



**NICOLE ZAMBALDI ROCHA**

**SICAR COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE E TENDÊNCIA  
DO DESMATAMENTO NA REGIÃO NORTE DO BRASIL**

**LAVRAS – MG  
2020**

**NICOLE ZAMBALDI ROCHA**

**SICAR COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE E TENDÊNCIA DO  
DESMATAMENTO NA REGIÃO NORTE DO BRASIL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Manejo Florestal, para obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. José Roberto Soares Scolforo  
Orientador

Dr. Henrique Ferrazo Scolforo  
Coorientador

Dra. Thiza Falqueto Altoé  
Coorientadora

**LAVRAS – MG  
2020**

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Rocha, Nicole Zambaldi.

SICAR como ferramenta de análise e tendência do  
desmatamento na região norte do Brasil / Nicole Zambaldi Rocha. -  
2020.

82 p.

Orientador(a): José Roberto Soares Scolforo.

Coorientador(a): Henrique Ferraço Scolforo, Thiza Falqueto  
Altoé.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2020.

Bibliografia.

1. Amazônia Legal. 2. Desmatamentos. 3. Malha Fundiária. I.  
Scolforo, José Roberto Soares. II. Scolforo, Henrique Ferraço. III.  
Altoé, Thiza Falqueto. IV. Título.

**NICOLE ZAMBALDI ROCHA**

**SICAR COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE E TENDÊNCIA DO  
DESMATAMENTO NA REGIÃO NORTE DO BRASIL**

**SICAR AS NA ANALYSIS AND TRENDING DEFORESTATION TOOL IN THE  
NORTH REGION OF BRAZIL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Manejo Florestal, para obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 31 de agosto de 2020  
Dr. José Roberto Soares Scolforo UFLA  
Dr. Luís Antônio Coimbra Borges UFLA  
Dr. Henrique Ferração Scolforo SUZANO S.A

Prof. Dr. José Roberto Soares Scolforo  
Orientador  
Dr. Henrique Ferração Scolforo  
Coorientador  
Dra. Thiza Falqueto Altoé  
Coorientadora

**LAVRAS – MG  
2020**

## RESUMO

O presente trabalho consiste na combinação de ferramentas de sensoriamento remoto que permite a detecção de desmatamentos com o componente explicativo que o SICAR oferece, e outras bases de malha fundiária, que podem identificar áreas de expressiva perda de carbono resultado dos desmatamentos ocorridos. Com isso, esse estudo possui o objetivo de analisar e demonstrar a tendência do desmatamento na Floresta Amazônica do Norte do Brasil em uma série histórica de 2008 a 2016, com objetivos específicos de entender a evolução do desmatamento após a instituição de áreas de uso consolidado até o ano de 2016, nos estados do Pará e Amazonas; Analisar os padrões de áreas desmatadas de acordo com a estrutura fundiária dos estados, quanto aos diferentes tipos de propriedades (pública, assentamentos, privada e protegida) e tamanho da propriedade; Quantificar a biomassa perdida e a emissão de carbono provenientes dos desmatamentos na série histórica de 2008 a 2016 nos estados em estudo. Utilizou-se na metodologia ferramentas de “Sensoriamento Remoto” ou SIG, e tabelas para processar os dados disponibilizados pelo LEMAF/UFLA, como a base de dados Sicar e do Projeto Monitoramento dos estados em estudo. Grande parte dos desmatamentos ocorridos nos estados pesquisados (PA e AM) do Norte do Brasil entre 2008-2016 foram no estado do Pará, equivalente a 69% do total; As propriedades privadas foram os maiores responsáveis pelo desmatamento, com 25.876 km<sup>2</sup> desmatados; Menores propriedades tendem a desmatar maiores áreas em termos percentuais e foram responsáveis pela taxa mais elevada de desmatamentos, equivalente a 19% do total; no Amazonas as grandes propriedades foram os principais agentes de desmatamento, enquanto no Pará foram as menores propriedades; Os desmatamentos ocorridos entre 2008-2016 foram responsáveis pela emissão de 58,98 Tg de CO<sub>2</sub> Equivalente. Em que as propriedades privadas foram as maiores responsáveis por essa emissão, especificamente as grandes e as pequenas propriedades, com 5,55 Tg e 5,83 Tg de CO<sub>2</sub> Equivalente. Os maiores estoques de carbono se concentram em áreas protegidas. Por fim, o levantamento permitiu concluir que o aumento da resolução espacial melhora a capacidade de monitorar áreas desmatadas anteriormente não detectadas e os resultados mostram que dados de sensoriamento remoto conjuntamente com dados de malha fundiária são ferramentas promissoras para entender a dinâmica do desmatamento, mas ainda existem muitas melhorias que devem ser realizadas, principalmente a regularização fundiária, para que não haja sobreposição entre as propriedades, e possa identificar os responsáveis pelos desmatamentos.

**Palavras-chave:** Amazônia Legal. Desmatamentos. Malha Fundiária.

## ABSTRACT

The present work consists of the combination of remote sensing tools that allows the detection of deforestation with the explanatory component that SICAR offers, and other bases of land tenure, which can identify areas of significant carbon loss resulting from deforestation. Thus, this study aims to analyze and demonstrate the trend of deforestation in the Amazon rainforest of northern Brazil in a historical series from 2008 to 2016, with specific objectives of understanding the evolution of deforestation after the institution of areas of consolidated use until the year 2016, in the states of Pará and Amazonas; Analyze the patterns of deforested areas according to the land tenure structure of the states, regarding the different types of properties (public, settlements, private and protected) and property size; Quantify lost biomass and carbon emissions from deforestation in the historical series from 2008 to 2016 in the states under study. In the methodology, "Remote Sensing" or GIS tools and tables were used to process the data provided by LEMAF / UFPA, such as the Sicar database and the Monitoring project of the states under study. Much of the deforestation that occurred in the surveyed states (PA and AM) in northern Brazil between 2008-2016 was in the state of Pará, equivalent to 69% of the total; Private properties were largely responsible for deforestation, with 25,876 km<sup>2</sup> deforested; Smaller properties tend to deforest larger areas in percentage terms and were responsible for the highest rate of deforestation, equivalent to 19% of the total; in Amazonas, large properties were the main agents of deforestation, while in Pará, they were the smallest properties; The deforestations that occurred between 2008-2016 were responsible for the emission of 58.98 Tg of CO<sub>2</sub> Equivalent. In which private properties were largely responsible for this emission, specifically large and small properties, with 5.55 Tg and 5.83 Tg of CO<sub>2</sub> Equivalent. The largest carbon stocks are concentrated in protected areas. Finally, the survey concluded that the increase in spatial resolution improves the ability to monitor previously undetected deforested areas and the results show that remote sensing data together with data from land tenure are promising tools to understand the dynamics of deforestation, but still there are many improvements that must be made, mainly land regularization, so that there is no overlap between properties, and can identify those responsible for deforestation.

**Keywords:** Legal Amazonia. Deforestation. Land Tenure.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Localização dos estados Amazonas e Pará. ....	32
Figura 2 – Correção da classificação de 2008-2011, em que a cor amarela representa a classe uso consolidado, a cor verde vegetação nativa e o roxo seria detecção de desmatamentos.....	33
Figura 3 – A primeira figura representa a segmentação de imagem RapidEye pelo algoritmo Multiresolution Segmentation, que é realizada a nível de pixels parecidos. A segunda figura é a ressegmentação da primeira figura pelo algoritmo Spectral difference segmentation, onde há a junção de áreas com menor diferença espectral, tornam os segmentos maiores. ....	35
Figura 4 - Exemplo de detecção de desmatamento ocorrido em diferentes anos. As setas indicam onde houve a remoção da cobertura vegetal ao comparar as imagens no Tempo 1 e Tempo 2.....	35
Figura 5 - Exemplo de detecção de desmatamento ocorrido em diferentes anos. As imagens da primeira coluna representam a mesma área em tempos diferentes. As imagens da segunda coluna representam a classificação de uso do solo das imagens da primeira coluna. As setas indicam onde houve a remoção da cobertura vegetal ao comparar as imagens em diferentes tempos.....	36
Figura 6 – Mapa de biomassa viva acima do solo.....	39
Figura 7– Fluxograma representativo da metodologia utilizada no trabalho. ....	40
Figura 8 - Representação da sequência de processamento dos dados para análise de tendência dos desmatamentos nos estados separados por malha fundiária. ....	40
Figura 9 - Representação da sequência de processamento dos dados .....	41
Figura 10 – Distribuição dos polígonos de desmatamento conforme o tamanho de área (ha). 45	
Figura 11- Distribuição dos centros urbanos, hidrovias, rodovias federais e outras estradas nos estados do Amazonas e Pará.....	47
Figura 12 – Área desmatada (km <sup>2</sup> , linha sólida) e estimativa da área desmatada (km <sup>2</sup> , linha tracejada) por ano, nos estados do Amazonas e Pará. ....	51
Figura 13 - Mapa representativo com a distribuição espacial das propriedades nos estados... 52	
Figura 14 - Mapa da distribuição espacial dos desmatamentos ocorridos nos tipos de propriedades.....	54
Figura 15 - Estimativa de áreas desmatadas por tipo de propriedade no estado do Amazonas. ....	57
Figura 16 - Estimativa de áreas desmatadas por tipo de propriedade no estado do Pará. ....	57

Figura 17 - Distribuição espacial da relação entre a área desmatada e área total de cada assentamento, através dos limites das propriedades no estado do Amazonas e no Pará.....	60
Figura 18 - Distribuição espacial da relação entre a área desmatada e a área total de cada propriedade privada no estado do Pará.....	62
Figura 19 - CO2 Equivalente emitido (Tg, linha sólida) e estimativa da quantidade de CO2 Equivalente (Tg, linha tracejada) derivados de áreas desmatadas por ano, nos estados do Amazonas e Pará. ....	68



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análise descritiva dos desmatamentos ocorridos entre 2008 - 2016.....	44
Tabela 2 - Áreas desmatadas (km <sup>2</sup> ) anualmente no período de 2008-2016 nos estados do Amazonas e Pará. estado. ....	48
Tabela 3 - Áreas (Km <sup>2</sup> ) dos estados do Amazonas e Pará por tipo de propriedade e a relação (%) destas áreas com a área total de cada estado. ....	53
Tabela 4 - Equações para estimar a área desmatada (y) em função do ano (x), nos diferentes tipos de propriedades, para o Amazonas e o Pará. ....	59
Tabela 5 – Desmatamento (km <sup>2</sup> ) por classe de tamanho de propriedade privada anualmente, entre 2008 e 2016, para os estados do Amazonas e do Pará. ....	64
Tabela 6 - Total de biomassa de vegetação lenhosa viva acima do solo, estoque de carbono e CO <sub>2</sub> perdidos. ....	67
Tabela 7 - Distribuição da quantidade (Tg) de biomassa, carbono e CO <sub>2</sub> Equivalente nos tipos de propriedades existentes nos estados em estudo. ....	69

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	17
2.1 Amazônia: aspectos essenciais .....	17
2.2 Amazonas .....	17
2.3 Pará.....	18
2.4 Desmatamento na Amazônia.....	19
2.5 Principais eventos no histórico da legislação ambiental .....	20
2.6 Tipos de áreas – malha fundiária.....	25
2.6.1 Áreas privadas - Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR) e Cadastro Ambiental Rural (CAR) .....	25
2.6.2 Unidades de Conservação e Áreas Indígenas .....	26
2.6.3 Área Militar .....	27
2.6.4 Áreas Públicas .....	27
2.6.5 Assentamentos.....	28
2.7 Importância do monitoramento de alterações no uso do solo .....	29
2.8 Compromissos do Brasil no Acordo de Paris.....	30
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	32
3.1 Área de estudo .....	32
3.2 Base de dados .....	33
3.2.1 Base suporte SICAR - Monitoramento dos estados .....	33
3.2.2 Malha Fundiária.....	37
3.3 Processamento .....	39
3.3.1 Avaliação de tendência de desmatamentos .....	40
3.3.2 Análise da tendência de desmatamentos entre os estados .....	41
3.3.3 Análise da tendência de desmatamentos na estrutura fundiária dos estados.....	41
3.3.4 Análise de desmatamentos ocorridos anualmente por tipos de propriedades .....	42
3.3.5 Análise da perda de carbono causados pelo desmatamento .....	43

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	44
4.1 Análise de tendência de desmatamentos entre os estados .....	44
4.2 Análise da tendência de desmatamentos na estrutura fundiária dos estados .....	52
5 CONCLUSÃO.....	71
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	73

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil tem cerca de 60% de seu território coberto por vegetação nativa, sendo que destes, 40% são áreas protegidas (Unidades de Conservação e Terras Indígenas), e os 60% restantes estão localizados em áreas privadas ou públicas sem designação (FERREIRA et al., 2012; SOARES-FILHO, 2013).

A proteção das florestas é muito importante para qualquer estratégia de conservação ambiental, pois ajuda a manter a funcionalidade dos ecossistemas críticos, incluindo manutenção de ciclos hidrológicos, qualidade da água, regulação climática, e conservação da biodiversidade das florestas (DAILY et al., 1997; GRIMALDI et al., 2014).

Florestas tropicais proveem benefícios locais, regionais e globais à espécie humana através de bens econômicos e serviços ecossistêmicos, porém o futuro destas florestas é incerto. A expansão agrária e urbanização se combinam em diferentes níveis, levando a um padrão de desmatamento, fragmentação e intensificação de uso do solo, além de efeitos secundários (BROOKS et al., 2002; PERES et al., 2012). O principal desafio do Brasil é equilibrar o avanço da produção agrícola com as áreas de proteção ambiental, ou seja, aumentar a produtividade em áreas subutilizadas, recuperar áreas degradadas e proteger as áreas que devem ser mantidas protegidas. (GIL et al., 2015).

A atenção de pesquisadores e do poder público tem se voltado para o desmatamento em florestas tropicais, devido ao papel central no ciclo do carbono, sendo as principais pautas nos debates as medidas e políticas que envolvem tanto sua verificação como controle (KINDERMANN et al., 2008). Segundo o IPCC (2007) em torno de 18% das emissões antrópicas globais provêm do desmatamento de florestas tropicais, sendo que estas são responsáveis por 40% da capacidade de assimilação de carbono no ambiente terrestre. Conforme Nobre (2014) as florestas tropicais geram estabilidade climática através de mecanismos bioquímicos, por exemplo, o gás carbônico (CO<sub>2</sub>), que funciona como alimento para a planta, e juntamente com a luz e água resultam em madeira, folhas, frutos e raízes. Quando as plantas consomem CO<sub>2</sub>, a concentração desse gás na atmosfera diminui, fazendo com que o planeta esfrie, resultando num menor crescimento das plantas, onde consomem menos CO<sub>2</sub>; no momento seguinte, o planeta se aquece, e assim sucessivamente, num ciclo oscilante de regulação, sendo assim, as plantas atuam como um termostato que responde às flutuações de temperatura. Além disso, a Amazônia é considerada a “cabeceira” dos mananciais aéreos das chuvas na América do Sul, por causa dos rios aéreos existentes, que consistem em fluxos de transporte de água como vapor (NOBRE, 2014).

Na década de 90, a perda de florestas tropicais no mundo chegou a 152.000 km<sup>2</sup> por ano (BONAN, 2008). A Floresta Amazônica, grande parte localizada no Brasil, sendo a maior remanescente de floresta tropical do mundo, foi desmatada a uma taxa de 25.000 km<sup>2</sup> por ano neste mesmo período, liberando cerca de 0,7-1,4 GtCO<sub>2</sub> anualmente na atmosfera (NEPSTAD et al., 2009).

O Brasil na última década acrescentou diferentes esforços para conter essas altas taxas de desmatamento através de políticas públicas, aumento da malha de áreas protegidas, novos sistemas de monitoramento e acordos setoriais. Conforme os dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2020), na Amazônia Legal, a partir de 2004 as taxas de desmatamento permanecem decrescentes, exceto em 2008 que houve um aumento de 10% de área desmatada comparada ao ano anterior. Logo após esse período a área desmatada voltou a cair até o ano de 2012, sendo considerado sucesso quanto à reversão da trajetória do desmatamento em florestas tropicais (HANSEN et al., 2013). Porém após 2012 as áreas desmatadas apresentaram-se crescentes até os dias atuais (INPE, 2020), continuando a ser o maior contribuinte para a perda florestal global (FAO ,2016).

Para reduzir de fato o desmatamento ilegal, são necessários processos em escala mais fina na Amazônia, como o conhecimento do comportamento, da interação, dos padrões dos causadores dos desmatamentos e degradação. Diversas ações contribuíram significativamente para a desaceleração do desmatamento na Amazônia, como: uso estratégico de tecnologia avançada de satélite, intensificação do monitoramento das áreas (ASSUNÇÃO; GANDOUR; ROCHA, 2013), e principalmente o aumento da aplicação do Novo Código Florestal de 2012 (ARIMA et al., 2014). Em regiões de floresta tropical, geralmente o crescimento segue o modelo de fronteiras, ou seja, as florestas são substituídas por outros usos considerados importantes para economia e produção (BECKER, 2001).

Segundo Souza Jr et al. (2013), existem diversos trabalhos que foram desenvolvidos a níveis locais e regionais com períodos de tempo mais longos ou uma janela de tempo mais curta para áreas maiores. Asner et al. (2006) utilizaram uma série de imagens Landsat de 1999 a 2004 para avaliar a perspectiva do desmatamento seletivo de florestas em quatro dos nove estados da Amazônia brasileira. Matricardi et al. (2007) usaram interpretação visual e técnicas de sensoriamento remoto semiautomáticas para mapear florestas exploradas seletivamente em 1992, 1996 e 1999. Numata et al. (2011) analisaram uma série de 23 anos (1995 – 2008) com cenas de Landsat no estado de Rondônia para estimar a perda de biomassa e emissões de carbono associadas dentro de 100m das bordas da floresta, em seguida os mesmos autores ampliaram o estudo para a Amazônia Legal, utilizando dados do PRODES, o mapa digital de

desmatamento anual desenvolvido pelo INPE, para estimar o desmatamento recente, fragmentação florestal, perda de biomassa e emissões de carbono de mudanças na cobertura do solo entre 2001 e 2010 (NUMATA et al., 2011).

Conforme o INPE (2020), o projeto PRODES consiste no monitoramento do desmatamento por corte raso na Amazônia Legal por meio do uso de satélites e apresenta, desde 1988, as taxas anuais de desmatamento na região. O PRODES usa imagens do sensor LANDSAT, que possui resolução espacial de 30 metros onde a área mínima mapeada é de 6,25 hectares (INPE, 2020).

