figura 2-20.** Regiões de expansão do desmatamento relatadas por Tomasi e Galeão (2016), e observadas nos cenários LB e CE do nosso estudo para o ano de 2050.

As simulações dessas áreas diferem dos resultados encontrados por Vitel *et al.* (2009)<sup>6</sup> em um estudo também feito no município de Lábrea, comparando-se a distribuição espacial do desmatamento no cenário mais realista, que considera a criação das UCs com pesos de evidência gradualmente distribuídos, de Vitel *et al.* (2009), com o nosso cenário “Linha de Base”, para o mesmo ano (i.e., 2040), visto que os nossos cenários (i.e., LB e CE) não apresentaram diferenças entre si até o ano de 2045. Observou-se que o fato de o nosso modelo incorporar os “imóveis” e a categoria de terras não destinadas tornou a simulação mais refinada, permitindo representar melhor o desmatamento fora e dentro das áreas protegidas (Figura 2-21).

<sup>6</sup> Vitel *et al.* (2009) analisaram a dinâmica do desmatamento na região de Lábrea até o ano de 2040 sob o efeito da criação de quatro Unidades de Conservação na Área sob Limitação Administrativa Provisória (ALAP) da BR-319, combinando a simulação de diferentes cenários onde os pesos de evidência foram distribuídos gradativamente dentro das áreas.



**Figura 2-21.** Comparativo entre os resultados do cenário GOV com UCs recém criadas PGD de Vitel (2009) (a)<sup>7</sup> e o cenário “Linha de Base” do nosso estudo para o ano de 2040 (b).

Assim como em outros estudos, o atual estudo tem várias limitações na sua modelagem, incluindo as presunções adotadas nos cenários e a não inclusão de fatores importantes que influenciam a dinâmica do desmatamento, envolvendo aspectos

<sup>7</sup> O cenário de Governança (GOV) ou de conservação considera a criação de quatro áreas protegidas (i.e., duas Reservas Extrativistas, uma Floresta Nacional e um Parque Nacional) no município de Lábrea no ano de 2008. Na simulação foram utilizados Pesos de evidência Gradualmente Distribuídos (PGD), diferenciando a probabilidade de alocação do desmatamento dentro das áreas protegidas em relação a distância euclidiana interna (Vitel, 2009).

econômicos, políticos, sociais e ambientais, além de outras particularidades que não foram incluídas. Em relação aos atores, não foram analisadas as possíveis diferenças entre os imóveis maiores que 100 ha, assim como não foi prevista a entrada de novos atores, o cancelamento dos imóveis do CAR e das matrículas no SIGEF/SNCI, ou a conservação das áreas de Reserva Legal (RL) e Áreas de Proteção Permanente (APP). Estas variáveis poderiam ser inseridas em estudos futuros, contribuindo para uma melhor compreensão dos processos de ocupação relacionados aos diferentes atores.

## CONCLUSÃO

Os cenários simulados apresentaram grandes divergências em relação ao desmatamento acumulado para o ano de 2080. O cenário “Com Expansão” apresentou maiores áreas desmatadas a partir da construção das rodovias, que impactaram diretamente em áreas protegidas sob influência das rodovias e nos “imóveis” (i.e., reivindicações autodeclaradas no Cadastro Ambiental Rural e registros nas bases de dados do INCRA) que se sobrepõem às áreas protegidas. Este cenário apresentou a fragilidade das áreas sob a influência da implantação de projetos de infraestrutura combinada com um maior enfraquecimento ambiental, como o observado nos últimos anos no país.

Apesar de este estudo não considerar outras variáveis (p.ex., valor da terra, distâncias aos frigoríficos, às madeireiras, às sedes e estradas secundárias de municípios vizinhos, e a pavimentação da BR-319) que possam ter igual influência nas dinâmicas de ocupação, entende-se que o uso das categorias fundiárias e de atores permitiu melhores predições sobre o processo do desmatamento.

As simulações apresentadas alertam para grandes impactos ambientais futuros na região sul do Amazonas, especialmente caso o desmonte ambiental executado pelo atual governo não seja revertido nos próximos anos. Essas predições também podem auxiliar no direcionamento de ações de combate ao desmatamento para áreas e atores específicos, contribuindo assim para a tomada de decisão sobre construção e expansão de novas estradas e na validação ou cancelamento das reivindicações dos imóveis que sobrepõem as terras públicas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, C.M. 2003. *Modelagem da dinâmica espacial como uma ferramenta auxiliar ao planejamento: simulação de mudanças de uso da terra em áreas urbanas para as cidades de Bauru e Piracicaba (SP), Brasil*. 2003. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos. <http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2003/12.18.07.29>.

Azevedo-Ramos, C.; Moutinho, P. 2018. No man's land in the Brazilian Amazon: Could undesignated public forests slow Amazon deforestation? *Land Use Policy*, 73. 125–127p.

Bonham-Carter, G.F. 1994. *Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS*. Ontario: Pergamon.

Briassoulis, H. 2000. *Analysis of land use change: theoretical and modeling approaches*. [S. l.]: Regional Research Institute, West Virginia University. <https://researchrepository.wvu.edu/rri-web-book/3>.

Brito, B.; Barreto, P.; Brandão, A.; Baima, S.; Gomes, P.H. 2019. Stimulus for land grabbing and deforestation in the Brazilian Amazon. *Environmental Research Letters*, v. 14, art. 064018. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab1e24>.

Campos, P.B.R.; Almeida, C.M.; Queiroz, A.P. 2022. Spatial Dynamic Models for Assessing the Impact of Public Policies: The Case of Unified Educational Centers in the Periphery of São Paulo City. *Land*. 2022, 11, 922. <https://doi.org/10.3390/land11060922>.

Cruz, J.S.; Blanco C.J.C.; Oliveira-Júnior, J.F. 2021. Modeling of land use and land cover change dynamics for future projection of the Amazon number curve. *Science of The Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152348>.

D'Antona, Á.O., VanWey, L.K., Hayashi, C.M. 2006. Property size and land cover change in the Brazilian Amazon. *Population and Environment* 27(5-6), 373-396. <https://doi.org/10.1007/s11111-006-0031-4>

DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes). 2021a. *Rodovias Federais*. (<https://servicos.dnit.gov.br/vgeo/>). Acesso: 12/06/21.

DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes). 2021b. *Rodovias Estaduais*. (<https://servicos.dnit.gov.br/vgeo/>). Acesso:12/06/21.

Fearnside, P.M. 1989. A ocupação humana de Rondônia: impactos, limites e planejamento. Brasília, DF: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Assessoria Editorial e Divulgação Científica. 76p.

Fearnside, P.M. 2017. Deforestation of the Brazilian Amazon. In: H. Shugart (ed.) *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*. Oxford University Press, New York, E.U.A. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.102>.