Os dados do PRODES são utilizados como indicadores para políticas públicas e análise da efetividade de suas implementações, por meio do programa Plano de Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia (PPCDAm) que influenciou na redução do desmatamento na Amazônia brasileira (BRASIL, 2020). Apesar de cruciais para monitorar as áreas desmatadas, os estudos baseados no PRODES não fornecem um quadro completo da dinâmica do desmatamento na Amazônia, pois não consideram eventos de desmatamentos menores que 6,25 hectares, assim não apresentam distúrbios menores, a menos que se acumulem ao longo de vários anos (LOBO et al., 2016) e não contabilizam florestas secundárias ou em regeneração, sendo consideradas apenas as florestas primárias (HANSEN et al., 2008). Assim, com os avanços nos processamentos e disponibilidade de dados, Hansen et al. (2013) desenvolveram o Global Forest Change (GFC), que mapeia a perda global de floresta nos anos de 2000 a 2012 causada por qualquer tipo de evento, como incêndios, exploração madeireira, perda de floresta secundária e perda de floresta em pequena escala, em uma resolução espacial de 30 metros sendo, a área mínima de 0,09 hectares. Portanto, o que é preciso para entender melhor a dinâmica do desmatamento florestal é um produto de alta resolução, que seja capaz de monitorar o desmatamento, as bordas florestais resultantes que isolam os remanescentes florestais e a degradação florestal associada ao fogo (SOUZA JR et al., 2013).

Muitas das florestas tropicais do mundo estão localizadas em áreas que a posse da terra é incerta, tornando-se difícil o planejamento de programas para redução do desmatamento. Mapas com dados de limite da propriedade auxiliam no monitoramento ambiental, indicando o responsável, e alternativas de melhor uso da terra (DUCHELLE et al., 2014; NAUGHTON-TREVES; WENDLAND, 2014). O “paradigma do direito à propriedade” compreende que a insegurança sobre a posse da terra representa que os fazendeiros não têm certeza se serão beneficiados com o próprio investimento, sendo assim, estes optam pelo consumo imediato de seus recursos, ao invés de se dedicarem a estratégias

de longo prazo e sustentáveis (WOOD, WALKER, 2000). Segundo Brown (2016), o tipo de ocupação da terra e o desmatamento na Amazônia estão correlacionados.

Conforme Soares-Filho et al., (2014), o Novo Código Florestal (lei nº 12.651/2012), que regulamenta o uso e manejo da terra em imóveis rurais, trouxe como inovação o Sistema de Cadastro Ambiental Rural (SICAR), que é uma ferramenta onde os proprietários rurais descrevem a condição ambiental de seus imóveis, por meio de informações georreferenciadas. O Cadastro Ambiental Rural (CAR) é considerado uma ferramenta promissora do Código Florestal, e todas as propriedades rurais devem ser registradas com os devidos limites do imóvel e de áreas de vegetação natural destinadas ao uso sustentável e de preservação permanente. No entanto, quanto mais se atrasa a efetivação dos instrumentos “Pós-CAR” (módulos de análise e regularização das pendências por meio do PRA), mais os proprietários rurais criam expectativas de que em algum momento no futuro haverá nova flexibilização da legislação. (SOARES-FILHO et al., 2014).

Segundo Allix-Garcia et al. (2018), que quantificaram os impactos do desmatamento evitado pela adesão ao CAR nos estados do Mato Grosso e Pará entre 2005 e 2014, na ausência do programa o desmatamento teria sido 10% maior nos dois estados, e apesar dos impactos do registro variarem ao longo do tempo, as terras adequadas para usos agrícolas e localizadas em regiões com maior dinâmica no uso do solo tiveram maior probabilidade de serem registradas. Já L’Roe et al. (2016), demonstraram que não houve impacto direto do registro de propriedades no desmatamento, porém houve uma diminuição significativa de desmatamento nas propriedades menores (100 – 300 ha). Um relatório do Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM) apresentou um resultado parecido para o período de 2008 a 2012, em que houve pouco impacto do CAR nos desmatamentos do Pará e Mato Grosso, contudo houve grandes reduções em pequenas e médias propriedades no estado do Pará (AZEVEDO et al., 2014). Roitman et al. (2018), que analisaram as condições e conquistas da implantação do CAR no estado do Mato Grosso, concluíram que o CAR é uma ferramenta inovadora para a governança de políticas fundiárias e ambientais, como um sistema eficiente para revelar desmatamentos nas áreas declaradas.

Klingler e Mack (2020), que discutiram o impacto da governança pós-fronteira no sudoeste do Pará, através de análises da distribuição espacial do desmatamento, gestão territorial, aplicação da lei e regularização ambiental de 2000 a 2018, identificaram que o CAR é um instrumento fundamental para garantir reivindicações de terras. Para entender melhor os impulsionadores das mudanças no uso da terra, mapas de propriedades podem identificar diferentes padrões entre diversos tipos de atores dos desmatamentos (LIVERMAN;

CUESTA, 2008). Sendo assim, Richards e Vanwey (2015) analisaram dados de tamanho e tipo de propriedade relacionados ao uso da terra, demonstrando assim a distribuição do desmatamento, cobertura remanescentes e estoques de carbono no estado do Mato Grosso, e identificou que 2 a 3 Pg de carbono estão em propriedades privadas e nestas cerca de 80% se encontram em propriedades maiores que 1.000 ha.

Com a existência de ferramentas de sensoriamento remoto que permitem a detecção de desmatamentos e também o SICAR, é necessário o desenvolvimento e avaliação de metodologias que cruzem informações de satélites, mas com o componente explicativo que o SICAR oferece, além disso, que permita quantificar e identificar áreas de expressiva perda de carbono. Assim, o objetivo deste trabalho foi mostrar essa combinação. Como objetivo geral o presente estudo pretende analisar e demonstrar a tendência do desmatamento na Floresta Amazônica do Norte do Brasil em uma série histórica de 2008 a 2016. E têm-se como objetivos específicos:

1. Entender a evolução do desmatamento após a instituição de áreas de uso consolidado (áreas de ocupação até 22/07/2008) até o ano de 2016, nos estados do Pará e Amazonas;
2. Analisar os padrões de áreas desmatadas de acordo com a estrutura fundiária dos estados, quanto aos diferentes tipos de propriedades (pública, assentamentos, privada e protegida) e tamanho da propriedade;
3. Quantificar a biomassa perdida e a emissão de carbono provenientes dos desmatamentos na série histórica de 2008 a 2016 nos estados em estudo;

Destaca-se a importância desse estudo para o monitoramento de desmatamentos, podendo fornecer informações que auxiliam no planejamento para conservação dos recursos naturais.



## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Amazônia: aspectos essenciais**

A Amazônia representa mais da metade das florestas tropicais no planeta, com a maior biodiversidade, uma em cada dez espécies conhecidas no mundo é encontrada na Floresta Amazônica. A diversidade de espécies vegetais é considerada a maior da Terra, alguns especialistas estimam que em um quilômetro quadrado amazônico possa conter mais de mil espécies de árvores (WRIGHT, 2002).

A Bacia Amazônica possui uma área de aproximadamente sete milhões de quilômetros quadrados, quase cinco milhões está localizado em território brasileiro e o restante na Bolívia, Colômbia, Equador e Peru. De acordo com o IBGE (2019), a área da Amazônia Legal no Brasil é de 5.032.925km<sup>2</sup>, compreendidos pelos estados do Pará, Amazonas, Rondônia, Roraima, Acre e Amapá e parte dos territórios do Tocantins, Mato Grosso e Maranhão.

Possui o clima equatorial, quente e úmido, com pouca variação de temperatura durante o ano, possui chuvas abundantes e uma precipitação anual entre 1500 mm e 1700 mm. (PELEJA; MOURA, 2012).

As florestas amazônicas possuem grande importância para o funcionamento do sistema terrestre (MASLIN et al., 2005). Os processos de evaporação e condensação da Amazônia fazem parte do ciclo da atmosférica global, tendo efeitos na precipitação e clima da América do Sul e Norte (GEDNEY; VALDES, 2000). Possui grande importância também no ciclo do carbono, dado que esta retém um dos maiores estoques de carbono em ecossistemas, abrigando 150 – 200 PgC em biomassa viva e nos solos (BRIENEN et al., 2015).

### **2.2 Amazonas**

O Amazonas possui uma área de 1.559.147 km<sup>2</sup>, sendo o maior estado do Brasil, sua capital é Manaus, e de acordo com o IBGE (2019) e o censo realizado em 2010, é um estado com uma densidade demográfica de 2,23 habitantes por km<sup>2</sup>, com uma população de 3.483.985 habitantes, em que 79% se encontram em áreas urbanas. O Índice de Desenvolvimento Humano é de 0,674, sendo classificado na 18<sup>a</sup> posição do país.

As vegetações do estado sobressaem matas de terra firme, várzea e igapós, fazendo parte da maior e extensa floresta equatorial do mundo: a Floresta Amazônica, que apresenta uma rica e complexa biodiversidade (FIORILLO; FERREIRA, 2017). De acordo com a

SUFRAMA (2020) é o estado brasileiro que possui o maior número de unidades de conservação sob jurisdição do poder público. Conforme o IBGE (2017) a utilização das terras no estado do Amazonas se distribui em 2.231,76 km<sup>2</sup> de lavouras, 11.417,68 km<sup>2</sup> de pastagens, 8.856,08 km<sup>2</sup> de florestas naturais, 15.349,67 km<sup>2</sup> de florestas naturais destinadas à preservação permanente ou reserva legal e 16,35 km<sup>2</sup> de florestas plantadas, e sistemas agroflorestais 943,23 km<sup>2</sup>.

Amazonas é banhado pela bacia hidrográfica Amazônica, considerada a maior do mundo com cerca de quatro milhões de quilômetros quadrados em extensão, representando um quinto de toda a reserva de água doce do planeta. Os rios estão condicionados ao regime das chuvas e são praticamente as únicas vias de transporte dos habitantes locais (FIORILLO; FERREIRA, 2017).

### **2.3 Pará**

O Pará é segundo maior estado do Brasil com uma área de 1.247.955 km<sup>2</sup>, sua capital é Belém, de acordo com o IBGE (2019) e último censo realizado (2010), o estado possui uma densidade demográfica de 6,07 habitantes por km<sup>2</sup>, com uma população de 7.581.051 pessoas, em que 68,48% habitam áreas urbanas, seu Índice de Desenvolvimento Humano é de 0,646.

A vegetação predominante é a floresta Amazônica, mas há mangues, campos e cerrados, sendo a variedade ecológica muito grande (GAMA et al., 2005). Conforme o IBGE (2017), a utilização das terras se distribui em 16.776,44 km<sup>2</sup> de lavouras, 145.239,38 km<sup>2</sup> de pastagens, 18.954,33 km<sup>2</sup> de florestas naturais, 84.457,08 km<sup>2</sup> de matas naturais destinadas à preservação permanente ou reserva legal, 1.960,62 km<sup>2</sup> de florestas plantadas e 5.324,24 km<sup>2</sup> de sistemas agroflorestais.

A bacia hidrográfica do estado abrange área de 1.253.164 km<sup>2</sup>, sendo 1.049.903 km<sup>2</sup> pertencentes à bacia Amazônica e o restante pertence à bacia do Tocantins. Possui mais de 20 mil quilômetros de rios como o Amazonas, que corta o estado de oeste a leste. As redes hidrográficas garantem duas vantagens: a facilidade de navegação fluvial e um potencial hidroenergético com mais de 25.000 MW (DE CASTRO, 2012).

De acordo com o IBGE (2019), já foram destruídos 15% do 1,1 milhão de km<sup>2</sup> da cobertura vegetal original, devastada principalmente pela ação ilegal de madeireiras e também pelas atividades de mineração.

## 2.4 Desmatamento na Amazônia

Segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), entende-se que o desmatamento é a substituição ou remoção da cobertura florestal em quase sua totalidade, ou seja, uma ação que causa uma alteração no uso da terra. Já o Projeto de Estimativa do Desflorestamento da Amazônia (PRODES) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) considera que o desmatamento é um processo que se inicia com a floresta Amazônica intacta e termina com a conversão completa da floresta original. Esse processo pode levar alguns anos, pois geralmente são realizados por empreendimentos especializados em cada uma das fases do processo de extração (INPE, 2020).

As conversões no uso e cobertura do solo ocorrem em todo o mundo, mas a principal preocupação está no desmatamento tropical, por causar diversos efeitos negativos. Na Amazônia os impactos são mais aparentes que em outros lugares, por causa do desaparecimento de grande parte da floresta, devido às iniciativas de ocupação do governo (WOOD, WALKER, 2000). Apesar da Amazônia estar distribuída em outros países, 80% do desmatamento foi na porção brasileira, que durante os anos 80 e 90 foi responsável por um quarto das emissões globais anuais de desmatamento tropical (DEFRIES et al., 2002).

A expansão das pastagens e áreas agrícolas, extração de madeira e expansão da infraestrutura podem estar relacionadas diretamente com o desmatamento, que é considerado a força motriz para o desenvolvimento econômico (RIVERO et al., 2009; ARRAES et al., 2012).

Os causadores do desmatamento variam conforme a região e tempo. Em geral, grandes e médios fazendeiros são responsáveis pela grande maioria de atividades do desmatamento, mas pequenos agricultores também podem afetar consideravelmente em locais onde estão concentrados (FEARNSIDE, 2006). Trabalhos sobre a Amazônia descrevem que, no processo de ocupação de terras, o pequeno proprietário expandiu a fronteira agrícola, sendo posteriormente, substituído por um segundo tipo de proprietário, com maior capitalização e ocupando maiores áreas (SOUZA et al., 2012).

De acordo com Bierregaard (2001), a principal causa do desmatamento na Amazônia são os assentamentos humanos e o desenvolvimento da terra. Os solos são produtivos por apenas um curto período de tempo, fazendo com que os agricultores mudem-se constantemente para novas áreas e desmatando mais florestas, causando extensos danos ambientais (WATKINS, 2000). Além de que inicialmente uma das condicionantes para assegurar a posição de assentado seria “beneficiar a terra”, que significa desmatar a floresta

para produção agropecuária, o governo utilizava como estratégia necessária para a ocupação, produção e garantia de posse o incentivo ao desmatamento. Há uma tendência de inclusão de ações na pauta ambiental no processo de reforma agrária, como novas alternativas de assentamentos ambientalmente diferenciadas criadas pelo INCRA (ALENCAR et al., 2015).

A degradação florestal na Amazônia afeta o clima tanto em larga escala quanto localmente. A fragmentação entre os remanescentes diminui a resiliência florestal a outros processos de degradação, como regimes secos (DIXON et al., 1994). A destruição da floresta tem causado a perda da biodiversidade, e afetando a emissão de carbono, que influencia no aquecimento global com o aumento da temperatura e redução das chuvas, isto vem sendo uma grande preocupação para os ambientalistas (COX et al., 2000).

O impacto do desmatamento pode ser direto ou indireto, ou seja, o desaparecimento da cobertura florestal, que altera elementos do ecossistema (vegetação, solo, fauna e microclima), e por intermédio do uso posterior da terra, respectivamente (PASQUIS et al., 2005).

## **2.5 Principais eventos no histórico da legislação ambiental**

O Brasil é um país que possui uma grande diversidade biológica, contendo pelo menos 20% das espécies do planeta, com alto grau de endemismo para diferentes grupos taxonômicos. Então, é necessária uma grande responsabilidade no que diz respeito à conservação dos recursos naturais (SILVA et al., 2011). As decisões tomadas pelos proprietários rurais na administração de seus ecossistemas influenciam diretamente a sociedade e o meio ambiente. Nos últimos anos, o assunto sobre a necessidade de regulação sobre os interesses de uso e ocupação do solo para evitar a exploração dos recursos naturais, vem sendo muito abordada (DEMSETZ, 1967; HARDIN, 1968). Assim, é interessante conhecer a evolução da legislação ambiental e gestão pública das propriedades rurais brasileiras.

Em 1822 foi suspenso o regime de concessão de “sesmarias”, a partir daí a posse e a ocupação irregular de terras proliferaram (LOCH; ERBA, 2007). Segundo Antunes (2000), foi promulgada a Lei 601, de 18 de setembro de 1850, chamada Lei das Terras, com grande influência no setor florestal, em que para adquirir terras, teria de compra-las, sendo proibida a usucapião sobre terras públicas, sendo considerada infração juntamente com desmatamentos e queimadas, isto possibilitou o surgimento da pequena propriedade.

Em 1911, através do Decreto 8.843, foi fundada a primeira reserva florestal brasileira no antigo território do Acre, ocupando uma grande extensão territorial, porém não foi implantada (MAGALHÃES, 2002).

Em 1921 foi criado o Serviço Florestal do Brasil, com o objetivo de promover a conservação, beneficiamento, reconstituição, formação e aproveitamento das florestas, o que compreendia o auxílio à preservação, criação e guarda das florestas protetoras; o estabelecimento e propagação dos conhecimentos relativos à silvicultura; o estudo e difusão dos processos de conservação das madeiras; a organização da estatística florestal; a escolha das regiões para instituição das reservas florestais; o estudo das condições para criação de parques nacionais; a determinação de medidas de proteção e de polícia florestal; e a divulgação, por meio de publicações, de trabalhos dedicados às florestas (BRASIL, 1922).

No ano de 1934 é sancionada a primeira versão do Código Florestal, que impõe limites ao exercício do direito de propriedade, e possui uma perspectiva consciente, em que para que houvesse a continuidade do uso de florestas, havia a necessidade de ser regulado, deu origem à uma classificação de florestas, em aquelas que deveriam auxiliar a atividade econômica e manter sua preservação e aquelas que eram reservadas diretamente para exploração florestal (ZAKIA; DERANI, 2006).

Em 1953, foi criada a Superintendência do Plano de Valorização Econômica da Amazônia (SPVEA), seguida do reconhecimento pelo governo da importância de se formular um plano de desenvolvimento para a região por meio de uma agência de planejamento regional, neste período criou-se a definição política de “Amazônia Legal”, sendo resultado da necessidade de planejamento e crescimento daquela região (SERRA; FERNANDEZ, 2004).

Em 1962 foi criada a Superintendência de Política e Reforma Agrária (SUPRA), com o objetivo de conhecer o território rural brasileiro (MURITIBA; ALENCAR, 2007).

Em 1964 foi promulgada a lei 4.504 que trata do Estatuto da Terra, surgindo como resposta das reivindicações dos movimentos sociais, que buscavam alterações das propriedades e no uso da terra no Brasil, de tal forma que garantia o desenvolvimento da agricultura (BRASIL, 1964). Também houve a substituição da SUPRA pelo Instituto Brasileiro de Reforma Agrária (IBRA) e o Instituto Nacional de Desenvolvimento Agrário (INDA), que estiveram relacionados em diversas acusações de corrupção e facilitação na venda de terras, principalmente na Amazônia para estrangeiros (OLIVEIRA, 2018).

Segundo Kengen (2001) a Lei 4.771 do ano de 1965 definiu duas linhas básicas de política florestal, uma de proteção, onde estabelece florestas de preservação permanente, áreas de reserva legal e unidades de conservação; e outra de desenvolvimento florestal, que consiste

no uso racional das florestas, recuperação florestal obrigatória e florestas produtivas, sendo uma nova versão do Código Florestal de 1934.

Nos anos de 1965 e 1966 foram criadas a Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM), e a SPVEA foi extinta; também foram criadas as Associações de Crédito e Assistência Rural nos estados do Amazonas e Pará (GAZONI, MOTA, 2010).

Em 1967 foi criado o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), que tinha como responsabilidade a fiscalização das áreas e cumprimento do código florestal, porém por ser um órgão ligado ao Ministério da Agricultura, quando o uso da terra estava direcionado ao setor agrícola, este era priorizado em detrimento da conservação das áreas florestais (MAGALHÃES, 2002; BORGES et al., 2009).

No ano de 1970 foi fundado o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA), com a fusão do IBRA, INDA e Grupo Executivo de Reforma (GERA), sendo um órgão vinculado ao Ministério da Agricultura (LOCH; ERBA, 2007).

Conforme Kengen (2001), em 1981 implementou-se a Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA), considerada o principal instrumento de organização ambiental inserido no país, sendo definidas novas responsabilidades para o setor público e privado em relação à conservação ambiental. Foi criado o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA), que tinha como objetivo a divulgação e análise da PNMA, em níveis federais, estaduais e municipais. E também, foi instituído o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que visava estabelecer normas para o controle da condição ambiental, através do uso consciente de seus recursos, abrangia o setor público, as organizações não governamentais de meio ambiente, os trabalhadores e o setor produtivo.

Promulgada a Constituição Brasileira de 1988, houve a consolidação do Direito Ambiental Brasileiro através da Carta Magna, por dedicar capítulos específicos ao meio ambiente como o artigo 225, que visava à defesa e preservação ambiental para gerações presentes e futuras, e também no artigo 170, responsável pela garantia da ordem econômica, através do desenvolvimento sustentável (SAMPAIO, 2011). De acordo com o artigo 186 da Constituição de 1988, a função social é cumprida quando o imóvel rural atende os requisitos do aproveitamento adequado dos recursos naturais e sua preservação (BRASIL, 1988).

Em 1989 foi promulgada a Lei nº 7.735, que cria o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (Ibama), integrando a gestão ambiental no país, que possui como principais atribuições exercer o poder de polícia ambiental; executar ações das políticas nacionais de meio ambiente, referentes às atribuições federais, relativas ao licenciamento ambiental, ao controle da qualidade ambiental, à autorização de uso dos

recursos naturais e à fiscalização, monitoramento e controle ambiental; e executar as ações supletivas de competência da União, de conformidade com a legislação ambiental vigente (BRASIL, 1989).

Em 1998 foi instituída a Lei de Crimes Ambientais que tinha como principal objetivo legalizar as sanções administrativas e ressaltar a responsabilidade ao causar um dano ambiental, assim, demonstrou uma grande preocupação relacionada à área ambiental. Diversas penas foram propostas para cada tipo de infração (BARRETO, 2014).

O Programa Nacional de Florestas (PNF), que tinha como objetivo favorecer o desenvolvimento sustentável com o uso consciente dos recursos naturais foi o maior destaque do ano de 2000. Juntamente implementou-se a Agência Nacional de Água (ANA), responsável pela gestão de recursos hídricos. No mesmo ano criou-se o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), que trata do conjunto de unidades de conservação brasileiras, tendo como finalidade a proteção e usos permitidos dos ecossistemas, conforme suas particularidades (BRASIL, 2019).

Em 2001 o SUDAM foi extinto e criou-se o Fundo de Desenvolvimento da Amazônia, colocou-se em prática o Certificado de Cadastro de Imóvel Rural (CCIR), também criou-se o Registro Nacional de Imóveis Rurais (CNIR) e reforçou-se o Sistema Nacional de Cadastro Rural (SNCR) (BRASIL, 2020).

Os principais eventos do ano de 2006 foram à promulgação da Lei de Gestão de Florestas Públicas tem como responsabilidade a regulamentação da gestão de florestas em áreas públicas (domínio da União, estados e municípios), a fundação do Serviço Florestal Brasileiro (SFB), que tinha como objetivo regular a gestão e promover o desenvolvimento florestal sustentável, e por fim, a criação do Fundo Nacional de Desenvolvimento Florestal, com foco na evolução tecnológica (DE AZEVEDO, 2006). E são estabelecidas as diretrizes para o Conselho Nacional de Política Agrícola (BRASIL, 2020).

Em 2007 houve a criação do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), com a finalidade de executar ações da política nacional de unidades de conservação da natureza instituídas pela União; executar as políticas relativas ao uso sustentável dos recursos naturais renováveis e ao apoio ao extrativismo e às populações tradicionais nas unidades de conservação de uso sustentável instituídas pela União; fomentar e executar programas de pesquisa, proteção, preservação e conservação da biodiversidade e de educação ambiental; exercer o poder de polícia ambiental para a proteção das unidades de conservação; e promover e executar programas recreacionais, de uso público e de ecoturismo nas unidades de conservação, onde for permitido (BRASIL, 2007).

No ano de 2009 define as regras sobre a regularização fundiária das ocupações localizadas em terras situadas em áreas da União, localizadas na Amazônia Legal e institui a Política Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC (BRASIL, 2020).

Em 2012 foi decretado o Novo Código Florestal, que com a expansão agrícola que ocasionou grandes desmatamentos pela ocupação de áreas de vegetação nativas. A Lei de Crimes ambientais (1998) que tinha como intuito punir propriedades irregulares com o código florestal de 1965, e com a edição do Decreto nº 6.514, que além de regulamentar a Lei de Crimes ambientais, estabelecia sanções administrativas e penais imediatas, e também averbação das áreas de Reserva Legal (RL), o não cumprimento desta impedia o proprietário rural de receber financiamentos, ficando sujeitos a pagar multas diárias. Essa questão atormentava os ruralistas, então foi necessária a elaboração de um projeto de reformulação do código florestal (PRAES, 2012). Também foi decretada a Lei Federal nº 12.651, que rege sobre a proteção da vegetação nativa, Áreas de Preservação Permanente (APP) e Reserva Legal (RL), além de controlar a exploração, origem dos produtos florestais e origem de incêndios florestais, viabilizando o melhor meio para alcançar os objetivos. O texto inicial sofreu modificações em algumas partes pela Lei 12.727/12. Aplica-se às propriedades privadas (BRASIL, 2012). O Novo Código Florestal visa principalmente o desenvolvimento sustentável, ou seja, busca suprir as necessidades atuais, sem afetar futuras gerações. Conservação dos recursos naturais, dentre eles a biodiversidade, solo e água, e relaciona o desenvolvimento econômico com a proteção ambiental (ALENCAR, 2015).

Em 2017 é decretada a Lei nº13.465 que consiste na regularização fundiária rural e urbana, sobre a liquidação de créditos concedidos aos assentados da reforma agrária e sobre a regularização fundiária na Amazônia Legal, e institui mecanismos para aprimorar o processo que permite a disposição de áreas federais (BRASIL, 2020).

A Medida Provisória 910/2019, que estabelecia novos critérios para a regularização fundiária de imóveis da União e do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (Incra) ocupados. O texto original alterou a data de julho de 2008 para até maio de 2014 como data máxima de posse de propriedades que podem ser regularizadas. Além disso, permitiu que a regularização fosse feita por autodeclaração para terras com até 15 módulos fiscais. Anteriormente valia apenas para pequenos lotes de até quatro módulos e apenas na Amazônia Legal. Esta medida foi substituída pelo projeto de lei 2.633/20, que estabelece critérios para a regularização fundiária de imóveis da União, incluindo assentamentos. As regras são restritas a áreas ocupadas até julho de 2008 com até seis módulos fiscais. Esta alteração possibilitará a regularização fundiária de um número maior de ocupantes de terras públicas, permitindo



assim que o Estado monitore de forma mais eficiente à ocupação destas áreas, e representa o princípio da eficiência constitucional (BRASIL, 2020).

## **2.6 Tipos de áreas – malha fundiária**

### **2.6.1 Áreas privadas - Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR) e Cadastro Ambiental Rural (CAR)**

O Novo Código Florestal trouxe novas ferramentas para facilitar a regularização ambiental. Elaborado pelo Decreto nº 7.830/2012 o SICAR é um sistema eletrônico com objetivo de receber, gerenciar e associar as informações ambientais dos imóveis rurais de todo o Brasil, cadastrar e controlar as informações dadas pelo proprietário rural sobre o perímetro e localização de áreas importantes, também possui como finalidade o monitoramento da recuperação da vegetação nativa presente nos imóveis rurais, planejar o uso do solo e preservação ambiental relacionado aos setores ambiental e econômico, e por fim, fácil acesso ao público das informações sobre regularização ambiental dos imóveis rurais disponibilizados via internet (ALENCAR, 2015).

É responsável pela efetivação do cadastramento e documentação exigida para analisar a localização das áreas, através da emissão do Recibo de Inscrição do Imóvel Rural no CAR (SICAR, 2019).

O CAR consiste em um registro público eletrônico e online de esfera nacional, obrigatório para todos os imóveis rurais existentes, com o objetivo de assimilar as informações ambientais, compondo um mapa digital das propriedades rurais e áreas importantes que às compõem, constitui uma base de dados para melhor controle e planejamento ambiental e econômico, além de combate ao desmatamento, e possui fácil acesso. É uma ferramenta fundamental no processo de regularização ambiental de imóveis rurais. Está no domínio do Sistema Nacional de Informação sobre Meio Ambiente (SINIMA) e regularizado pela Instrução Normativa MMA nº2, de 6 de maio de 2014 (SICAR, 2019).

O cadastro do imóvel rural no sistema deve possuir: identificação do proprietário, comprovação da propriedade, planta e memorial descritivo do imóvel com a indicação da localização das áreas ambientais existentes (BRASIL, 2012).

O CAR possui grande importância e benefícios para o órgão fiscalizador e proprietário, por exemplo: seguro agrícola com condições melhores, a averbação no cartório de imóveis não é mais obrigatória se possuir o registro da Reserva Legal no CAR, sendo um

grande avanço, já que tornou o sistema arcaico cartorial em um sistema técnico especializado sob ferramenta moderna e inovadora, que poderá ser integrada à outras plataformas ambientais e de regularização fundiária, entre outros (SICAR, 2019).

### **2.6.2 Unidades de Conservação e Áreas Indígenas**

Crescimento populacional, extração de madeira, mineração e agropecuária são os principais fatores para aumento do desmatamento. Para proteger os recursos naturais, órgãos estaduais e federais criaram uma rede de Unidades de Conservação (UC) no Brasil em 2000 (Lei 9.985/2000) (PEDLOWSKI et al., 2005).

O Brasil possui diversos tipos de Unidades de Conservação, algumas servem diferentes fins, e outras possuem finalidades parecidas, isso depende de sua origem, de acordo com as agências governamentais que as promoveram. Áreas que se destinam à manutenção de ecossistemas naturais sem a presença de ações humanas são classificadas como áreas de proteção integral no âmbito do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). Esta classe inclui parques nacionais, estação ecológica, monumento natural, refúgio da vida silvestre reservas ecológicas e reservas biológicas. Já as áreas de uso sustentável são destinadas ao uso de recursos naturais renováveis em áreas sob regimes de manejo, que objetivam uma produção sustentável, mantendo as principais características ambientais, por exemplo as florestas nacionais (FLONAs), que são de uso múltiplo, mas geralmente para manejo de madeira (RANKIN, 1985; REIS, 1978), e as reservas extrativistas (RESEX), que são utilizadas para gestão de produtos não madeireiros como borracha (ALLEGRETTI, 1990; FEARNSSIDE, 1989).

Terra Indígena consiste em uma parte do território nacional, de propriedade da União, habitada por um ou mais povos indígenas, utilizada por estes para suas atividades para sobrevivência, respeitando a preservação dos recursos ambientais necessários a seu bem-estar. É indisponível e inalienável por se tratar de um bem da União, e seus direitos são imprescritíveis (FUNAI, 2019).

As terras ocupadas pelos povos indígenas foram reconhecidas pela Constituição Federal de 1988, considerando a posse permanente desses povos, com direito à prática de uso para subsistência dos recursos naturais. As áreas indígenas são vulneráveis, invadidas constantemente por madeireiros, garimpeiros, fazendeiros e outros (HECK et al., 2005). As Terras Indígenas têm um papel fundamental na conservação dos recursos naturais na Amazônia, e são consideradas áreas legalmente protegidas, porém existem regiões críticas

onde é preocupante o índice de desmates em TIs, por se localizarem em regiões de maior facilidade de acesso, se tornando mais vulneráveis (FERREIRA et al., 2005).

Atualmente a maior ameaça a estas áreas é a expansão do agronegócio, relacionada à degradação ambiental e ameaça aos territórios das populações tradicionais. O modelo de desenvolvimento do Estado brasileiro é voltado para atender as necessidades do mercado externo, onde os recursos naturais sofrem a pressão e as diversidades culturais e étnicas são consideradas como entrave à expansão dos lucros (HECK et al., 2005).

### **2.6.3 Área Militar**

Segundo o Ministério de Defesa (2020), uma área militar consiste em um comando das forças armadas, responsável pela administração militar de uma área do país, e possui funções logísticas. Como a Amazônia tem sido objeto de controvérsias na imprensa mundial, o que a torna uma área estratégica para os brasileiros. O Exército existente na Amazônia desde o início do século XVII vem ampliando seu mecanismo através da instalação de diversas unidades de fronteira, que representam pólos de desenvolvimento, isto contribui com o povoamento em áreas longínquas, então é fornecido o mínimo de infraestrutura até que chegue o desenvolvimento (MD, 2020).

A Portaria Interministerial MD/Ministério do Meio Ambiente (MMA) nº 702, de 13 de julho de 2004, estabelece a mútua cooperação entre os órgãos para apoio às ações e monitoramento e fiscalização dos recursos ambientais da Amazônia Legal, podendo ser tanto técnica quanto financeira (SANTANA & LEUZINGER, 2020). Através do Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (CENSIPAM), possui o objetivo de protegê-la, através de políticas governamentais. Para cumprir seu objetivo, várias parcerias tem se estabelecido, com estudos e pesquisas em geoprocessamento, sensoriamento remoto e outros. Além de apoiar políticas públicas realizadas na região, por meio de seu parque tecnológico, que promove uma gestão ambiental, organização territorial e regularização fundiária (MD, 2020).

### **2.6.4 Áreas Públicas**

Segundo Azevedo-Ramos e Moutinho (2018), o Brasil possui 70 milhões de hectares de florestas públicas com regime de posse indefinida, que aguardam designação pelos

governos federal e estadual para alguma categoria de posse, conforme determinado por lei. Estas áreas apresentam extrema vulnerabilidade ao desmatamento ilegal e grilagem por serem “terras de ninguém” (AZEVEDO-RAMOS & MOUTINHO, 2018).

Entre 2010 e 2015, 25% dos desmatamentos detectados na Amazônia ocorreram dentro das áreas públicas desprotegidas (IPAM, 2018). A flexibilização e enfraquecimento das políticas públicas, com potenciais consequências para os direitos fundiários e as mudanças climáticas agravam a ameaça de que grandes áreas de florestas públicas não designadas estão sob risco de desmatamento ilegal e apropriação indevida na Amazônia, portanto é urgente alocá-las em áreas destinadas à conservação como áreas protegidas, terras indígenas ou áreas de uso sustentável (AZEVEDO-RAMOS, 2020).

### **2.6.5 Assentamentos**

Assentamento rural é definido como um conjunto de unidades agrícolas independentes entre si, instaladas pelo INCRA onde inicialmente existia um imóvel rural que pertencia a um único proprietário. Cada unidade é entregue pelo INCRA a uma família sem condições econômicas para adquirir e manter um imóvel rural. A família que recebe compromete-se a morar na área e explorá-la para seu sustento, usando exclusivamente a mão de obra familiar, ficam vinculados ao INCRA até adquirir a escritura do lote, não podem vender alugar e emprestar sua terra a terceiros (INCRA, 2019).

As áreas de assentamento se tornaram elementos importantes do mundo rural na Amazônia Legal, representando quase um terço das terras usadas. Sabe-se que existem processos de concentração fundiária em diversas áreas do INCRA (LUDEWIGS et al., 2009), e também abandono de lotes e dificuldade de ocupar todos os lotes (unidade) criados nos assentamentos (LE TOURNEAU; DROULERS, 2001).

No passado, um dos maiores problemas nos assentamentos rurais criados pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) foram os impactos ambientais ocasionados principalmente pelos desmatamentos, em que não previam o uso alternativo do solo com sistemas de produção sustentável (BARROSO; ALENCAR, 2014).

O desmatamento já foi relacionado aos assentamentos da reforma agrária diversas vezes. Existe uma lógica de produção que incentiva os pequenos agricultores a desmatar proporcionalmente mais a sua propriedade do que os proprietários de grandes áreas. Não existe um padrão homogêneo de desmatamentos nos assentamentos, podendo variar de acordo

com o tipo de atividade produtiva, acesso ao mercado, cultura e tempo de instalação (FEARNSIDE, 2005).

## **2.7 Importância do monitoramento de alterações no uso do solo**

Nos últimos anos, a influência das ações humanas no funcionamento e equilíbrio dos ecossistemas tem chamado ainda mais a atenção de pesquisadores científicos. Sendo que já relacionaram, diversas vezes, as atividades humanas e degradações intensivas do solo, além de perda da biodiversidade, alterações hidrológicas e climáticas. Portanto, o uso e cobertura do solo e suas mudanças antrópicas ou naturais são reconhecidas como um fator importante para manutenção da sustentabilidade dos ecossistemas (MEYER; TURNER, 1994).