Fearnside, P.M.; Ferrante, L.; Yanai, A.M.; Isaac J., M.A. 2020. Região Trans-Purus, a última Floresta intacta:1 - Por que é importante? *Amazônia Real*, 24 ago. de 2020. (<https://amazoniareal.com.br/regiao-trans-purus-a-ultima-floresta-intacta-1-por-que-e-importante/#:~:text=O%20grande%20bloco%20de%20floresta,o%20agravamento%20o%20aquecimento%20global>). Acesso: 14/03/2021.

Ferrante, L.; Fearnside, P.M. 2019. Brazil's new president and 'ruralists' threaten Amazonian's environment, traditional peoples and the global climate. *Environmental Conservation*, 46. 261-263p. <https://doi.org/10.1017/S0376892919000213>.

Franco, M.H.M. 2011. Novas Configurações territoriais no Purus indígena e extrativista. In: G. M. dos Santos (Ed.). *Álbum Purus*. Manaus: EDUA, 1. 153-166p.

Freitas, F.L.M.; Guidotti, V.; Sparovek, G.; Hamamura, C. 2018. Nota técnica: *Malha fundiária do Brasil*, v.1812. In: Atlas - A Geografia da Agropecuária Brasileira. ([www.imaflora.org/atlasagropecuario](http://www.imaflora.org/atlasagropecuario)). Acesso:14/09/2020.

FUNAI (Fundação Nacional do Índio). 2021. *Terras Indígenas*. (<https://www.gov.br/funai/pt-br/atuacao/terras-indigenas/geoprocessamento-e-mapas>). Acesso: 09/02/2021.

Godar, J., Tizado, E.J., Pokorny, B., Johnson, J. 2012a. Who is responsible for deforestation in the Amazon? A spatially explicit analysis along the Transamazon Highway in Brazil. *Forest Ecology and Management* 267, 58-73. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.11.046>

Godar, J., Tizado, E.J., Pokorny, B., Johnson, J. 2012b. Typology and characterization of Amazon colonists: A case study along the Transamazon Highway. *Human Ecology* 40, 251-267. <https://doi.org/10.1007/s10745-012-9457-8>

Goodacre, A.K.; Bonham-Carter, G.F.; Agterberg, F.P.; Wright, D.F. 1993. A statistical analysis of the spatial association of seismicity with drainage patterns and magnetic anomalies in western Quebec. *Tectonophysics*, 217(3/4). 285–305p. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(93\)90011-8](https://doi.org/10.1016/0040-1951(93)90011-8).

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

Hagen-Zanker, A.; Lajoie, G. 2008. Neutral models of landscape change as benchmarks in the assessment of model performance. *Landscape and Urban Planning*, 86. 284–296p. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.04.002>.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2020a. *Solos*. (<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>). Acesso: 11/01/2021.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2020b. *Vegetação - RADAM Brasil*. (<https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html>). Acesso: 11/01/2021.

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). 2021. *Malha Municipal*. (<https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html?=&t=downloads>). Acesso: 09/02/2021.

ICMBIO (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade). 2021. *Unidades de Conservação*. (<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>). Acesso: 15/01/2021.

INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária). 2020. *Acervo Fundiário*. ([http://acervofundiario.incra.gov.br/acervo/dados\\_acervo.php](http://acervofundiario.incra.gov.br/acervo/dados_acervo.php)). Acesso: 15/06/2020.

INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). 2021. Desmatamento - Amazônia Legal. INPE, Coordenação Geral de Observação da Terra. Programa de Monitoramento da Amazônia e Demais Biomas. 2021. (<http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads/>). Acesso: 09/08/2021.

Moutinho, P.; Guerra, R.; Azevedo-Ramos, C. 2016. Achieving zero deforestation in the Brazilian Amazon: what is missing? *Elementa: Science of Anthropocene*, 4, art. 000125. <https://doi.org/10.12952/journal.elementa.000125>.

Michalski, F., Metzger, J.-P., Peres, C.A. 2010. Rural property size drives patterns of upland and riparian forest retention in a tropical deforestation frontier. *Global Environmental Change* 20(4), 705-712. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2010.04.010>

Nogueira, E.M.; Yanai, A.M.; de Vasconcelos, S.S.; Graça, P.M.L.A.; Fearnside, P.M. 2017. Brazil's Amazonian protected areas as bulwark against regional climate change. *Regional Environmental Change*, 18. 573-579p. <https://doi.org/10.1007/s10113-017-1209-2>.

Oviedo, A. 2022. Relatório Técnico sobre invasões e desmatamento na Terra Indígena Jacareúba-Katawixi e Unidades de Conservação no Médio Purus. OPI:COIAB. (<https://povosisolados.files.wordpress.com/2022/03/relatoccc81rio-tecc81nicotijacareucc81ba-katawixi-e-ucs-no-mecc81dio-rio-purus.docx.pdf>). Acesso: 09/2022.

PREVISIA. 2022. *Relatório da Predição de Risco de Desmatamento*. (<https://previsia.org/report>). Acesso: 12/06/22.

Ramos, C.J.P.; Graça, P.M.L.A.; Fearnside, P.M. 2018. Deforestation Dynamics on an Amazonian Peri-Urban Frontier: Simulating the Influence of the Rio Negro Bridge in Manaus, Brazil. *Environmental Management*, v. x, p. 1.

Reydon, B.P.; Fernandes, V.B.; Siqueira, G.P. 2018. O Cadastro de Terras no Brasil a partir de Informações Oficiais Georreferenciadas e Disponíveis na Sociedade Civil.

Rosa, I.M.D.; Purves, D.; Carreiras, J.M.B.; Ewers, R.M. 2015. Modelling land cover change in the Brazilian Amazon: temporal changes in drivers and calibration issues.

*Regional Environmental Change*, 15. 123–137p. <https://doi.org/10.1007/s10113-014-0614-z>.

RStudio Team. 2022. *RStudio: Integrated Development Environment for R*. RStudio, PBC, Boston, MA, EUA. <http://www.rstudio.com/>.

Rykiel Jr., E.J. 1996. Testing ecological models: the meaning of validation. *Ecological Modelling*, 90. 229-244p.

Santos Jr., M.A.; Yanai, A.M.; Sousa Jr., F.O.; Freitas, I.S.; Pinheiro, H.P.; Oliveira, A.C.R.; Silva, F.L.; Graça, P.M.L.A.; Fearnside, P.M. 2018. BR-319 como propulsora de desmatamento: simulando o impacto da rodovia Manaus-Porto Velho. Manaus: *IDESAM*.

Schneider, M.; Peres, C.A. 2015. Environmental Costs of Government-Sponsored Agrarian Settlements in Brazilian Amazonia. *PLoS ONE*, 10(8):art. E0134016. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0134016>.

SFB, Serviço Florestal Brasileiro. 2021b. *Cadastro Nacional de Florestas Públicas (CNFP)*. (<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/servico-florestal-brasileiro/cadastro-nacional-de-florestas-publicas/cadastro-nacional-de-florestas-publicas-atualizacao-2020>). Acesso: 14/02/2021.