A mudança da cobertura do solo é um fator importante relacionado às mudanças ambientais globais, influenciando nos recursos ecológicos e biodiversidade (FOLEY et al., 2005). A detecção de mudanças pode ser definida como o processo de identificar alterações em um objeto, no caso em áreas na superfície terrestre, através da comparação de sua condição em diferentes períodos no tempo (SINGH, 1989).

O Brasil é considerado uma referência em monitoramento florestal (GODAR et al., 2014; RAJÃO et al., 2014) e seus diversos sistemas desenvolvidos nas últimas décadas foram definitivos no sucesso que o país teve em reduzir o desmatamento ilegal (ASSUNÇÃO; GANDOUR; ROCHA, 2012; GODAR et al., 2014). Assim, o sensoriamento remoto possui grande eficácia para tal finalidade, devido às vantagens de custo-benefício, o qual permite o monitoramento destes processos em diferentes escalas geográficas e uma frequência regular de aquisição de dados (LUNETTA et al., 2004; ROGAN; CHEN, 2004).

Em 1979 foi gerado o primeiro mapeamento do desmatamento da Amazônia pelo Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), porém somente no fim da década de 80 que foi lançado um sistema de monitoramento contínuo. Em 1988, o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) lançou o PRODES, Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite, que utiliza imagens dos satélites LANDSAT e CBERS de solução de 20 e 30 metros para detectar taxas anuais de corte raso, não registrando derrubadas parciais, sendo ineficientes para ações de prevenção e fiscalização, já que os dados eram coletados entre agosto e julho do ano seguinte (INPE, 2019).

Em 2004 o INPE implementou o Sistema de Detecção de Desmatamento em Tempo Real (DETER), que é um sistema de levantamento rápido feito mensalmente, que além das áreas de corte raso, mapeia também áreas em processo de degradação florestal, utilizando o

sensor MODIS dos satélites TERRA/AQUA, e sensor WFI do CBERS, de maior temporalidade, porém de menor resolução espacial (250 m), fazendo com que detecte o desmatamento apenas de áreas maiores que 25 ha. Todavia, devido os desmatamentos estarem ocorrendo em pequenas áreas, onde 80% é concentrada em áreas inferiores ao limiar do DETER, viu-se a necessidade de um novo sistema de alertas em tempo quase real de maior resolução. Então, em 2016 foi lançado o DETER-B, que possui resolução de 60 metros, capaz de diferenciar polígonos superiores a 6,25 ha e utiliza sensores de dois satélites, ResourceSat-2 e CBERS-4 (INPE, 2019).

Os principais desafios são compreender a dinâmica das mudanças no uso do solo e gerar mecanismos que possibilitem o monitoramento de forma automatizada e com resultados satisfatórios. Ferramentas de sensoriamento remoto têm sido muito utilizadas, por possuírem a vantagem de gerar informações sobre o perfil e a dinâmica dessas alterações, auxiliando no planejamento territorial e apoiando iniciativas de conservação dos recursos naturais e programas de monitoramento em áreas com pressão antropogênica (ROGAN; CHEN, 2004).

## **2.8 Compromissos do Brasil no Acordo de Paris**

Em dezembro de 2015, criou-se o Acordo de Paris com a participação de 195 países, com o objetivo de conter o aquecimento global do planeta em até 2°C, com custos para que ele não exceda 1,5°C até o fim deste século. Para cumprir essa meta, será necessário reduzir drasticamente as emissões de gases do efeito estufa. Cada país possui uma lista de metas individuais, onde o esforço inicial para cumprimento foi registrado em suas contribuições nacionalmente escolhidas (KISHINAMI et al., 2016).

O Brasil considerou um conjunto de iniciativas a serem realizadas no país a fim de que combata as mudanças climáticas. Entre elas, e sendo uma contribuição significativa e ambiciosa está a recuperação de 12 milhões de hectares de florestas até 2030, porém não havia muito conhecimento dos custos para cumprimento dessa meta. Depois de muitos estudos, chegou-se à conclusão de que tal empreendimento requer um investimento entre R\$ 31 bilhões e R\$ 52 bilhões, de acordo com o cenário escolhido, portanto significaria investimentos anuais entre R\$ 2,2 e R\$ 3,7 bilhões por ano durante 14 anos, esse plano deverá ser inserido no contexto de gestão do uso do solo nacional, relacionando os sistemas ambientais e agronegócio (KISHINAMI et al., 2016).

Outros compromissos assumidos pelo Brasil em sua contribuição nacional relacionam-se ao objetivo de desenvolvimento sustentável, definido como “proteger, recuperar e

promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda de biodiversidade”. Assim como, cumprir até 2020 a meta de promover a implementação da gestão sustentável de todos os tipos de vegetação, deter a degradação ambiental, e recuperar e reflorestar as florestas (MAROSTICA, 2016).

Outros compromissos na área florestal e uso da terra são: reforçar o cumprimento do Código Florestal; fortalecer medidas para alcançar o desmatamento ilegal zero até 2030 na Amazônia brasileira, e a compensação de gases de efeito estufa vindos da supressão legal da vegetação até 2030; aumentar as técnicas de manejo sustentável de florestas nativas, através de georreferenciamento (MAROSTICA, 2016).

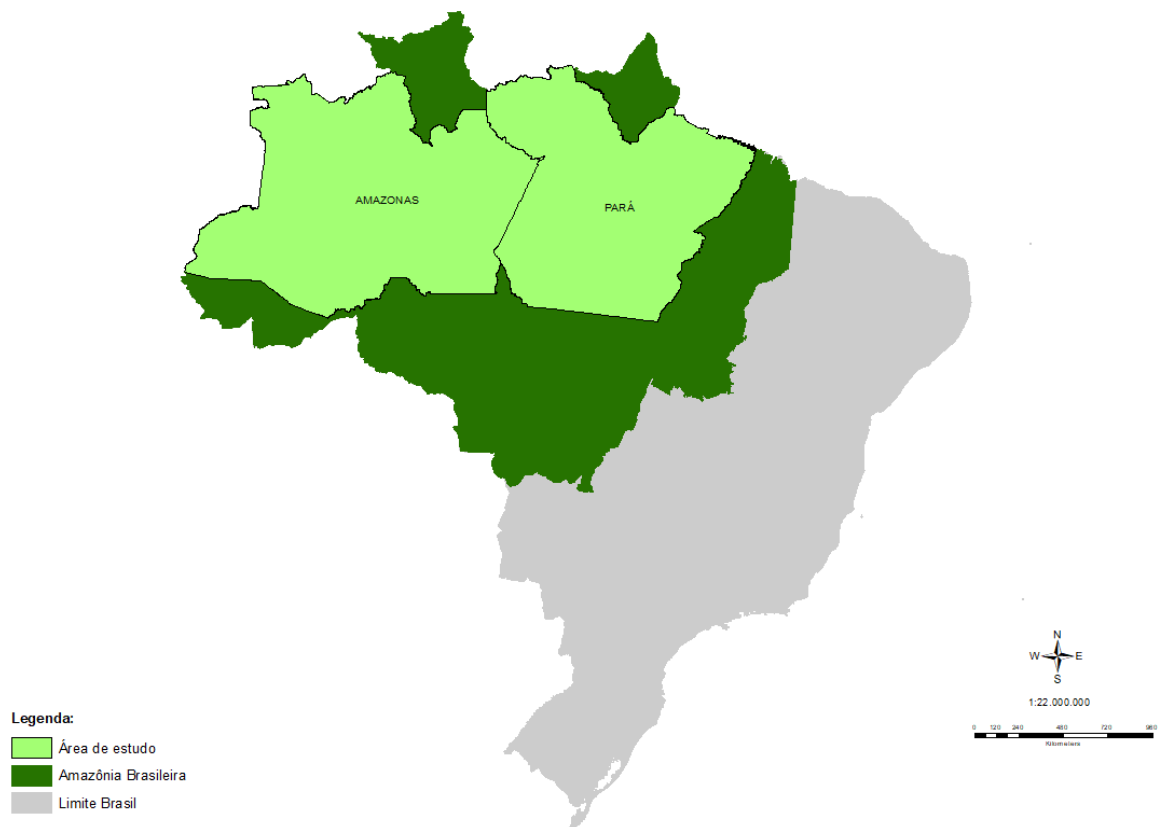
Todas as metas foram definidas com a finalidade do Brasil reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005 em 2025, e 43% até 2030. E essas propostas constituem a REDD+ (Redução de Emissões provenientes de Desmatamento e Degradação Florestal Mais Conservação dos Estoques de Carbono Florestal, Manejo Sustentável de Florestas e Aumento dos Estoques de Carbono Florestal), caracterizada por um plano de ação nacional, nível de referência nacional florestal, sistema transparente para o monitoramento das atividades e um sistema de informações sobre a implementação. Acredita-se que o Brasil é o país mais avançado no sentido das propostas, porém ainda não houve organizações para a melhor estratégia de implantação, e o principal, a associação dos objetivos com o desenvolvimento de regiões mais pobres onde há florestas, na COP-21 o Brasil renegociou financiamentos internacionais para a proteção da Amazônia. (EULER, 2016).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudo

A área de estudo é composta por 2.807.102 km<sup>2</sup>, referente aos estados do Amazonas e Pará, ocupando quase 56% da Amazônia Legal brasileira, ambos pertencentes ao bioma amazônico, situados na região Norte do Brasil, sendo os dois maiores estados do país (FIGURA 1).

Figura 1 – Localização dos estados Amazonas e Pará.



Fonte: Do autor (2020).



## 3.2 Base de dados

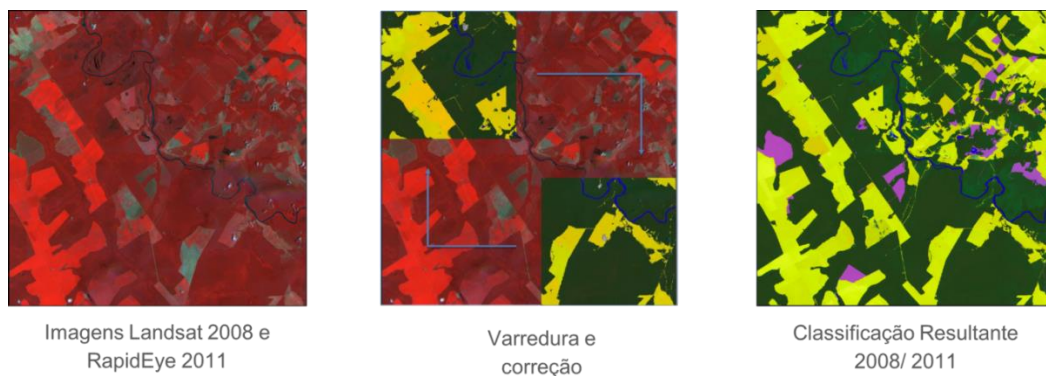
### 3.2.1 Base suporte SICAR - Monitoramento dos estados

O projeto Monitoramento consiste na utilização de imagens de sensoriamento remoto, desde 22 de julho de 2008 até o ano de 2016, com a finalidade de subsidiar processos de análises e monitoramento do cadastro ambiental rural do Brasil (SICAR), onde as informações cadastradas pelo proprietário, posseiro ou representante legal serão confrontadas com os dados do monitoramento da cobertura e uso do solo, base gerada no Projeto desenvolvido pela Universidade Federal de Lavras (UFLA).

Para desenvolvimento do mapeamento e monitoramento entre o período de 2012 até 2016, a base de dados de imagens de sensoriamento remoto utilizada foi composta por imagens de satélites RapidEye, Sentinel-2A e Landsat-8 OLI, com, respectivamente, 5 metros, 10 metros e 30 metros de resolução espacial e resolução espectral de 5, 4 e 7 bandas.

A primeira etapa do projeto consistiu na validação e verificação por erros da base de mapeamento 2008 – 2011 (FIGURA 2), que foi um mapeamento gerado entre os anos de 2008 (imagens Landsat 5 TM com datas a partir de 22 de julho de 2008), e imagens RapidEye no ano de 2011, para o CAR, com a finalidade de identificar áreas de uso consolidado e áreas antropizadas, até o ano de 2011 (Lei 12.651/2012). Áreas consolidadas são áreas que sofreram supressão da vegetação nativa até a data de 22 de julho de 2008, e áreas antropizadas são áreas em que a supressão da vegetação nativa ocorreu após essa data citada.

Figura 2 – Correção da classificação de 2008-2011, em que a cor amarela representa a classe uso consolidado, a cor verde vegetação nativa e o roxo seria detecção de desmatamentos.



Fonte: UFLA (2018).

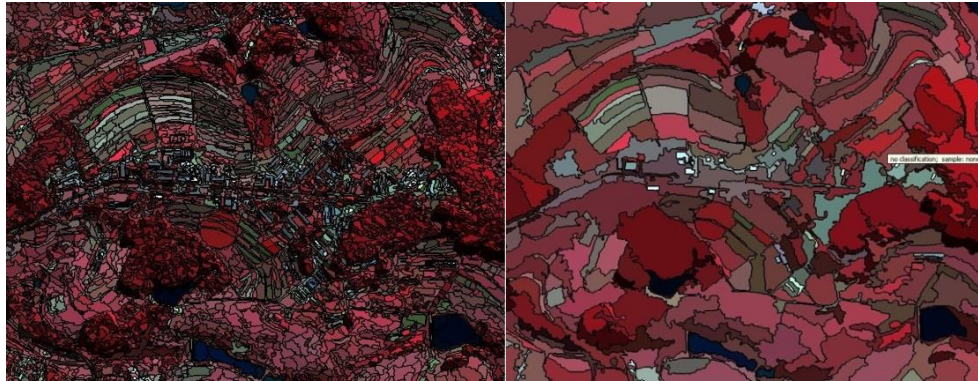
Após a análise do mapeamento do produto 2008 – 2011, utilizou-se imagens RapidEye para os anos de 2012, 2013, 2014, para 2015 imagens RapidEye ou Landsat 8 e 2016 utilizou-se imagens Sentinel 2A, para dar continuidade ao monitoramento da dinâmica do uso do solo.

As classes de cobertura e uso do solo foram definidas conforme o código florestal, sendo estas: área antropizada, área de uso consolidado, remanescente de vegetação nativa, curso d'água, vereda, manguezal, salgado, apicuns, restinga, área urbana e nuvens. Para o atual estudo, foi utilizada a classificação final de áreas desmatadas do Projeto Monitoramento, sendo estas mosaicos de área antropizada 2008 – 2011; área antropizada 2011 – 2012; área antropizada 2012 – 2013; área antropizada 2013 – 2014; área antropizada 2014 – 2015; área antropizada 2015 – 2016; em formato raster ou vetorial para os estados do Amazonas e Pará.

A metodologia adotada foi de processamento baseada em objetos, utilizando parâmetros de segmentação, que foram reajustados de acordo com o tipo de imagem, resolução espacial e área trabalhada, ou seja, as imagens de satélite foram segmentadas em partes constituintes por similaridade ou descontinuidade, e para compatibilizar a resolução espacial dos diferentes sensores, e não ocorrer a perda de informações, foi utilizada a segmentação das imagens RapidEye, por possuir menor resolução espacial (5 metros), e então em cada etapa do processamento foi criada uma nova segmentação para cada classe de mapeamento, onde as mudanças na paisagem representavam áreas antropizadas ou indícios de regeneração, e as áreas em que não sofreram mudanças foram classificadas da mesma forma que nas imagens do ano anterior.

Toda a etapa de segmentação, em cada tipo de imagem foi realizada em duas fases, a primeira utilizando o algoritmo Multiresolution segmentation em nível de pixel, e a segunda foi realizada pelo algoritmo Spectral difference segmentation, promovendo a ressegmentação da primeira, onde objetos vizinhos com menor diferença espectral foram unidos (FIGURA 3).

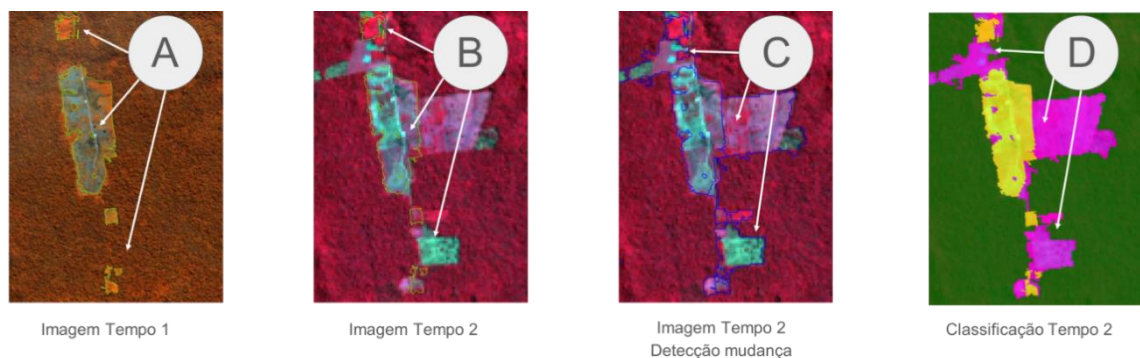
Figura 3 – A primeira figura representa a segmentação de imagem RapidEye pelo algoritmo Multiresolution Segmentation, que é realizada a nível de pixels parecidos. A segunda figura é a ressegmentação da primeira figura pelo algoritmo Spectral difference segmentation, onde há a junção de áreas com menor diferença espectral, tornam os segmentos maiores.



Fonte: Universidade Federal de Lavras – UFLA (2018).

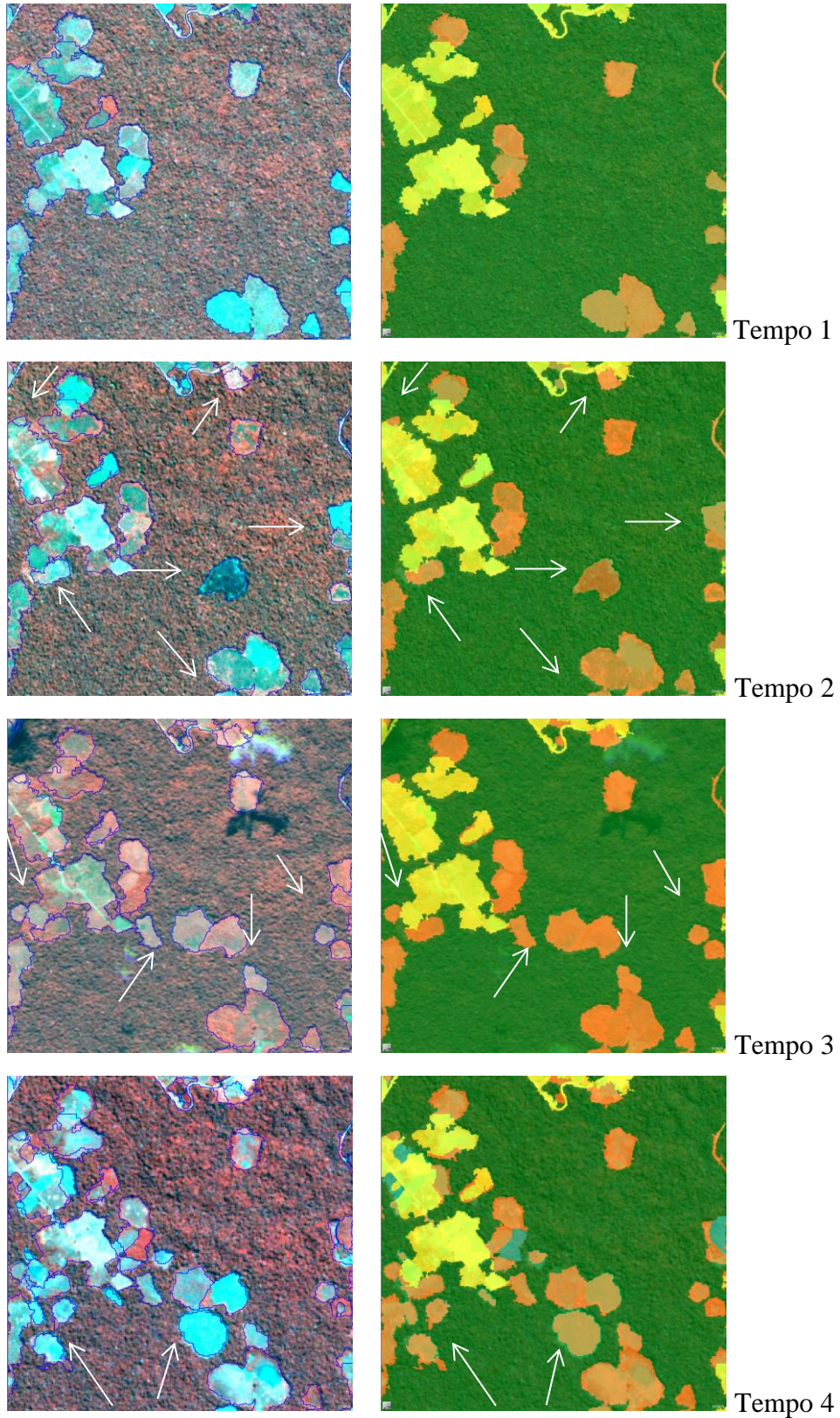
Após a segmentação, para gerar a classificação de uso do solo foram utilizados algoritmos de aprendizagem de máquina, como por exemplo, o Suport Vector Machine (SVM), BAYES ou Randon Forest (RF), além de atributos espectrais, como médias e desvio padrão das bandas das imagens e de índices de vegetação e análise do solo e água como, por exemplo, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI) e Normalized Difference Vegetation Index (NDWI). Segue alguns exemplos dos resultados de segmentação e classificação de uso do solo, onde foram detectadas áreas antropizadas (FIGURAS 4 e 5).

Figura 4 - Exemplo de detecção de desmatamento ocorrido em diferentes anos. As setas indicam onde houve a remoção da cobertura vegetal ao comparar as imagens no Tempo 1 e Tempo 2.



Fonte: Universidade Federal de Lavras – UFLA (2018).

Figura 5 - Exemplo de detecção de desmatamento ocorrido em diferentes anos. As imagens da primeira coluna representam a mesma área em tempos diferentes. As imagens da segunda coluna representam a classificação de uso do solo das imagens da primeira coluna. As setas indicam onde houve a remoção da cobertura vegetal ao comparar as imagens em diferentes tempos.



Fonte: Universidade Federal de Lavras- UFLA (2018).

Após a detecção das mudanças de cobertura e uso do solo, é realizada uma validação dos dados, através de uma edição visual para refinamento e correções de áreas, ou seja, um processo de qualidade do Projeto, para evitar distorções no produto.

### **3.2.2 Malha Fundiária**

#### **3.2.2.1 Áreas Privadas – Sistema de Cadastro Ambiental Rural**

Informações disponíveis no Cadastro Ambiental Rural (CAR) dos estados Amazonas e Pará na atualização de 05/02/2019. Para este trabalho, os imóveis extraídos do CAR que englobam 251.744 propriedades foram chamados de “Áreas Privadas”.

Os registros adquiridos para os estados contêm as seguintes características: código do imóvel, que é dado em letras e números para denominá-los; a área, em hectares, representando o tamanho da propriedade que o proprietário rural declara; o tipo de imóvel se é imóvel rural, assentamento ou área de povos e comunidades tradicionais. Para este estudo, a ênfase são os imóveis rurais; e também o número de módulos fiscais (MF), que é calculado de acordo com o tamanho de área declarado, sendo que o valor de um módulo fiscal varia conforme o município.

Segundo o INCRA (2013), no estado do Amazonas o tamanho dos módulos fiscais é 80 e 100 hectares, já no Pará, o tamanho é variado, sendo 5, 7, 50, 55, 65, 70 e 75 hectares. Para determinar o número de módulos fiscais do imóvel para classificá-lo, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$MF = \frac{\text{Área}_{ha}}{\text{tamanho do módulo fiscal no município (ha)}} \text{ (BRASIL, 1979)}$$

#### **3.2.2.2 Assentamentos**

A Universidade Federal de Lavras (UFLA), especificamente o Laboratório de Estudos e Projetos em Manejo Florestal (LEMAF) disponibilizou a base de assentamentos desenvolvida em um trabalho de tratamento de sobreposição, sendo a base existente no INCRA em fevereiro de 2019, porém sem os conflitos de área entre eles, totalizando 1.159 assentamentos para este estudo.

### 3.2.2.3 Atlas Agropecuário (IMAFLORA) – Áreas Protegidas e Áreas Públicas

Foram utilizados dados do Atlas da Agropecuária Brasileira, uma plataforma de livre acesso que apresenta a situação fundiária do país, relacionando as diferentes bases de dados fundiários disponíveis. O IMAFLORA/GeoLab em parceria com o Grupo de Governança de Terras/UNICAMP identificaram diversas sobreposições pela confrontação das bases de dados, então criaram uma hierarquia, com a finalidade de construir um mapa completo do território nacional, com a definição legal de cada classe fundiária.

As classes utilizadas foram as Unidades de Conservação (UC), Terras Indígenas (TI), Quilombolas e Área Militar que foram agrupadas em uma única classe para este trabalho, chamada de “Áreas Protegidas”, e também foram utilizadas florestas públicas não designadas, imóveis públicos registrados no SIGEF/SNCI, e terras não destinadas no Programa Terra Legal, estas classes foram unificadas como “Áreas Públicas”.

### 3.2.2.4 Mapa de Biomassa – Estoque de Carbono

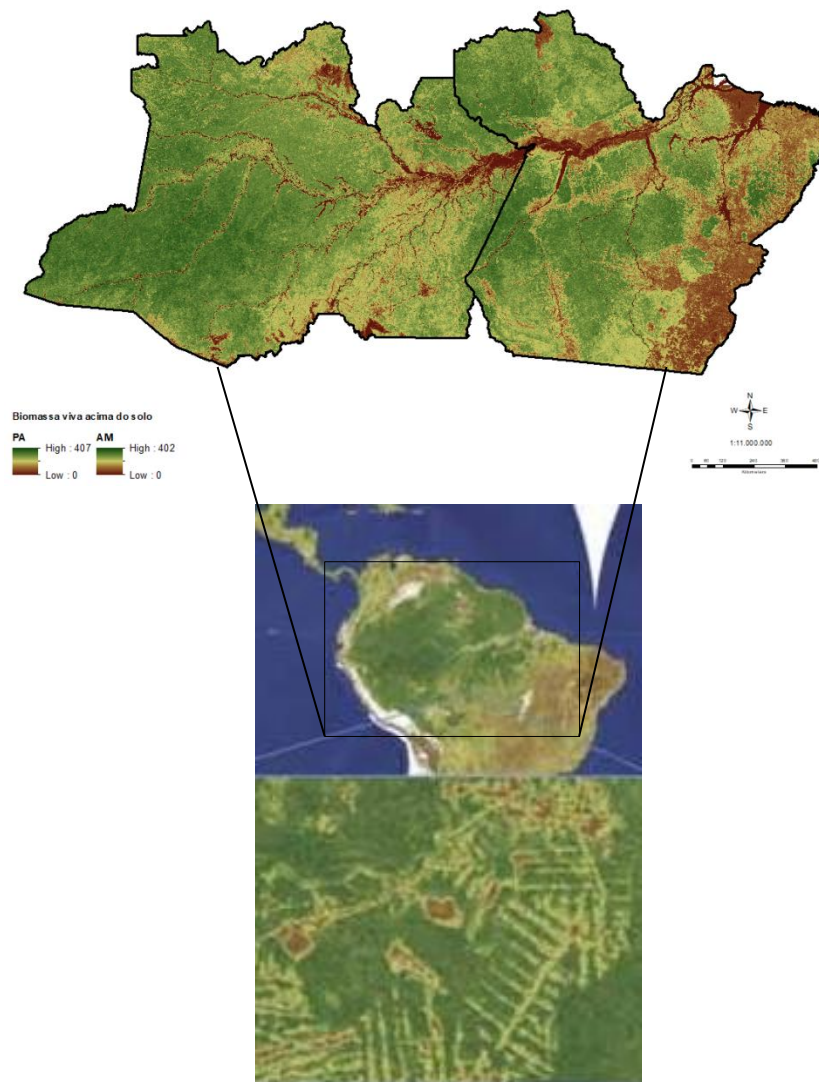
O mapa de biomassa utilizado é resultado de um trabalho desenvolvido por Baccini et al. (2012), o qual estima a densidade de carbono da vegetação lenhosa viva acima do solo para ecossistemas pan-tropicais (África, América e Ásia), utilizando dados de campo e sensoriamento remoto.

Os dados utilizados foram medições de campo de 2008 a 2010 em pontos de amostragem georreferenciados proporcionando maior integração entre dados de campo e satélite. Foram utilizados dados de um satélite de detecção e alcance de luz (LiDAR) com resolução espacial de 70 metros juntamente com imagens multiespectrais de reflexão de superfície com 500 metros de resolução espacial e outros dados geoespaciais como produtos dos satélites ICESat, MODIS, TERRA e AQUA, e a base SRTM de topografia.

A amostragem em campo foi utilizada principalmente para caracterizar a biomassa viva acima do solo na floresta, através de equações alométricas, então, estabeleceu-se uma relação estatística entre a biomassa de campo e métricas do sensor LiDAR, permitindo a ampliação das medições de campo para outros lugares que não possuíam amostras. E por fim, as novas estimativas de biomassa encontradas foram utilizadas para ajustar os modelos estatísticos e gerar o mapa de biomassa (FIGURA 6), que utilizando o coeficiente 0,5 os valores são convertidos em estoque de carbono. Além disso, podem-se estimar os dados de

CO<sub>2</sub> equivalente estocado através da multiplicação do estoque de carbono pelo fator de 44/12, que corresponde a conversão entre pesos moleculares.

Figura 6 – Mapa de biomassa viva acima do solo.

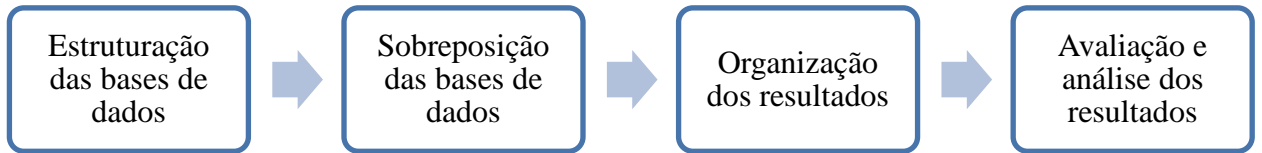


Fonte: Baccini et al., 2012.

### 3.3 Processamento

O processamento dos dados foi realizado em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas) no software ArcGis, onde permitiu-se realizar as diversas análises objetivas deste trabalho, através do cruzamento de informações com o uso de ferramentas de geoprocessamento avançadas, e o Microsoft Excel para manipulação e organização dos dados. A Figura 7 a seguir representa de forma geral a metodologia utilizada no trabalho.

Figura 7– Fluxograma representativo da metodologia utilizada no trabalho.

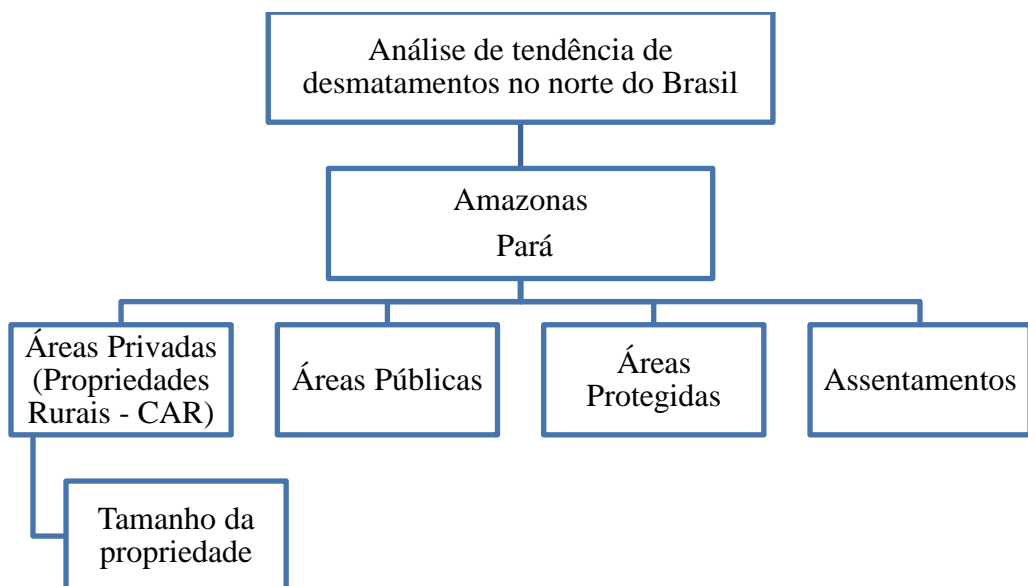


Fonte: Do autor (2020).

### 3.3.1 Avaliação de tendência de desmatamentos

Para processamento da tendência dos desmatamentos seguiu a sequência conforme a Figura 8.

Figura 8 - Representação da sequência de processamento dos dados para análise de tendência dos desmatamentos nos estados separados por malha fundiária.

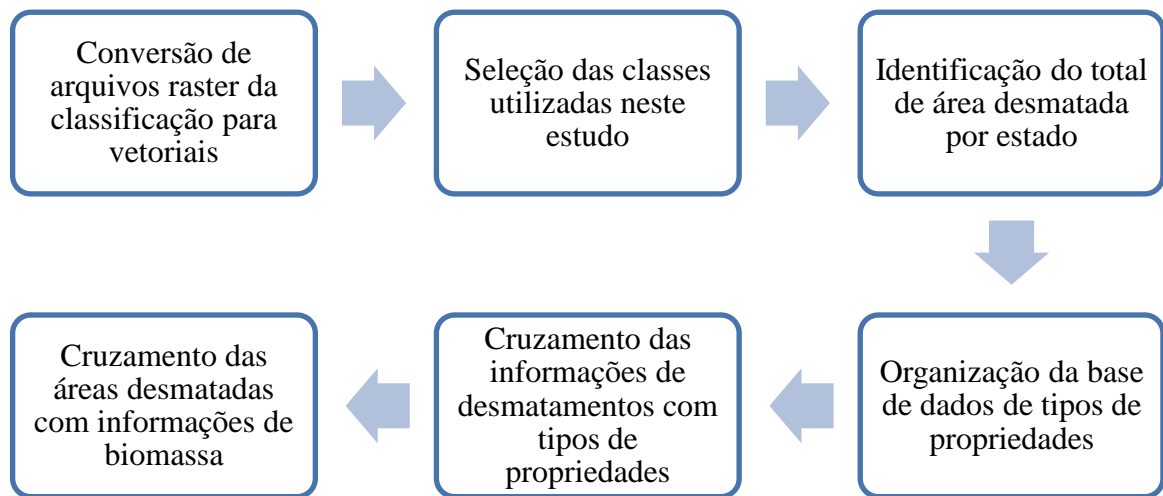


Fonte: Do autor (2020).

Como eram as mesmas rotinas de trabalho que seriam usadas no ArcGis, utilizando as mesmas ferramentas e procedimentos, alterando apenas as bases de dados, criou-se um modelo automatizado para realizar estas funções, utilizando o *ModelBuilder* (Figura 9).



Figura 9 - Representação da sequência de processamento dos dados



Fonte: Do Autor (2020).

### 3.3.2 Análise da tendência de desmatamentos entre os estados

A primeira etapa foi o cálculo do total de área desmatada anualmente nos estados do Amazonas e Pará. A partir disso, foi possível observar o comportamento da tendência do desmatamento nos estados, e utilizando a linha de tendência da série histórica estimar áreas desmatadas futuras. O ano 2008-2011 foi desconsiderado, pois se apresenta de forma acumulada para os 3 anos. Então, foi utilizada a equação linear simples cuja área desmatada é função do tempo, em anos:

$$AD = \beta_0 + \beta_1 \cdot Ano$$

Em que:

$AD$  = área desmatada (ha),

$\beta_i$  = parâmetros do modelo e

$Ano$  = ano de ocorrência do desmatamento.

### 3.3.3 Análise da tendência de desmatamentos na estrutura fundiária dos estados

Realizou-se o cruzamento das informações de desmatamentos anuais com as informações de diferentes tipos de áreas existentes nos estados em estudo. Então, a partir do

comportamento dos resultados, e excluindo o ano 2008-2011, que se apresenta de forma acumulada para os 3 anos, foi utilizada a equação linear simples cuja área desmatada é função do tempo, em anos:

$$AD = \beta_0 + \beta_1 * Ano$$

Em que:

$AD$  = área desmatada (ha),

$\beta_i$  = parâmetros do modelo e

$Ano$  = ano de ocorrência do desmatamento.