SFB, Serviço Florestal Brasileiro. 2021a. *Sistema de Cadastro Ambiental Rural (SICAR)*. (<http://www.car.gov.br/publico/imoveis/index>). Acesso: 14/02/2021.

SIGMINE (Sistema de Informações Geográficas da Mineração). 2021. *Processos minerários ativos*. (<https://geo.anm.gov.br/portal/apps/webappviewer/index.html?id=6a8f5ccc4b6a4c2bba79759aa952d908>). Acesso: 18/09/2021.

Soares-Filho, B.S. 1998. *Modelagem da dinâmica de paisagem de uma região de fronteira de colonização amazônica*. São Paulo. 299 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (EPUSP).

Soares-Filho, B.S.; Cerqueira, G.C.; Pennachin, C.L. 2002. DINAMICA – a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. *Ecological Modelling*, 154(3). 217–235p. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(02\)00059-5](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00059-5).

Soares-Filho, B.S.; Alencar, A.; Nepstad, D.; Cerqueira, G.C.; Vera Diaz, M.; Rivero, S.; Solórzano, L.; Voll, E. 2004. Simulating the response of land-cover changes to road 1059 paving and governance along a major Amazon highway: the Santarém-Cuiabá corridor. *Global Change Biology*, 10. 745-764p. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2003.00769.x>.

Soares-Filho, B.S.; Rodrigues, H.O.; Costa, W. 2009. Modeling environmental dynamics with Dinamica EGO. Belo Horizonte: Britaldo Silveira Soares-Filho.

Teixeira, A.M.G.; Soares-Filho, B.S.; Freitas, S.R.; Metzger, J.P. 2009. Modeling landscape dynamics in an Atlantic Rainforest region: Implications for conservation. *Forest Ecology and Management*, 2009, 257, 1219–1230.

Tomasi, A.S.; Galeao, P. 2016. Grilagem de Terras e Violência Agrária: Criação e Extinção de um Projeto de Reforma Agrária no sul do Amazonas.

Brasil. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). 2011. *Topodata: banco de dados geomorfológicos do Brasil*. Variáveis geomorfológicas locais. São José dos Campos, 2008. (<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>). Acesso: 12/06/2021.

Vale, M.M.; Berenguer, E.; de Menezes, M.A.; de Castro, E.B.V; de Siqueira, L.P.; Portela, R.C.Q. 2021. The COVID-19 pandemic as an opportunity to weaken environmental protection in Brazil. *Biological Conservation*, v. 255, art. 108994. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.108994>.

Vitel, C.S.M.N; Fearnside, P.M.; Graça, P.M.L.A. 2009. Análise da inibição do desmatamento na parte Sudoeste do Arco de desmatamento. pp. 6377-6384. In: J. C. N. Epiphany & L.S. Galvão (Eds.) *Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, 2009. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos-São Paulo, Brasil.

Walker, W. S.; Gorelik, S.R.; Bazzini, A.; Aragon-Osejo, J.L.; Josse, C.; Meyer, C.; *et al.* 2020. The role of forest conversion, degradation, and disturbance in the carbon dynamics of Amazon indigenous territories and protected areas. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, 117(6). 3015-3025p.

Wolfram, S. 1983. Statistical mechanics of cellular automata. *Reviews of Modern Physics*, 55(3). 601–644p. <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.55.601>.

Yanai, A.M.; Graça, P.M.L.A.; Ziccardi, L.G.; Escada, M.I.S.; Fearnside, P.M. 2022. Brazil's Amazonian deforestation: the role of landholdings in undesignated public lands. *Regional Environmental Change*, 22(30). <https://doi.org/10.1007/s10113-022-01897-0>.

## CONCLUSÃO GERAL

A análise dos padrões e trajetórias para o município de Lábrea permitiu associar o desmatamento com os diferentes atores e processos de ocupação observados na região. O principal padrão observado foi representado por estágios iniciais de ocupação na extensa área sob domínio de áreas protegidas. No entanto, padrões relacionados a maiores áreas de desmatamento apresentaram maiores impactos nas mudanças de uso da terra. Em relação às trajetórias do desmatamento, o estudo apontou para a consolidação da porção sul do município e uma expansão do desmatamento em direção as áreas mais centrais do território de Lábrea.

A modelagem do desmatamento projetou cenários futuros a partir da simulação do avanço do desmatamento observado nos últimos anos na região amazônica, identificando as mudanças de uso da terra para diferentes tamanhos de imóveis e categorias fundiárias. O cenário “Com Expansão” mostrou que as áreas sob a influência da implantação das rodovias simuladas, considerando as dinâmicas recentes de ocupação, são mais susceptíveis ao avanço do desmatamento. As simulações futuras alertam para grandes perdas de florestas principalmente na região sul de Lábrea onde se concentram terras não destinadas e “imóveis”.

A integração entre estas análises possibilitou discussões que envolvem as possíveis trajetórias para a área de estudo em cenários futuros. Este estudo serve de base para orientar ações na região sul, que atualmente compõe um dos cenários mais críticos do estado do Amazonas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alencar, A.; Moutinho, P.; Arruda, V.; Silvério, D. 2020. Amazônia em chamas – O fogo e o desmatamento em 2019 e o que vem em 2020. Nota técnica n° 3. Brasília: *Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia*. (<https://ipam.org.br/bibliotecas/amazonia-em-chamas-3-o-fogo-e-o-desmatamento-em-2019-e-o-que-vem-em-2020>). Acesso: 16/02/2021.
- Alencar, A.; Silvestrini, R.; Gomes, J.; Savian, G. 2022. Amazônia em chamas – O novo e alarmante patamar do desmatamento na Amazônia. Nota técnica n° 9. Brasília: *Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia*. ([https://ipam.org.br/wp-content/uploads/2022/02/Amaz%C3%B4nia-em-Chamas-9-pt\\_vers%C3%A3o-final-2.pdf](https://ipam.org.br/wp-content/uploads/2022/02/Amaz%C3%B4nia-em-Chamas-9-pt_vers%C3%A3o-final-2.pdf)). Acesso: 22/07/2022.
- Azevedo-Ramos, C. Moutinho, P.; Arruda, V. L. S.; Stabile, M. C. C.; Alencar, A.; Castro, I.; Ribeiro, J. P. 2020. Lawless land in no man's land: The undesignated public forests in the Brazilian Amazon. *Land Use Policy*, 99, art. 104863. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104863>.
- CPT (Comissão Pastoral da Terra). 2021. *Conflitos no Campo*. Brasil: CEDOC Dom Tomás Balduino - CPT. ([www.cptnacional.org.br](http://www.cptnacional.org.br)). Acesso: 09/06/2021.
- Briassoulis, H. 2000. *Analysis of land use change: theoretical and modeling approaches*. [S. l.]: Regional Research Institute, West Virginia University. <https://researchrepository.wvu.edu/rri-web-book/3>.
- Fearnside, P.M. 2017. Deforestation of the Brazilian Amazon. In: H. Shugart (ed.) *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science*. Oxford University Press, New York, E.U.A. <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.102>.
- Fearnside, P.M. 2018. BR-319 e a destruição da floresta amazônica. *Amazônia Real*, 19 out. de 2018. (<https://amazoniareal.com.br/br-319-e-destruicao-da-floresta-amazonica/>). Acesso: 14/03/2021.
- Fearnside, P.M.; Ferrante, L.; Yanai, A.M.; Isaac J., M.A. 2020. Região Trans-Purus, a última Floresta intacta:1 - Por que é importante? *Amazônia Real*, 24 ago. de 2020. (<https://amazoniareal.com.br/regiao-trans-purus-a-ultima-floresta-intacta-1-por-que-e-importante/#:~:text=O%20grande%20bloco%20de%20floresta,o%20agravamento%20do%20aquecimento%20global>). Acesso: 14/03/2021.
- IMAZON (Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia). 2022. Desmatamento na Amazônia cresce 29% em 2021 e é o maior dos últimos 10 anos. *IMAZON*, 17 jan. de 2022. (<https://imazon.org.br/imprensa/desmatamento-na-amazonia-cresce-29-em-2021-e-e-o-maior-dos-ultimos-10-anos/>). Acesso: 28/01/2022.
- IPAM (Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia). 2021. Invasão de terras públicas foi a principal causa do desmatamento na Amazônia. *IPAM*, 22 nov.

(<https://ipam.org.br/invasao-de-terras-publicas-foi-a-principal-cao-do-desmatamento-na-amazonia/>). Acesso: 03/01/2022.

INFOAMAZONIA. 2021. Sul do Amazonas é a nova fronteira do desmatamento na Amazônia, *InfoAmazonia*, 22 dez. 2021. (<https://infoamazonia.org/storymap/sul-do-amazonas-e-nova-fronteira-do-desmatamento-da-amazonia/>). Acesso: 22/07/2022

IPAM (Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia). 2021. Invasão de terras públicas foi a principal causa do desmatamento na Amazônia. *IPAM*, 22 nov. (<https://ipam.org.br/invasao-de-terras-publicas-foi-a-principal-cao-do-desmatamento-na-amazonia/>). Acesso: 03/01/2022.

Mertens B.; Lambin, E.F. 1997. Spatial modeling of deforestation in southern Cameroon. Spatial disaggregation of diverse deforestation processes. *Applied Geography*, 17(2). 143-162p.

Salomão, C.S.C.; Stabile, M.C.C.; Souza, L.; Alencar, A., Castro, I., Guyot, C., e Moutinho, P. 2021. Amazônia em Chamas - desmatamento, fogo e pecuária em terras públicas: nota técnica nº 8. Brasília, DF: *Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia*, 2021. (<https://ipam.org.br/wp-content/uploads/2022/05/Amazo%CC%82nia-em-Chamas-8-pecua%CC%81ria-pt.pdf>). Acesso: 22/07/2022.

Silva, M.P.S.; Câmara, G.; Escada, M.I.S.; Souza, R.C.M. 2008. Remote-sensing image mining: detecting agents of land-use change in tropical forest areas. *International Journal of Remote Sensing*, 29(16). 4803-4822p.

West, T.A.P., Grogan, K.A., Swisher, M.E., Caviglia-Harris, J.L., Sills, E., Harris, D., Roberts, D., Putz, F.E., 2018. A hybrid optimization-agent-based model of REDD+ payments to households on an old deforestation frontier in the Brazilian Amazon. *Environ. Model. Softw.* 100, 159–174. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.11.007>

## APÊNDICES

### Capítulo 1: Análise dos Padrões e Trajetórias do Desmatamento

#### Apêndice A: Métricas de Paisagem

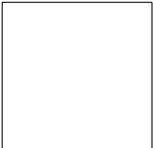
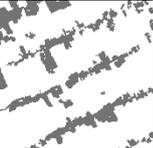
**Tabela A-1.** Descrição das métricas de paisagem da análise dos padrões e trajetórias do desmatamento para o município de Lábrea – AM.

Sigla	Nome	Descrição	Tipo do Índice	Fórmula
CA	<i>Class Area</i>	é uma medida da composição da paisagem representada pela soma de áreas de todos os fragmentos de determinada classe em hectares (ha). $CA > 0$ . O valor de CA aproxima-se de 0 quando há poucas manchas da classe na paisagem.	Mancha/área	$CA = \sum_{j=1}^n a_j$
AWMSI	<i>Area-Weighted Mean Shape Index</i>	é a razão entre o perímetro e a raiz quadrada da área, ponderado pela área da mancha, de modo que as manchas maiores pesam mais do que os menores, sendo que $AWMSI \geq 1$ . $AWMSI = 1$ se todas as manchas são circulares ou retangulares. Esse índice aumenta conforme a complexidade dos polígonos aumenta, ou seja, conforme as formas tornam-se mais irregulares.	Forma	$AWMSI = \sum_{j=1}^n \left[ \frac{p_j}{2\sqrt{\pi \times a_j}} \times \frac{a_j}{\sum_{j=1}^n a_j} \right]$
LSI	<i>Landscape Shape Index</i>	mede a complexidade de forma das manchas, $LSI \geq 1$ , sem limite. $LSI = 1$ quando a paisagem consiste de uma única mancha com forma circular ou retangular.	Forma	$LSI = \frac{\sum_{j=1}^n e_j}{2\sqrt{\pi \times A}}$
MSI	<i>Mean Shape Index</i>	é a relação média entre perímetro e área das manchas dividida pelo número de manchas. Expressa a complexidade da forma. Não há	Forma	$MSI = \frac{\sum_{j=1}^n \frac{p_j}{2 \times \sqrt{\pi \times a_j}}}{n}$