### 3.3.4 Análise de desmatamentos ocorridos anualmente por tipos de propriedades

Para observar os resultados da mudança na cobertura do solo relacionados ao mapeamento de propriedades privadas, serão cruzados os dados da série histórica de seis anos (2008, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 e 2016), em que ocorreram desmatamentos, e as áreas dos imóveis do CAR classificados pelo tamanho de módulos fiscais. A organização será feita de acordo com o ano do desmatamento e tipo de propriedade (minifúndio, pequena, média ou grande), com a finalidade de analisar se o desmatamento é influenciado pelo tamanho de propriedade, e também permitindo observar a concentração de áreas desmatadas.

A classificação dos imóveis rurais é definida pela lei 8.629, de 25 de fevereiro de 1993 e considera o tamanho do módulo fiscal, que varia de acordo com o município e está relacionado à área da propriedade. Então são organizados em (INCRA, 1993):

**Minifúndio:** imóvel rural que possui área inferior a um módulo fiscal;

**Pequena propriedade:** imóvel rural com área compreendida entre um e quatro módulos fiscais;

**Média propriedade:** imóvel rural com área compreendida entre quatro e 15 módulos fiscais;

**Grande propriedade:** imóvel rural com área superior a 15 módulos fiscais;

A partir da organização destes dados, será possível analisar a quantidade de imóveis e área total pertencente em cada grupo, observar se há concentração fundiária, o quanto isso afeta a conservação dos recursos naturais e questões ambientais dos proprietários.

Para observar o comportamento no decorrer dos anos da conservação dos recursos florestais em assentamentos, os dados de área dos assentamentos serão relacionados com os dados do monitoramento na série histórica.

Em áreas protegidas, os dados do monitoramento na série histórica (2008, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015 e 2016) serão relacionados com as chamadas áreas protegidas consideradas neste trabalho, que são Unidades de Conservação (UC), Terra Indígena, Quilombolas e Área Militar.

Por fim, para áreas públicas os dados do monitoramento na série histórica serão sobrepostos com as chamadas áreas públicas consideradas neste trabalho, que são florestas públicas não designadas, imóveis públicos registrados no SIGEF/SNCI, e terras não destinadas no Programa Terra Legal.

### 3.3.5 Análise da perda de carbono causados pelo desmatamento

O mapa de biomassa acima do solo possui cada valor do pixel referente ao valor de biomassa da vegetação lenhosa viva acima do solo, sendo assim foi feito o cruzamento das informações para resultar no total de pixels nos polígonos de desmatamento, o somatório destes valores referem-se à biomassa total perdida, e multiplicando por um fator de 0,5 encontra-se o valor do estoque de carbono perdido anualmente nos desmatamentos ocorridos nos estados, nos tipos de propriedades e tamanhos dos imóveis rurais. E multiplicando os resultados de estoque de carbono por um fator de 44/12 estima-se o CO<sub>2</sub> equivalente.

Também, realizou-se a projeção da emissão do CO<sub>2</sub> equivalente para os anos seguintes, excluindo o período de 2008-2011 que se apresenta de forma acumulada para os 3 anos, foi utilizada a equação linear simples cuja quantidade de CO<sub>2</sub> equivalente é função do tempo, em anos:

$$CO_2 = \beta_0 + \beta_1 * Ano$$

Em que:

$CO_2$  = quantidade de Carbono Equivalente (Tg),

$\beta_i$  = parâmetros do modelo e

$Ano$  = ano de ocorrência do desmatamento.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análise de tendência de desmatamentos entre os estados

A Tabela 1 apresenta uma análise estatística dos desmatamentos ocorridos entre os anos de 2008-2016 nos estados em estudo. Observa-se que o número de polígonos de desmatamentos ocorridos no Pará foi 2,31 vezes maior que no Amazonas. A média do tamanho de área desmatada foi de 2,64 ha no Amazonas e 3,92 ha no Pará, percebe-se que grande parte dos desmatamentos possuem áreas pequenas, se comparadas com o tamanho de área máxima verificada em cada estado. O PRODES consegue identificar apenas polígonos de desmatamentos maiores que 6,25 ha, sendo assim, estas áreas não seriam contabilizadas. A área mínima detectada nos dados do projeto Monitoramento foi de 0,0025 ha, isto se deve a maior resolução espacial das imagens utilizadas (5 metros), anteriormente a menor área detectável foi de 0,09 ha em projetos que utilizaram uma resolução espacial de 30 metros.

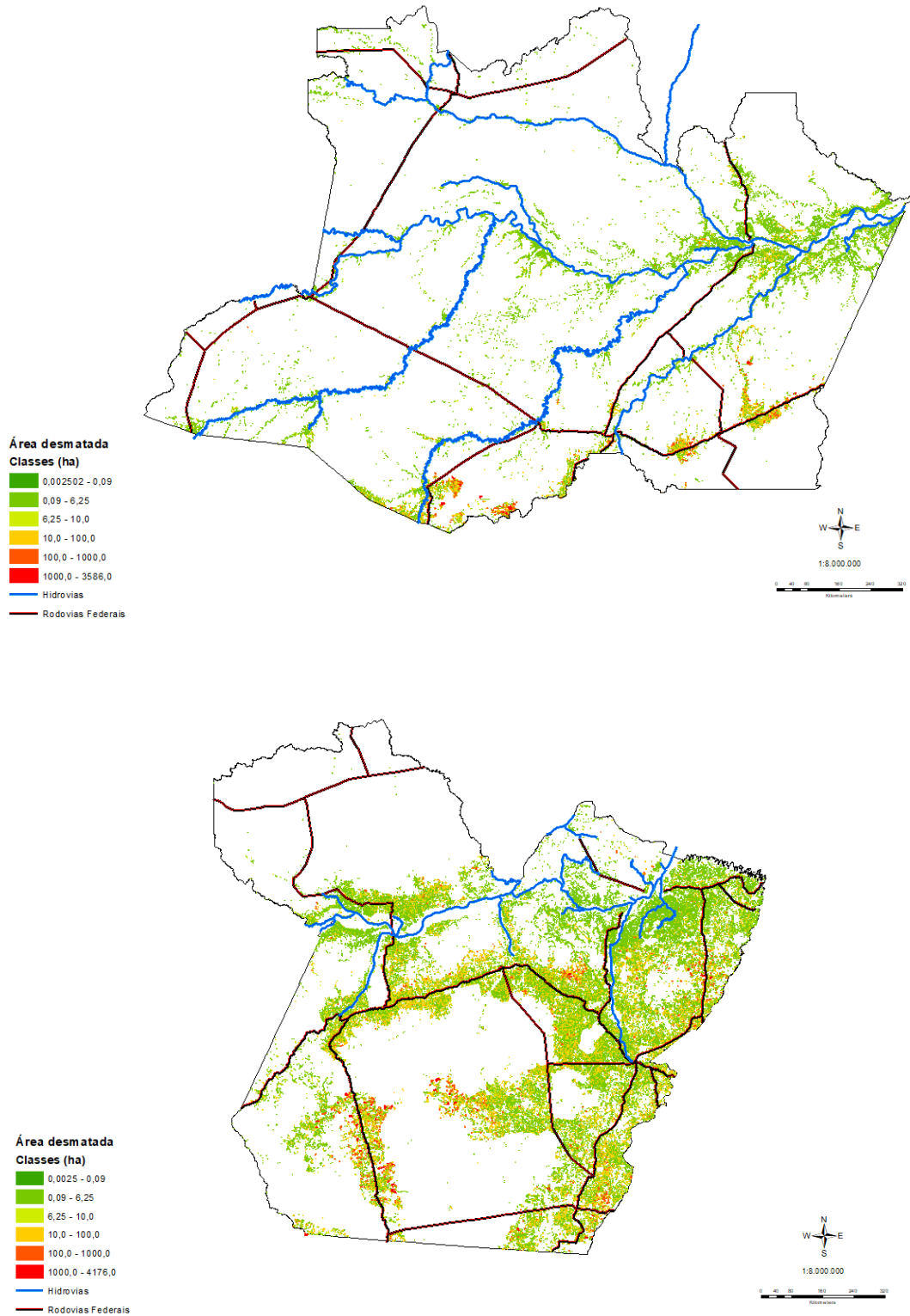
Tabela 1 - Análise descritiva dos desmatamentos ocorridos entre 2008 - 2016.

<b>Variável</b>	<b>Amazonas</b>	<b>Pará</b>
<b>n</b>	328.617	761.782
<b>Mínimo (ha)</b>	0,0025	0,0025
<b>Máximo (ha)</b>	3.585,1172	4.175,0268
<b>Média (ha)</b>	2,6377	3,9178
<b>Desvio Padrão (ha)</b>	16,4136	20,1822

Fonte: Do autor (2020).

Então, o avanço das tecnologias e aumento da resolução espacial agrega a capacidade de monitorar áreas que anteriormente não eram detectadas, mas se somadas tornam-se significativas. Segundo Hojas-Gascon e Hugh (2014), a resolução espacial do sensor Landsat (30 m) é adequada para monitorar o corte raso, sendo muito grosseiro para detectar outros processos mais finos de degradação florestal. Com a atual resolução foi detectada uma área de 2.111 hectares (540 ha no AM e 1.571 ha do Pará) que não seriam detectados se a área mínima fosse de 0,09 ha e uma área de 1.321.552 hectares que não seriam detectados com a metodologia PRODES (370.243 ha no AM e 951.309 do Pará). A Figura 9 demonstra a distribuição espacial e concentração dos desmatamentos conforme ao tamanho de área dos polígonos.

Figura 10 – Distribuição dos polígonos de desmatamento conforme o tamanho de área (ha).



Fonte: Do autor (2020).

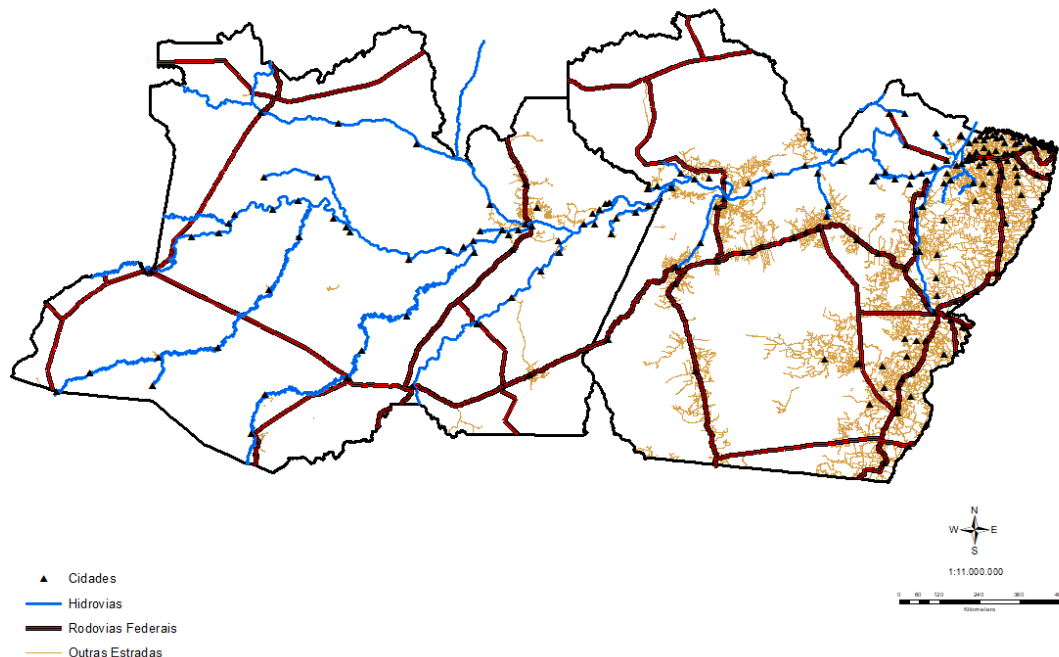
Observa-se que em ambos os estados, os maiores polígonos de desmatamento se concentram no chamado “Arco do Desmatamento”, que consiste em uma região de fronteira

agrícola desde a década de 20, e se estende do Maranhão ao Acre (FEARNSIDE, 2005), é uma área que apresenta altas taxas de desmatamentos, atualmente o limite nos estados deste estudo é a região sul do Amazonas e sudeste do Pará. Além disso, percebe-se que as maiores concentrações de áreas desmatadas estão próximas às rodovias federais. Conforme Castro (2005), além do “Arco do desmatamento” há a “fronteira clássica”, que é um padrão de desmatamento que tem se consolidado na região da Transamazônica e sudeste do Pará, marcada pelos projetos de colonização; e a expansão das atividades de pecuária, madeireira e soja no Pará e sudeste do Amazonas.

Nota-se que os menores fragmentos de desmatamento estão concentrados na região leste do Amazonas e nordeste do Pará, onde também se propagam, isto pode indicar uma nova estratégia adotada pelos proprietários para evitar a detecção pelos programas de monitoramento de desmatamento (SCHNEIDER & PERES, 2015; RICHARDS et al., 2012). Montibeller et al. (2020) encontraram resultados parecidos com os deste estudo, que reforçou essa ideia ao perceber que as manchas menores de perda florestal se concentram nestas regiões e espalham-se. Observa-se que alguns dos maiores polígonos de desmatamentos nem sempre acontecem próximos às rodovias ou hidrovias, podendo ser outra estratégia para camuflar as áreas desmatadas, realizando-os em áreas com difícil acesso, áreas de fronteiras com Unidades de Conservação, em áreas que são mais difíceis de ocorrer fiscalização, sendo necessários estudos mais aprofundados para que se entenda essa dinâmica de distribuição das maiores áreas desmatadas.

A Figura 10 apresenta a distribuição espacial dos centros urbanos, das hidrovias, estradas federais e outras estradas existentes nos estados. Observa-se que os desmatamentos estão concentrados em áreas que há maior rede de estradas vicinais e centros urbanos. O Pará apresenta uma maior rede de estradas vicinais ao longo das rodovias federais, com maior concentração na região leste e há apenas uma hidrovia que corta parte do estado, já o Amazonas possui uma menor distribuição de estradas vicinais, com maior concentração na porção leste do estado, e uma maior rede hidrográfica para transporte, isto significa que no Amazonas o transporte da madeira de áreas desmatadas é muito mais difícil que no Pará, o que justifica a maior ocorrência de desmatamentos no Pará.

Figura 11- Distribuição dos centros urbanos, hidrovias, rodovias federais e outras estradas nos estados do Amazonas e Pará.



Fonte: Do Autor (2020)

Segundo Sathler et al.(2009), em áreas de mineração, desmatamentos e mesmo nas áreas de agricultura mecanizada, a lógica urbana e industrial esteve sempre presente, respondendo ao que acontece em suas proximidades. Observa-se que os menores desmatamentos estão nas áreas com maior concentração de centros urbanos, que se localizam próximos a rios e estradas e quanto mais próximo deles, maior a quantidade de pequenos desmatamentos. Podendo ser pequenos para não serem detectados ou até mesmo porque as propriedades são menores.

A lógica espacial do desmatamento é explicada pela ocupação e estrutura espacial de arranjos institucionais, sistemas de uso do solo dominantes, tecnologias, topografia e distribuição espacial de recursos (BRONDIZIO; MORAN, 2012). Por exemplo, o estado do Amazonas possui uma rede hidrográfica extensa e densa, sendo a mais utilizada ou talvez a única maneira de transporte de habitantes, já no estado do Pará, há muitas rodovias e extensas áreas agrícolas. Este foi submetido a políticas desenvolvimentistas desde os anos 70, juntamente com o Mato Grosso, com o aumento da infraestrutura, incentivos fiscais para atividades de mineração, madeireira e pecuária, programas de colonização, são os que possuem as maiores taxas de desmatamento acumulado (CASTRO, 2005).

A Tabela 2 apresenta as áreas totais desmatadas nos estados do Amazonas e Pará no período de 2008-2016.

Tabela 2 - Áreas desmatadas (km<sup>2</sup>) anualmente no período de 2008-2016 nos estados do Amazonas e Pará. estado.

<b>Anos</b>	<b>Amazonas (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Pará (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Total</b>
2008 - 2011	2.262	7.896	10.159
2011 - 2012	523	3.674	4.197
2012 - 2013	911	2.561	3.472
2013 - 2014	1.250	4.684	5.934
2014 - 2015	1.326	4.563	5.889
2015 - 2016	2.398	6.467	8.865
<b>Total</b>	<b>8.670</b>	<b>29.846</b>	<b>38.516</b>

Fonte: Do autor (2020).

O período 2008-2011 possui o desmatamento acumulado de 3 anos, fazendo a média aritmética seria uma área de 754 km<sup>2</sup> desmatados no Amazonas, e no Pará 2.632 km<sup>2</sup>. Segundo alguns estudos, durante esse período ocorreu à diminuição do desmatamento, devido a uma junção de fatores, incluindo políticas públicas, mecanismos de mercado e iniciativas do setor privado (GODAR et al., 2014). Um fator considerável seria o aumento da fiscalização, com a execução pelo Governo Federal de programas de combate ao desmatamento, como o Plano de Ação para a Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia (PPCDAm), que teve como linhas de ação a regularização fundiária e criação de novas reservas, aumento do monitoramento do uso da terra e promoção de sistemas de produção agrícola mais sustentáveis (ASSUNÇÃO et al., 2013; NEPSTAD et al., 2014; ARIMA et al., 2014). Além disso, essa queda ocorreu em duas etapas, uma no período 2005-2007, e outra entre 2008-2012. Até o período de 2007, as taxas de desmatamentos acompanharam os preços de commodities de exportação, como soja e carne bovina, sendo os principais fatores neste período (ASSUNÇÃO, et al. 2015).

A partir de 2008 os preços das *commodities* se recuperaram, mas o desmatamento continuou decrescendo até 2012, em 2008 ocorreu uma mudança na resolução do Banco Central do Brasil (BACEN 3545/2008), que bloqueia empréstimos de bancos públicos para a agricultura e pecuária em propriedades com multas pendentes nos órgãos ambientais, isto apresentou efeito imediato, já que não há possibilidade de recurso; e tem seu maior impacto sobre os maiores produtores (FEARNSIDE, 2015). Também em 2008, o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), iniciou uma lista negra de municípios com alto desmatamento, estes apresentaram uma redução significativa de desmatamentos em 2009-2011 (ARIMA et al., 2014).