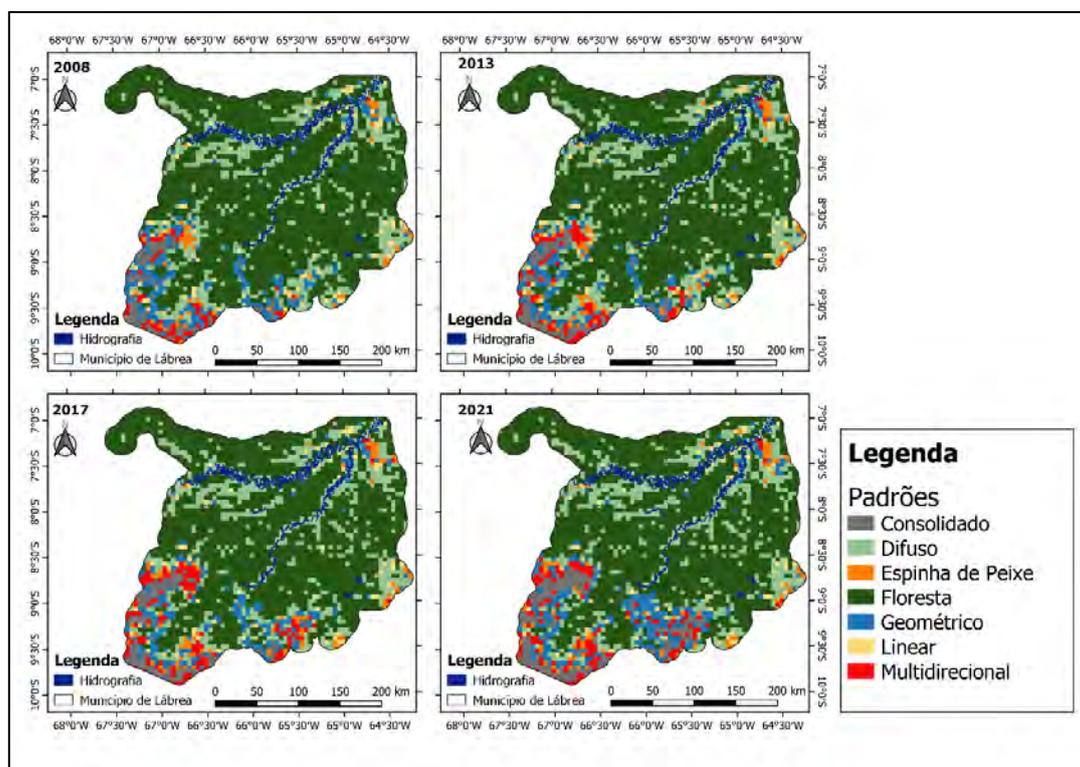
		unidade e $MSI \geq 1$ . $MSI = 1$ quando todas as manchas são circulares ou retangulares (dado vetorial).		
PSCOV	<i>Patch Size Coefficient of Variation</i>	é o coeficiente de variação das manchas. $PSCOV \geq 0$ , dado em porcentagem. Este é o coeficiente de variação da população, e não o coeficiente amostral de variação. Mede a variabilidade do tamanho relativo em relação à média de tamanho.	Tamanho	$PSCOV = \frac{PSSD}{MPS} \times 100$
SHDI	<i>Shannon's Diversity Index</i>	é igual a menos a soma, considerando-se todos os tipos de manchas, da abundância proporcional de cada tipo de mancha multiplicada pelo seu logaritmo natural. Note, $P_i$ , que é a proporção da paisagem ocupada pelo tipo de mancha (classe) $i$ , é baseada na área total da paisagem ( $A$ ), excluindo-se qualquer <i>background</i> interno.	Diversidade	$SHDI = - \sum_{i=0}^m P_i \times \ln P_i$

## Apêndice B: Tipologia dos padrões de desmatamento

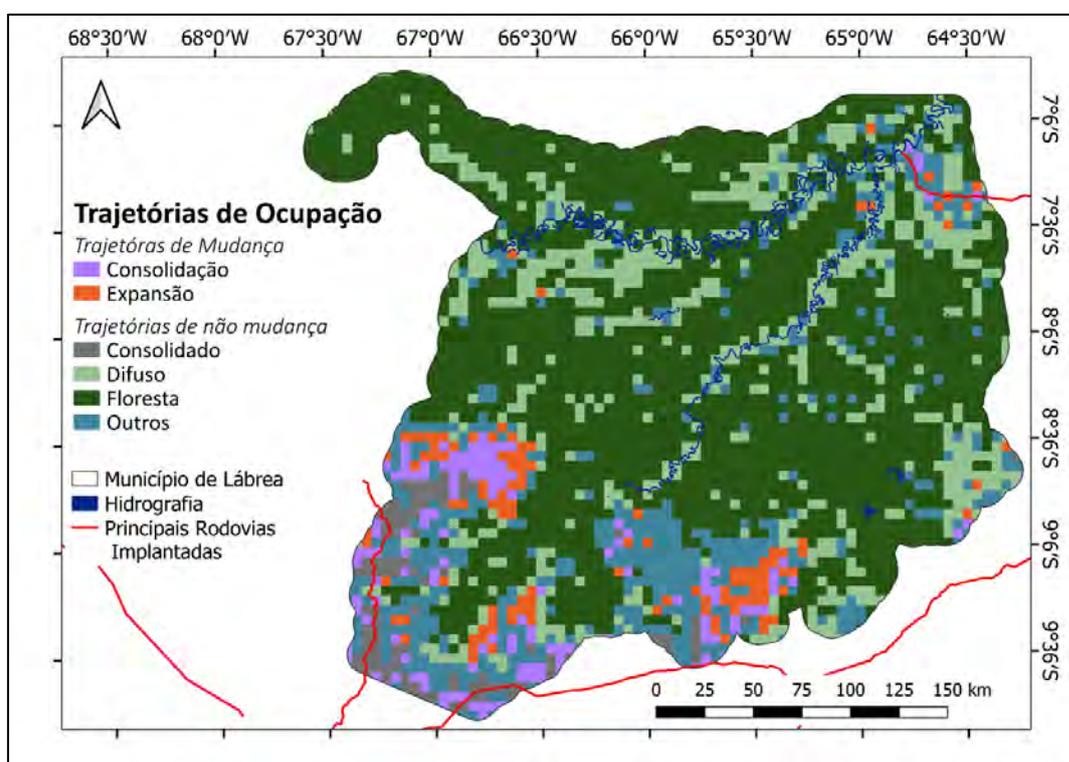
**Tabela B-1.** Tipologia dos padrões de desmatamento associados a ocupação humana nas células com resolução 05×05 e 15×15 km para o município de Lábrea. (branco = floresta, cinza = desmatamento)

Padrões	Grades Celulares (km)		Descrição	Padrões de Ocupação
	05×05	15×15		
Floresta			-Ausência de manchas de desmatamento;	-Não são observados padrões de ocupação
Difuso			-Pequenas manchas; -Manchas isoladas; -Baixa a média densidade; -Distribuição uniforme.	-Ocupação inicial distribuída nas margens dos rios e em áreas de garimpo; -Pequenos produtores.
Linear			-Manchas alongadas e contínuas; -Unidirecional; -Baixa densidade.	-Ocupação inicial distribuída ao longo de estradas; -Pequenos produtores.
Geométrico			-Pequenas e médias manchas geométricas regulares; -Média e baixa densidade.	-Estágio inicial da ocupação; -Médios e grandes produtores.
Espinha de Peixe			-Grandes manchas alongadas e ramificadas, com aparência semelhante ao esqueleto de um peixe.; -Média densidade;	-Estágio intermediário de ocupação; -Pequenos e médios produtores rurais; -Áreas destinadas à Projetos de Assentamento do INCRA.
Multidirecional			-Manchas médias e grandes de geometria irregular; -Média a alta densidade; -Multidirecional.	-Estágio intermediário a avançado de ocupação.
Consolidado			-Grandes manchas sem forma definida; -Alta densidade.	-Ocupações em níveis avançados.

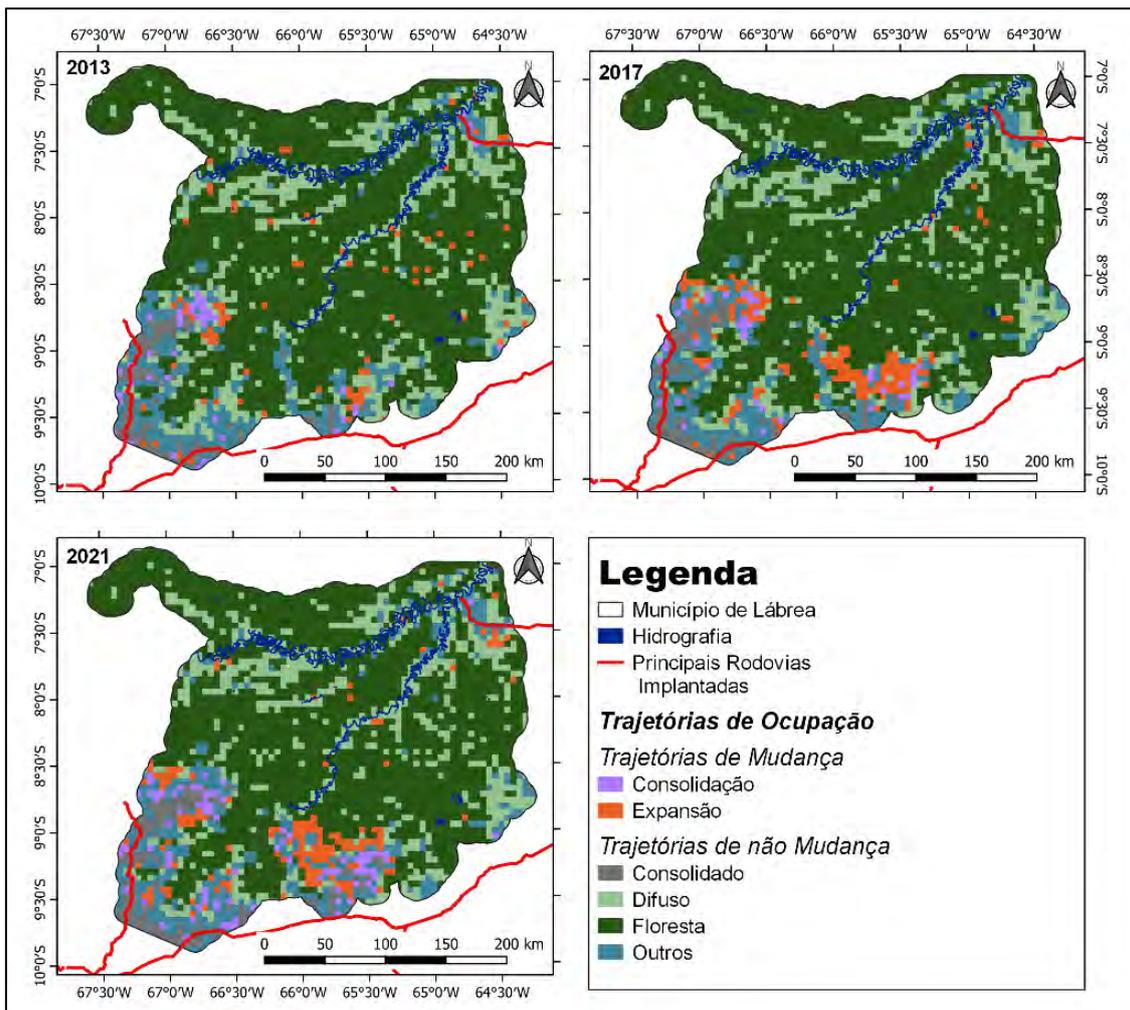
Apêndice C: Resultados da classificação dos padrões e trajetórias do desmatamento para a resolução celular de  $05 \times 05 \text{ km}$  e  $15 \times 15 \text{ km}$ .



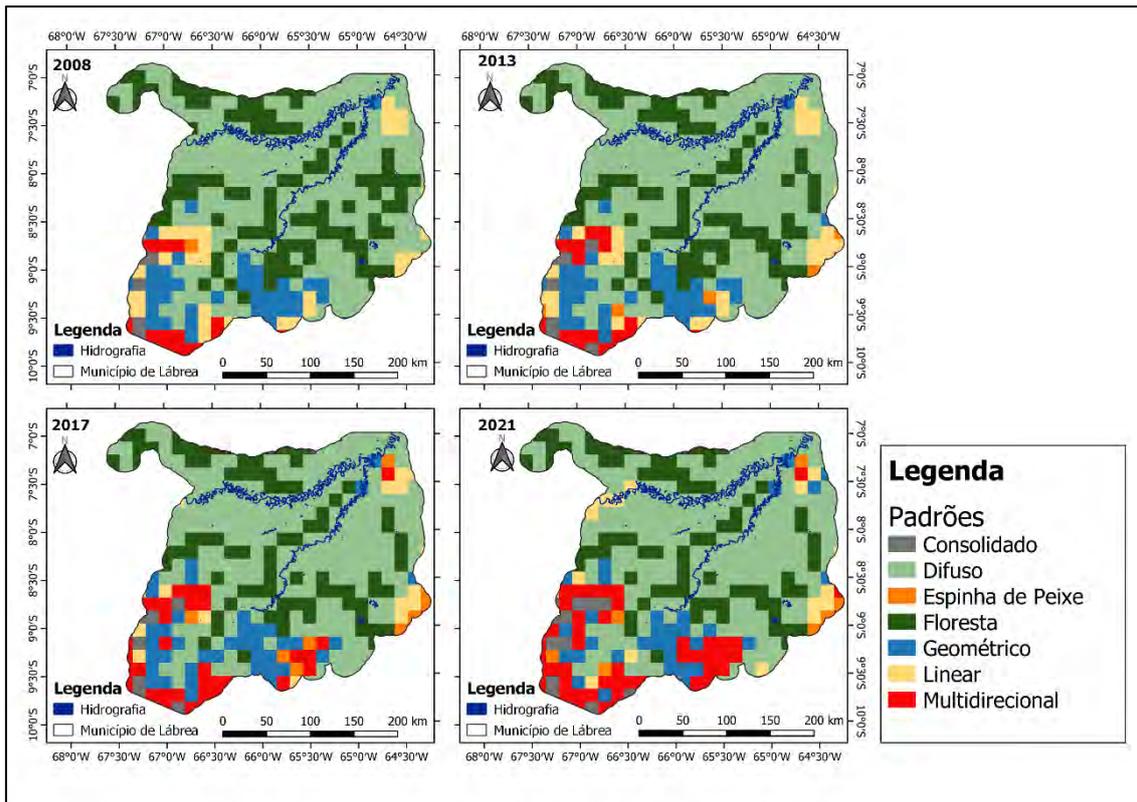
**Figura C-1.** Mapas dos padrões de desmatamento para os anos de 2008, 2013, 2017 e 2021 no espaço celular de  $05 \times 05 \text{ km}$  para o município de Lábrea – AM.