A partir de 2012 as áreas de desmatamentos voltaram a subir em ambos os estados, este avanço do desmatamento levanta questionamentos em relação à efetividade das políticas ambientais (INPE, 2020). O Pará apresentou quedas dos desmatamentos nos períodos de 2012-2013 e 2014-2015, que podem estar relacionadas à aceleração da implantação do Cadastro Ambiental Rural (CAR), devido à fronteira consolidada com altas taxas de desmatamentos já existente no estado, e possuir um grande número de propriedades privadas, devido ao seu histórico de ocupação, por exemplo, as áreas ao longo da Rodovia Belém-Brasília (BR-010), construída entre 1950 e 1960, foram inicialmente ocupadas por pequenos proprietários, que depois foram substituídos por grandes fazendeiros (FOWERAKER, 1981); um padrão semelhante ocorreu na região sul do Pará, na rodovia Transamazônica (BR-230) no início de 1970, que foi assentada por meio de projetos de colonização do governo, onde pequenos proprietários receberam lotes de 100 ha, que posteriormente foram passados a produtores mais ricos (FEARNSIDE, 1986). Além de transformar o Programa Municípios Verdes (PMV) em projeto do governo do estado em 2011, com o objetivo de auxiliar na consolidação do CAR e o fortalecimento da gestão ambiental municipal, combatendo o desmatamento e a degradação florestal no Pará (NEPSTAD et al., 2014).

A taxa crescente do desmatamento desde 2012 está relacionada com a pecuária e agricultura, que são consideradas as principais causas do desmatamento na Amazônia Brasileira. Diversos fatores como questões climáticas, *commodities* agrícolas, avanço da pecuária, migrações, políticas públicas, dentre outras, contribuem no comportamento desse número (RIVERO, 2009). Além de que o Novo Código Florestal (2012) permitiu a consolidação de grande parte das áreas ilegalmente desmatadas no passado, o que pode ter criado possibilidades de que no futuro novos desmatamentos possam ser anistiados (IMAZON, 2013).

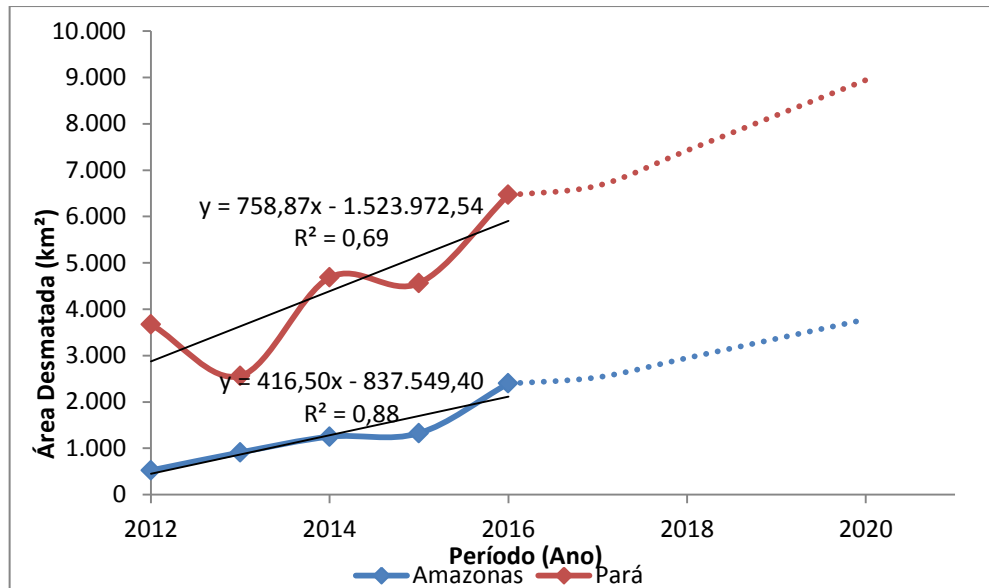
O período que houve maior área desmatada foi 2015-2016, no Amazonas foram 2.398 km<sup>2</sup> e no Pará 6.476 km<sup>2</sup>. Neste período o Brasil passava por uma incerteza política durante e após o julgamento da presidente Dilma Rousseff, que sofreu impeachment em agosto de 2016. Estas incertezas abriram oportunidades para o rápido avanço das iniciativas legislativas para remover as restrições ambientais, e isso continuou após a transferência dos poderes presidenciais (FEARNSIDE, 2016). Também, o valor do Real caiu 12% em relação ao dólar dos Estados Unidos, aumentando a atratividade da exportação de soja e carne bovina. O aumento do poder político dos ruralistas também influenciou as altas taxas de desmatamentos em 2016 (FEARNSIDE, 2017).

Observa-se no total de áreas desmatadas uma diferença de 21.176 km<sup>2</sup> entre os estados, ou seja, o estado do Pará desmatou uma área 3,44 vezes maior que a área acumulada desmatada no estado do Amazonas no mesmo período de tempo. Isto pode ser explicado por diversos fatores como a dinâmica espacial, as políticas fundiárias e históricos de ocupação diferentes existentes (MARGULIS, 2002). No Pará houve diversos investimentos em infraestrutura para auxiliar no desenvolvimento da região, onde construíram uma rede de rodovias principais e secundárias pelo estado, sendo alvo de políticas governamentais de colonização com a distribuição de grandes áreas de assentamentos e propriedades privadas.

Observa-se uma área total desmatada de 38.516 km<sup>2</sup>. Conforme o PRODES (INPE, 2020), a área acumulada desmatada para mesmo período (2008-2016) e para os estados do estudo foi de 33.308 km<sup>2</sup>, isto está relacionado com a metodologia utilizada em cada projeto. No PRODES são utilizadas imagens com uma resolução espacial de 30 metros que limitam a detecção de áreas desmatadas, já no Projeto Monitoramento foram utilizadas imagens com diferentes resoluções de 5, 10 e 30 metros, sendo a última apenas para o ano de 2008 ou quando não tinha disponibilidade em 2015 do sensor RapidEye (5m), portanto a resolução espacial do Projeto Monitoramento é maior, resultando em um maior detalhamento da área e melhores resultados.

Utilizando os dados do desmatamento na série histórica de 2012 – 2016, projetou-se as áreas desmatadas nos anos seguintes, através da identificação da linha de tendência. (Figura 10).

Figura 12 – Área desmatada (km<sup>2</sup>, linha sólida) e estimativa da área desmatada (km<sup>2</sup>, linha tracejada) por ano, nos estados do Amazonas e Pará.



Fonte: Do autor (2020).

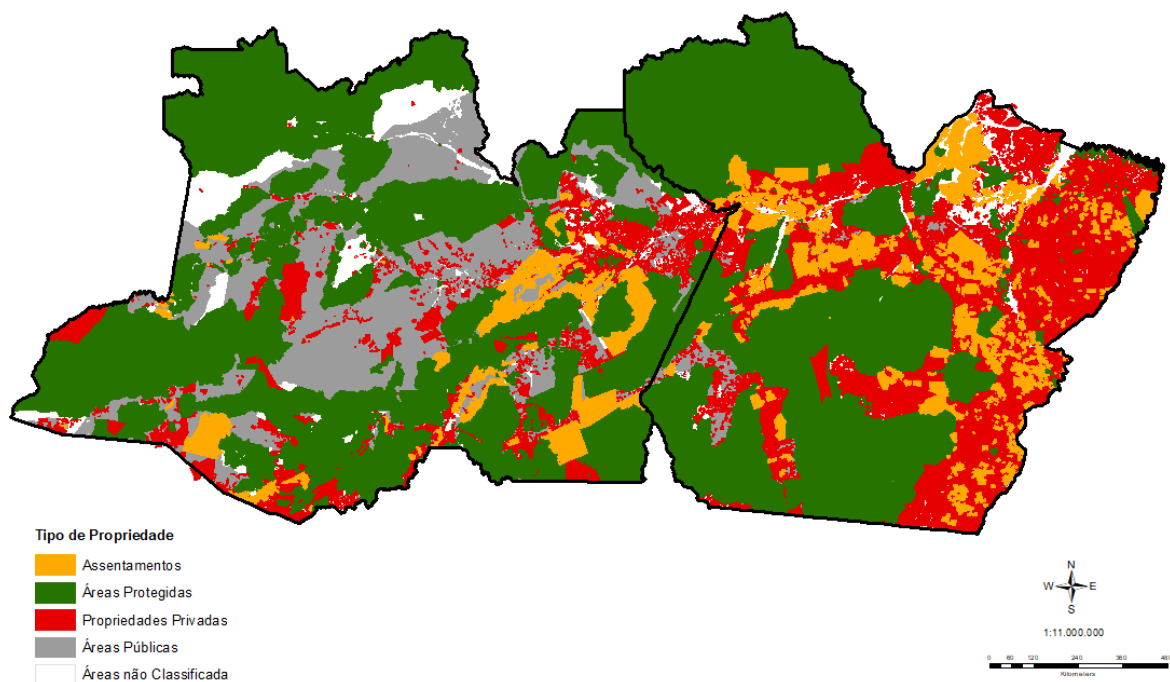
A partir da Figura 10, observa-se que a tendência, conforme os dados analisados, sem considerar outros fatores que podem influenciar essa questão, de áreas desmatadas em ambos os estados é aumentar, os resultados do Pará, apresentaram duas quedas nas taxas desmatadas, em 2013 e 2015, variando mais que os resultados do Amazonas, que apresentou desmatamentos crescentes anualmente. Conforme a projeção realizada, a área de desmatamentos no Amazonas irá dobrar a estimativa no ano de 2022, com 4.614 km<sup>2</sup> desmatados, já no Pará o dobro da estimativa ocorrerá em 2025, com 12.737 km<sup>2</sup>, sendo posterior devido ao tamanho da área desmatada ser muito maior. A média anual de crescimento da área desmatada será de 417 km<sup>2</sup> no Amazonas e 759 km<sup>2</sup> no Pará.

Para 2019 estimou-se uma área desmatada de 3.364 km<sup>2</sup> no Amazonas e 8.186 km<sup>2</sup> no Pará, comparando estes resultados com os dados do PRODES (INPE, 2020) que detectou uma área desmatada de 1.434 km<sup>2</sup> no Amazonas e 4.172 km<sup>2</sup> no Pará no mesmo ano, observa-se que as estimativas estão condizentes conforme a tendência de aumento, porém há muitas divergências no total de área desmatada que podem ser explicadas pela metodologia utilizada nos diferentes projetos, relacionada à resolução espacial e critérios para detecção do desmatamento.

## 4.2 Análise da tendência de desmatamentos na estrutura fundiária dos estados

A Figura 11 demonstra a distribuição espacial dos diferentes tipos de propriedades nos estados em estudo. No Pará há maior concentração de propriedades privadas em toda região leste do estado, os assentamentos se distribuem entre as propriedades privadas e região central, grande parte do estado é destinado às áreas protegidas incluindo unidades de conservação, áreas indígena e militar, e as poucas áreas públicas se localizam no sudoeste do estado. Já no Amazonas, há muitas áreas públicas que ainda não foram destinadas e se concentram na região central do estado. Os assentamentos e propriedades privadas estão distribuídos próximos aos limites do Amazonas com os estados do Pará e Mato Grosso e as áreas protegidas dominam o restante do território.

Figura 13 - Mapa representativo com a distribuição espacial das propriedades nos estados.



Fonte: Do autor (2020).

A Tabela 3 quantifica a área de cada estado por tipos de áreas estudadas, complementando as informações da Figura 13. Percebe-se que áreas protegidas se destacam, em dimensão, em ambos estados. Essa proporção demonstra que apesar de existir diversos problemas que envolvem a estrutura fundiária na Amazônia, grande parte ainda é destinada à

conservação dos recursos naturais, por isso é importante detectar se estes locais estão realmente protegidos dos desmatamentos.

Tabela 3 - Áreas (Km<sup>2</sup>) dos estados do Amazonas e Pará por tipo de propriedade e a relação (%) destas áreas com a área total de cada estado.

<b>Tipo de área</b>	<b>Amazonas</b>	<b>Pará</b>
<b>Áreas Privadas</b>	265.900,44 17%	474.535,15 38%
<b>Assentamentos</b>	82.556,09 5%	70.403,19 6%
<b>Áreas Protegidas</b>	804.915,14 51%	617.165,36 49%
<b>Áreas Públicas</b>	391.675,10 25%	70.403,19 6%
<b>TOTAL</b>	<b>1.545.046,77</b> <b>99%</b>	<b>1.232.506,904</b> <b>99%</b>

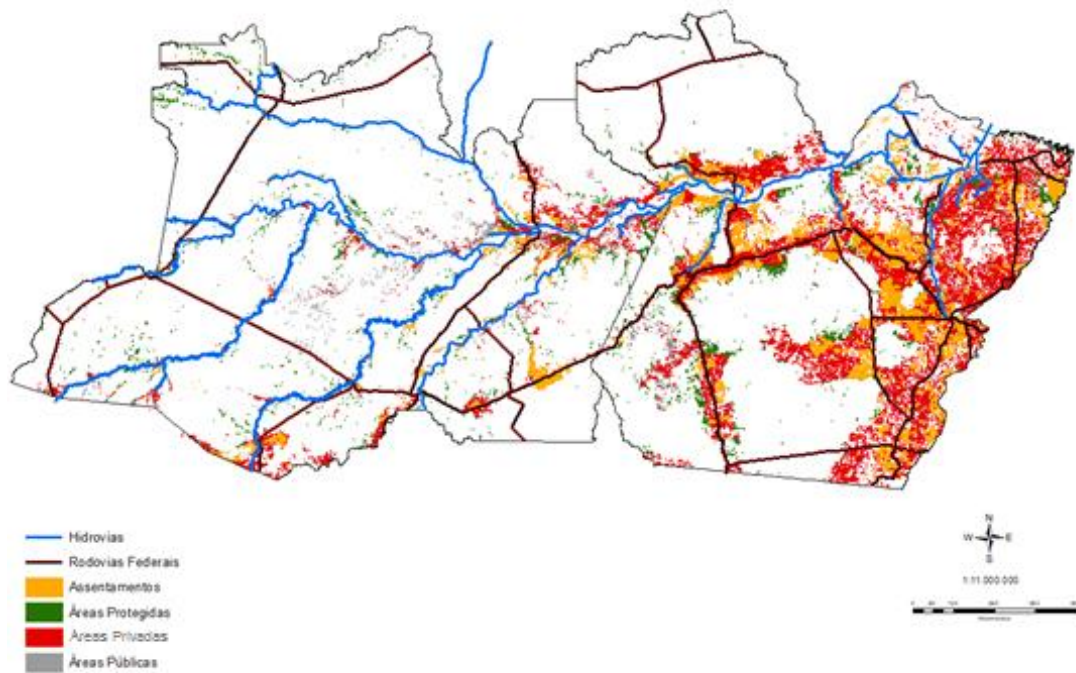
Fonte: Do autor (2020).

Complementando a distribuição de terras por tipos de propriedade no Amazonas e no Pará, a dimensão de áreas privadas no Amazonas corresponde a 45.018 imóveis rurais, com uma sobreposição de 23% da área total, já a área de assentamentos correspondem 105 propriedades. No Pará são 206.726 imóveis rurais declarados, que possuem uma sobreposição de 14% da área total, e 1.054 assentamentos até a data dos dados utilizados.

Como este estudo foca na análise de tendência dos desmatamentos, as sobreposições existentes entre os limites dos imóveis e tipos de áreas não foram tratadas, sendo impossível determinar a verdadeira propriedade a ser utilizada. Ou seja, é preciso um processo de análise detalhado da estrutura fundiária e também um suporte de tecnologias inovadoras, para posteriormente ser possível gerar resultados com maior precisão. Sparovek et al. (2019) descobriram que do total (8,5 milhões de km<sup>2</sup>) 44,2% das terras brasileiras são privadas, 36,1% são públicas, e 16,6% não estão registradas ou apresenta posse desconhecida, e que existe até 50% de sobreposições entre estas categorias.

A Figura 14 demonstra a distribuição do desmatamento total ocorrido em ambos os estados por tipo de propriedade no período 2008-2016.

Figura 14 - Mapa da distribuição espacial dos desmatamentos ocorridos nos tipos de propriedades.



Fonte: Do autor (2020).

Nota-se que os tipos de propriedades que mais ocorreram desmatamentos no período 2008–2016 foram nas privadas e nos assentamentos localizados no “Arco do Desmatamento” e próximos às rodovias federais e hidrovias existentes.

As propriedades privadas foram responsáveis pelo desmatamento de 25.876 km<sup>2</sup>, sendo 3.799 km<sup>2</sup> do Amazonas e 22.078 km<sup>2</sup> do Pará. Os assentamentos vêm em segundo como os agentes que mais desmataram, com uma área total de 10.352 km<sup>2</sup>. Em áreas públicas totalizou-se 4.870 km<sup>2</sup>, e 2.383 km<sup>2</sup> em áreas protegidas.

Os assentamentos foram o segundo tipo de área que possuem uma alta taxa de desmatamento em ambos os estados, sendo 1.819 km<sup>2</sup> no Amazonas, e 8.533 km<sup>2</sup> no Pará, 23 e 24% da área total desmatada de cada estado, respectivamente. As causas para as altas taxas de desmatamento em assentamentos são diversas e devem ser avaliadas com cuidado. Uma delas é que os assentamentos podem ter sido implementados em áreas já desmatadas, ou seja, com passivo ambiental. Colonos geralmente chegam espontaneamente antes e iniciam a limpeza das áreas que só serão oficialmente declaradas como assentamentos anos depois (SCCHNEIDER; PERES, 2015). A ausência de infraestrutura e assistência técnica podem levar à grilagem e reconcentração dos lotes, em que os assentados cedem à pressão para vender seus lotes a grandes proprietários ou outros interessados. A área passível de

desmatamento então aumenta, uma vez que os compradores adquirem diversos lotes com a intenção de formar uma única propriedade, direcionando para a expansão de latifúndios monocultores, que possui forte influência do cenário econômico nacional e internacional (CARRERO; FEARNSIDE, 2011).

Yanai et al. (2017) que estimaram o desmatamento em 2.740 (82%) dos 3.325 assentamentos da Amazônia Legal do Brasil, utilizando dados do PRODES até 2013 e do Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros (PMDBBS) até 2010, encontraram que os assentamentos contribuíram com 17% (160.410 km<sup>2</sup>) do desmatamento total. Schneider & Peres (2015) que estimaram o desmatamento em 1.911 assentamentos com dados do PRODES até 2011 e PMDBBS até 2009, demonstraram que 146.937 (55%) km<sup>2</sup> foram desmatados nas áreas de assentamentos, representando uma contribuição de 13% para o desmatamento total para Amazônia Legal. Estes resultados são coincidentes com os aqui encontrados e demonstram que os assentamentos são responsáveis por uma alta taxa de desmatamentos.