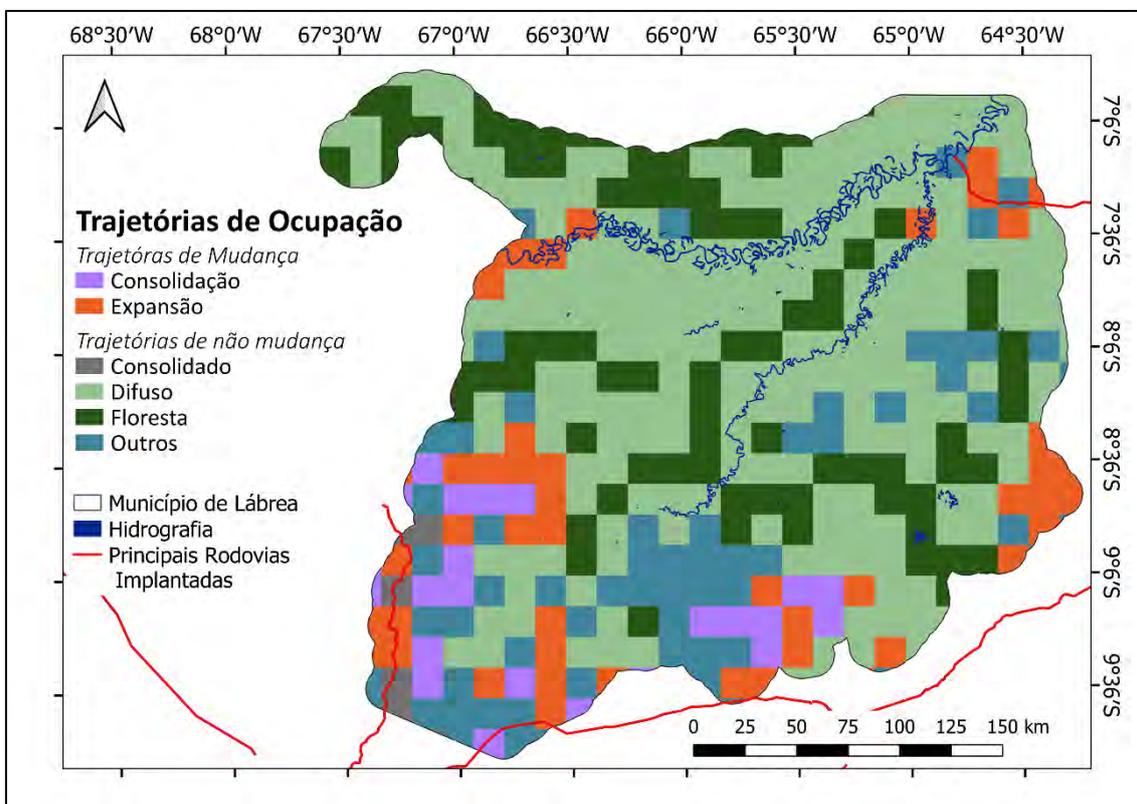
**Figura C-2.** Mapa final das trajetórias de ocupação para o período de 2008 a 2021 no espaço celular de  $05 \times 05 \text{ km}$  para o município de Lábrea-AM.



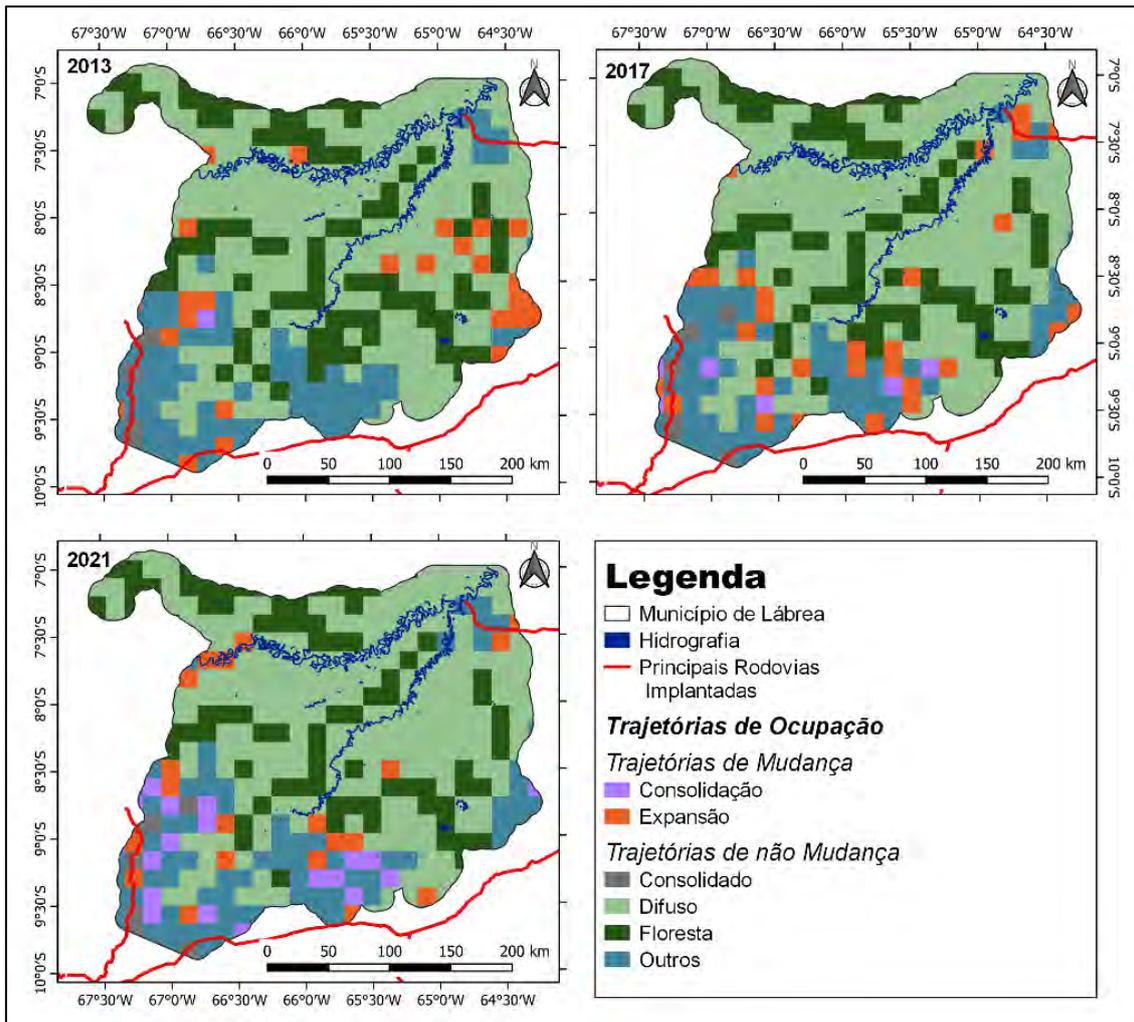
**Figura C-3.** Mapas da evolução das trajetórias de ocupação para os períodos de 2008-2013, 2013-2017, 2017-2021 no espaço celular de 05×05km para o município de Lábrea – AM.



**Figura C-4.** Mapas dos padrões de desmatamento para os anos de 2008, 2013, 2017 e 2021 no espaço celular de  $15 \times 15$  km para o município de Lábrea – AM.



**Figura C-5.** Mapa final das trajetórias de ocupação para o período de 2008 a 2021 no espaço celular de  $15 \times 15$  km para o município de Lábrea-AM.



**Figura C-6.** Mapas da evolução das trajetórias de ocupação para os períodos de 2008-2013, 2013-2017, 2017-2021 no espaço celular de 15×15km para o município de Lábrea – AM.

## Apêndice D: Matrizes de confusão anuais para a grade celular 10×10km

2008	Consolidado	Difuso	Espinha de Peixe	Floresta	Geométrico	Linear	Multidirecional	Acurácia do Produtor (%)
Consolidado	9							100%
Difuso		10				2		83%
Espinha de Peixe			2					100%
Floresta				10				100%
Geométrico					4		5	44%
Linear			2		1	4		57%
Multidirecional	1		2				8	62%
Acurácia do Usuário (%)	90%	100%	33%	100%	80%	67%	67%	

2013	Consolidado	Difuso	Espinha de Peixe	Floresta	Geométrico	Linear	Multidirecional	Acurácia do Produtor (%)
Consolidado	7							100%
Difuso		10						100%
Espinha de Peixe			2		1		3	33%
Floresta				10				100%
Geométrico		2			7	1	1	64%
Linear					2	4		67%
Multidirecional	1		2				7	70%
Acurácia do Usuário (%)	88%	83%	50%	100%	70%	80%	64%	

2017	Consolidado	Difuso	Espinha de Peixe	Floresta	Geométrico	Linear	Multidirecional	Acurácia do Produtor (%)
Consolidado	6							100%
Difuso		10				1		91%
Espinha de Peixe			2				2	50%
Floresta				10				100%
Geométrico		1			7	1	1	70%
Linear			2		2	5		56%
Multidirecional	2		1				7	70%
Acurácia do Usuário (%)	75%	91%	40%	100%	44%	72%	70%	

2021	Consolidado	Difuso	Espinha de Peixe	Floresta	Geométrico	Linear	Multidirecional	Acurácia do Produtor (%)
Consolidado	6							100%
Difuso		10						100%
Espinha de Peixe			5					100%
Floresta				10				100%
Geométrico					11			100%
Linear		1				5		83%
Multidirecional	2		1				9	82%
Acurácia do Usuário (%)	75%	91%	83%	100%	100%	100%	100%	

## Capítulo 2: Modelagem do desmatamento

### Apêndice E: Obtenção das categorias fundiárias para o município de Lábrea

Através dos dados disponíveis na plataforma SICAR (Sistema Nacional de Cadastro Ambiental rural) do Serviço Florestal Brasileiro (SFB), foram adquiridos os polígonos dos imóveis rurais atualizados até 08/02/2021. Posto que estes cadastros apresentam incongruências relacionadas à duplicação e sobreposição de “imóveis”, foi aplicado o seguinte conjunto de regras aos dados do CAR:

- Os cadastros que representam as áreas dos projetos de assentamentos (“AST”) e dos povos e comunidades tradicionais (“PCT”) foram excluídos, sendo apenas os cadastros do tipo “Imóvel Rural” (IRU) utilizados nesta análise. Também foram excluídos os imóveis que não possuíam data de registro e um imóvel específico que possuía uma área total de 948 mil hectares, sobrepondo-se a imóveis, terras indígenas e unidades de conservação.
- A data de registro foi um fator determinante em relação às sobreposições existentes entre os cadastros, pois se optou por manter os imóveis com cadastros mais recentes, exceto quando o imóvel apresentava uma área significativamente menor, casos estes em que se manteve o que tinha maior área.

Para se obter o mapa das regiões eliminando-se as sobreposições que também existem entre as diferentes bases fundiárias, baseou-se nos conceitos da hierarquia fundiária proposta por Reydon *et al.* (2018), em que classificaram as categorias conforme a confiabilidade e precisão das informações geográficas. A Tabela A2-1 apresenta a constituição de cada região do nosso estudo (i.e., categorias fundiárias), incluindo a descrição e a fonte de obtenção.

**Tabela E-1.** Descrição e fonte de obtenção das categorias fundiárias para elaboração do mapa das regiões para modelagem.

<b>Regiões</b>	<b>Categorias fundiárias</b>	<b>Hierarquia Fundiária</b>	<b>Descrição</b>	<b>Fonte dos Dados</b>
<b>Imóveis maiores e menores que 100 ha</b>	Imóveis Rurais do Cadastro Ambiental Rural (CAR)	1º	Cadastros auto declaratórios sob gestão do SFB.	SFB (2021a)
	Propriedades Privadas (SIGEF/SCNI)		Imóveis georreferenciados e certificados pelo INCRA.	INCRA (2020)
	Terra Legal Destinado		Imóveis destinados pelo programa Terra Legal e que ainda não estão sistematizados no SIGEF.	Atlas Agropecuário (IMAFLORA/Geolab) (Reydon <i>et al.</i> , 2018)
<b>Áreas Protegidas</b>	Unidades de Conservação de Proteção Integral e de Uso Sustentável (UCPI e UCUS)	2º	Áreas destinadas a proteção da biodiversidade e povos indígenas.	ICMBio (2021)
	Terras Indígenas Homologadas (TIHOMO) e em Estudo (TIEST)			FUNAI (2021)

Regiões	Categorias fundiárias	Hierarquia Fundiária	Descrição	Fonte dos Dados
Assentamentos Rurais		3º	Áreas destinadas a projetos de assentamentos rurais estaduais e federais.	INCRA (2020)
<b>Terras não destinadas</b>	Terras Públicas não Destinadas (TPND)	4º	Compostas por parte da camada SIGEF público excluindo áreas públicas (i.e., UCs, assentamentos, Tis, etc.) e representadas pela Floresta Tipo B sob gestão do SFB no Cadastro Nacional de Florestas Públicas.	INCRA (2020) e SFB (2021b)
	Terra Legal não Destinado		Áreas que fazem	Atlas Agropecuário (IMAFLOA/Geol

Regiões	Categorias fundiárias	Hierarquia Fundiária	Descrição	Fonte dos Dados
			referência às glebas públicas da Amazônia Legal sob domínio do programa Terra Legal e que até o momento da análise não foram destinadas.	ab) (Reydon <i>et al.</i> , 2018)