Áreas públicas apresentaram no Amazonas uma área de 1.594 km<sup>2</sup> desmatados, que corresponde a 20% da área total, já no Pará 3.276 km<sup>2</sup>, 9% da área total desflorestada. Grandes áreas florestais públicas são susceptíveis ao fracasso das políticas governamentais em relacionar essas áreas a projetos de programas ambientais, devido às dificuldades de supervisão pública, especialmente nas fronteiras agrícolas existentes no estado do Mato Grosso (AZEVEDO-RAMOS; MOUTINHO, 2018).

As áreas protegidas apresentaram no Amazonas 763 km<sup>2</sup> de desmatamento, destes 5 km<sup>2</sup> foram em áreas militares e 245 km<sup>2</sup> em Unidades de Conservação de Uso Sustentável, 481 km<sup>2</sup> em territórios indígenas e o restante 32 km<sup>2</sup> em Unidades de Conservação de Proteção Integral. No Pará foram 1.620 km<sup>2</sup> desmatados em áreas protegidas, distribuídos da seguinte forma: 157 km<sup>2</sup> em áreas militares, 567 km<sup>2</sup> em áreas indígenas, 800 km<sup>2</sup> em Unidades de Conservação de Uso Sustentável, e 96 km<sup>2</sup> em Unidades de Conservação de Proteção Integral. Conforme o Veríssimo et al. (2011) metade das Unidades de Conservação não possui plano de manejo aprovado, grande parte não possui conselho gestor, e apresenta a média de 1 funcionário para cada 1.871,7 km<sup>2</sup>. Além disso, uma rede de estradas ilegais associadas à exploração madeireira ilegal avança nas Unidades de Conservação de Uso Sustentável, em que há 17,7 km de estradas a cada 1.000 km<sup>2</sup> (VERÍSSIMO, 2011).

É interessante notar que, de acordo com a Figura 12, as maiores concentrações de desmatamentos em áreas protegidas ocorrem quando em proximidade com assentamentos e propriedades privadas que também têm áreas desmatadas. Na região nordeste do estado do

Amazonas também é observada esta tendência, porém nota-se que mesmo em regiões mais isoladas do estado, os desmatamentos em áreas de proteção estão próximos, principalmente, às hidrovias.

Montibeller et al. (2020) encontraram taxas relativamente baixas e constantes de desmatamentos em Unidades de Conservação e Áreas Indígenas de 2001 a 2015, indicando a eficiência da conservação florestal nessas áreas, porém observou aumentos em 2016 e 2017 com menor tamanho médio das áreas desmatadas, que seria outro desafio para os sistemas de monitoramento. Cabral et al. (2018) encontraram que a maior concentração de desmatamentos ocorreram em áreas com baixo nível de proteção, como as Áreas de Proteção Ambiental.

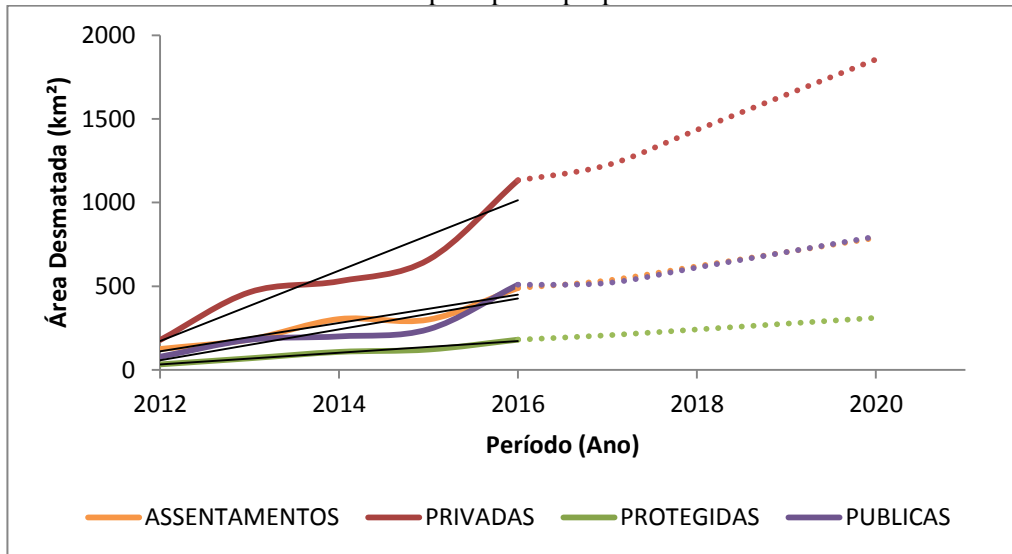
O total de desmatamentos resultantes na análise entre os estados foi de 37.564 km<sup>2</sup>, já na análise da estrutura fundiária a área total corresponde a 43.481 km<sup>2</sup>, uma diferença de 5.917 km<sup>2</sup>, que é explicada pela sobreposição de limites das propriedades, fazendo com que o mesmo polígono de desmatamento esteja sendo contabilizado mais de uma vez. Atualmente, o Brasil enfrenta diversos desafios interligados, como a insegurança na posse da terra, certificação utilizando sistemas de cadastro e gestão de terras, apropriação indevida de áreas públicas, redução do potencial produtivo, conflitos agrários e desmatamentos (ALIX-GARCIA et al., 2018; MARRA et al., 2015). Além de apresentar diversas áreas de conflitos, onde existe sobreposição dos limites das propriedades, o que pode estar relacionado com a apropriação de terras de forma indevida de, sendo necessária a regularização fundiária para o combate efetivo do desmatamento.

Os resultados encontrados neste trabalho demonstram o comportamento dos desmatamentos, sendo possível identificar onde estão ocorrendo as maiores taxas, e se as ferramentas disponíveis são um fator de impacto para controlá-lo, sendo necessárias melhorias nestas para maior eficiência, como a regularização fundiária, destinação de florestas públicas e validação do cadastro realizado no CAR, para que não haja sobreposição entre as propriedades.

Ao investigar o padrão de desmatamento ao longo dos anos por tipo de propriedade (Figuras 13 e 14), observa-se que as curvas para todos os tipos de áreas seguem um padrão similar, ou seja, as taxas de desmatamento se alteram de formas parecidas. Exceto em áreas privadas, nas quais o desmatamento se apresenta com variações mais bruscas em ambos os estados.

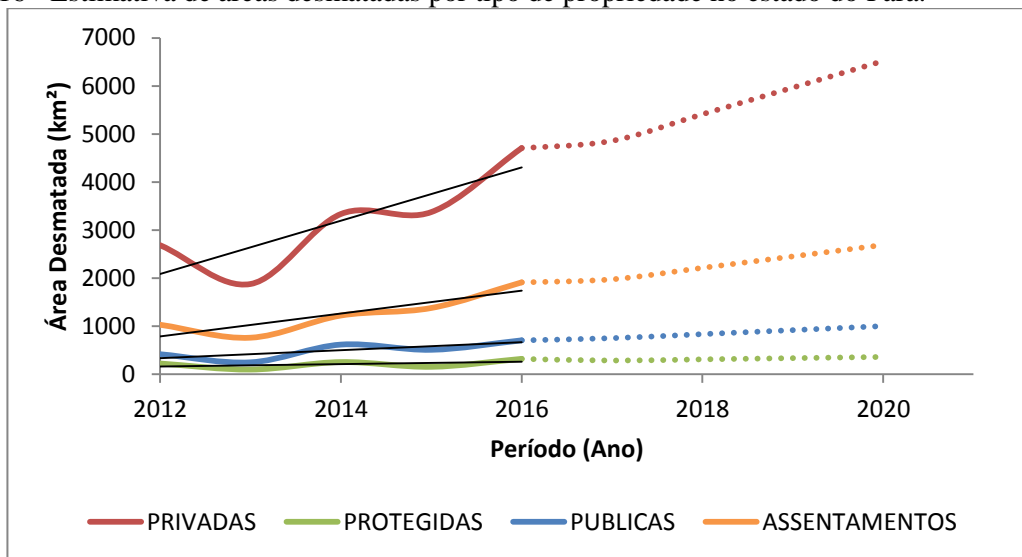


Figura 15 - Estimativa de áreas desmatadas por tipo de propriedade no estado do Amazonas.



Fonte: Do autor (2020).

Figura 16 - Estimativa de áreas desmatadas por tipo de propriedade no estado do Pará.



Fonte: Do autor (2020).

Observa-se na Figura 15 que no estado do Amazonas a partir de 2016, a curva das áreas públicas e a curva dos assentamentos se unem, ou seja, passam a apresentar uma taxa de crescimento de desmatamentos com intensidades próximas, estima-se, de acordo com os ajustes presentes na Tabela 4, que a área de aumento de desmatamento anualmente será 85 km<sup>2</sup> nos assentamentos e 92 km<sup>2</sup> nas áreas públicas. As propriedades privadas apresentam uma curva discrepante de crescimento se comparada com as outras propriedades, tendo um aumento de 210 km<sup>2</sup> por ano e as taxas de desmatamento em áreas protegidas crescem com uma menor intensidade, sendo 35 km<sup>2</sup> por ano. Estimou-se com o uso dos modelos ajustados

presentes na Tabela 4, que em 2019 as áreas desmatadas seriam 709 km<sup>2</sup> nos assentamentos, 1.638 km<sup>2</sup> nas propriedades privadas, 280 km<sup>2</sup> nas áreas protegidas e 693 km<sup>2</sup> em áreas públicas, a plataforma MapBiomas Alerta (2020) apresentou para o mesmo ano 6.783 unidades de alertas de desmatamentos no Amazonas, com a seguinte distribuição em área: 1.284 km<sup>2</sup> em propriedades privadas, 422 km<sup>2</sup> em assentamentos e 55 km<sup>2</sup> em áreas protegidas.

O estado do Pará também apresentou um panorama (Figura 16) de aumento gradativo da área desmatada conforme o tipo de propriedade. O padrão mais constante de desmatamento encontra-se nas áreas protegidas. E assim como no Amazonas, as propriedades privadas são as principais responsáveis pelo aumento da taxa de desmatamento anualmente. Nas estimativas realizadas com os modelos ajustados da Tabela 4, os crescimentos anuais das áreas desmatadas são de 554 km<sup>2</sup> em propriedades privadas, 238 km<sup>2</sup> em assentamentos, 25 km<sup>2</sup> em áreas protegidas e 84 km<sup>2</sup> em áreas públicas. O cenário de áreas desmatadas para o ano de 2019 distribui-se da seguinte forma: os assentamentos com 2.461 km<sup>2</sup> de desmatamentos, as propriedades privadas com 5.975 km<sup>2</sup>, áreas protegidas com 337 km<sup>2</sup> e áreas públicas com 921 km<sup>2</sup>. Os resultados encontrados no MapBiomas Alerta (2020) para o mesmo ano de 2019 no Pará em 17.803 unidades de alertas de desmatamentos foram que as propriedades privadas apresentaram 2.535 km<sup>2</sup> de desmatamentos, os assentamentos 871 km<sup>2</sup> e as áreas protegidas 987 km<sup>2</sup>.

Ao comparar os dados do MapBiomas Alerta (2020), percebe-se que onde ocorreram maior concentração de áreas desmatadas foram nas propriedades privadas, coincidindo com os resultados aqui apresentados para o Amazonas e Pará.

Comparativamente, o dado projetado para a área desmatada em propriedades privadas, no Amazonas, confirma que além de ser o tipo de propriedade que mais contribui para o desmatamento, sua alta taxa, projetada com os dados de desmatamento até 2016, permanece consistente nos últimos anos e equivalente ao dado fornecido pelo MapBiomas. Para os demais tipos de propriedade e nos dois estados as projeções deste estudo mostraram-se superiores às áreas quantificadas pelo MapBiomas. Isso permite a criação de duas hipóteses, a primeira seria que a taxa de desmatamento dos últimos anos pode estar diminuindo, apesar de ainda ser crescente ou, como segunda hipótese, que as pequenas áreas desmatadas não detectadas pelos estudos atuais são as responsáveis pelo aumento da taxa do desmatamento nestes tipos de propriedades.

O IPAM (2019) analisou que uma área de quase 11.000 km<sup>2</sup> foi desmatada em 2019 em toda Amazônia Legal, distribuídos na estrutura fundiária da seguinte forma: 9% em áreas

sem informação, 27% em áreas não destinadas ou áreas públicas, 23% em propriedades privadas, 27% em assentamentos e 14% em áreas protegidas. Observa-se que o comportamento da distribuição e dos principais autores do desmatamento é diferente dos aqui apresentados, isto se deve ao detalhamento utilizado, enquanto que o estudo do IPAM (2019) foi realizado a nível geral em toda Amazônia Legal. No presente trabalho o panorama foi individual para cada estado em estudo, ressaltando a importância de realizar monitoramentos com uma escala mais fina para identificar os principais causadores do desmatamento.

Para estimar o desmatamento ocorrido nos tipos de propriedades (Figura 16), foi realizada uma análise de tendência linear entre o ano e a área desmatada para cada tipo de propriedade, gerando equações lineares individuais (Tabela 4), onde as com maiores coeficientes de determinação foram nas áreas protegidas no estado do Amazonas e assentamentos no Pará.

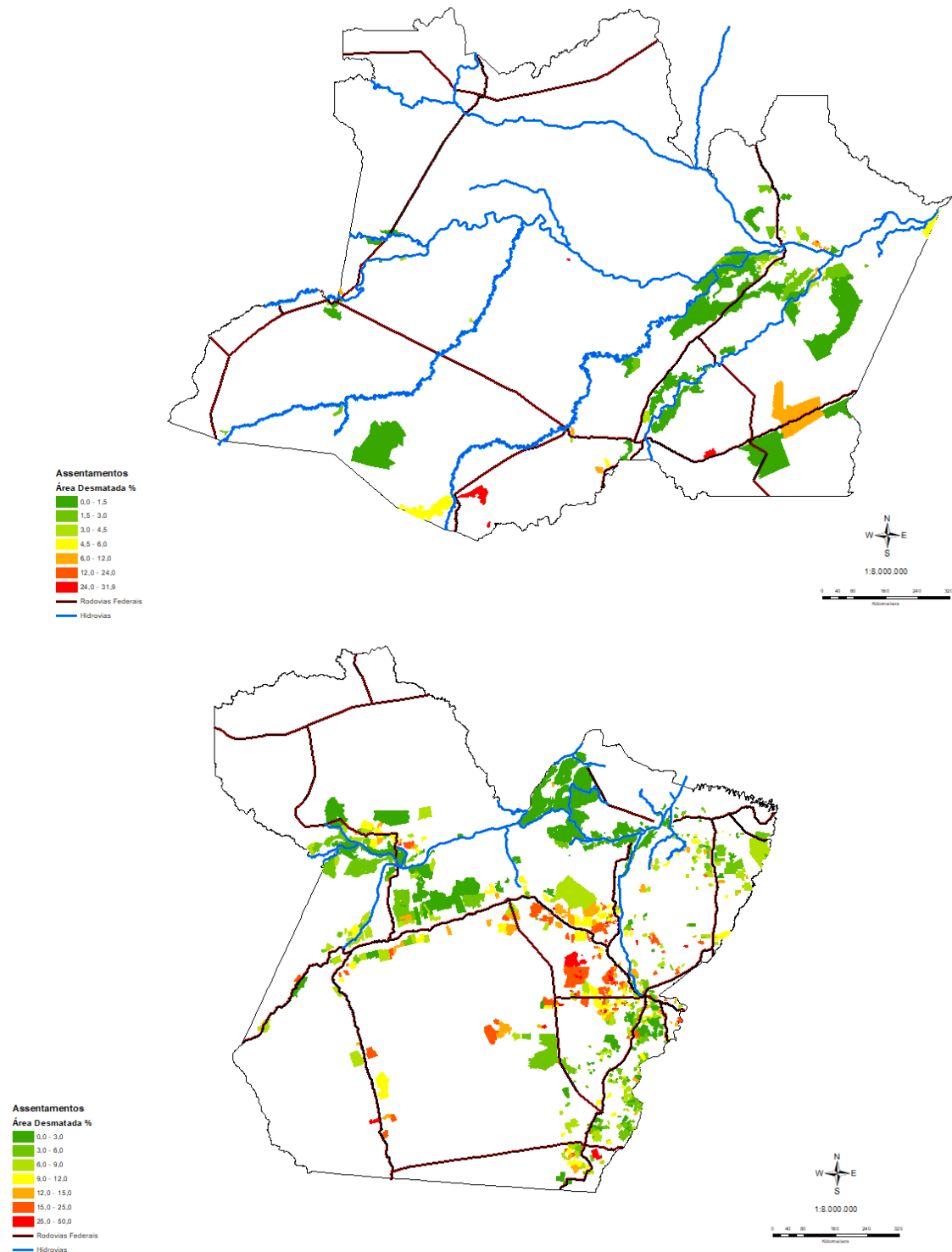
Tabela 4 - Equações para estimar a área desmatada (y) em função do ano (x), nos diferentes tipos de propriedades, para o Amazonas e o Pará.

<b>Equações lineares a partir da série histórica</b>		
<b>Tipos de Propriedades</b>	<b>Amazonas</b>	<b>Pará</b>
<b>Assentamentos</b>	$y=84,74x-170.381,47$ $R^2 = 0,92$	$y=238,19x-478.444,52$ $R^2=0,76$
<b>Áreas Privadas</b>	$y=210,26x-422.876,92$ $R^2 = 0,91$	$y=553,66x-1.111.864,55$ $R^2=0,71$
<b>Áreas Protegidas</b>	$y=34,77x-69.920,95$ $R^2=0,97$	$y=23,99x-50.118,05$ $R^2=0,21$
<b>Áreas Públicas</b>	$y=92,35x-185.761,32$ $R^2=0,82$	$y=83,81x-168.290,99$ $R^2=0,56$

Fonte: Do autor (2020).

Ao identificar que as maiores áreas desmatadas ocorreram em propriedades privadas e assentamentos, promoveu-se uma análise da relação entre a área desmatada e a área da propriedade em que ocorreu o desmate, para entender melhor essa dinâmica entre área desmatada e tamanho de propriedade. Sendo assim, a Figura 15 apresenta a distribuição espacial da relação área desmatada e área da propriedade para assentamentos nos estados do Amazonas e Pará.

Figura 17 - Distribuição espacial da relação entre a área desmatada e área total de cada assentamento, através dos limites das propriedades no estado do Amazonas e no Pará



Fonte: Do Autor (2020).

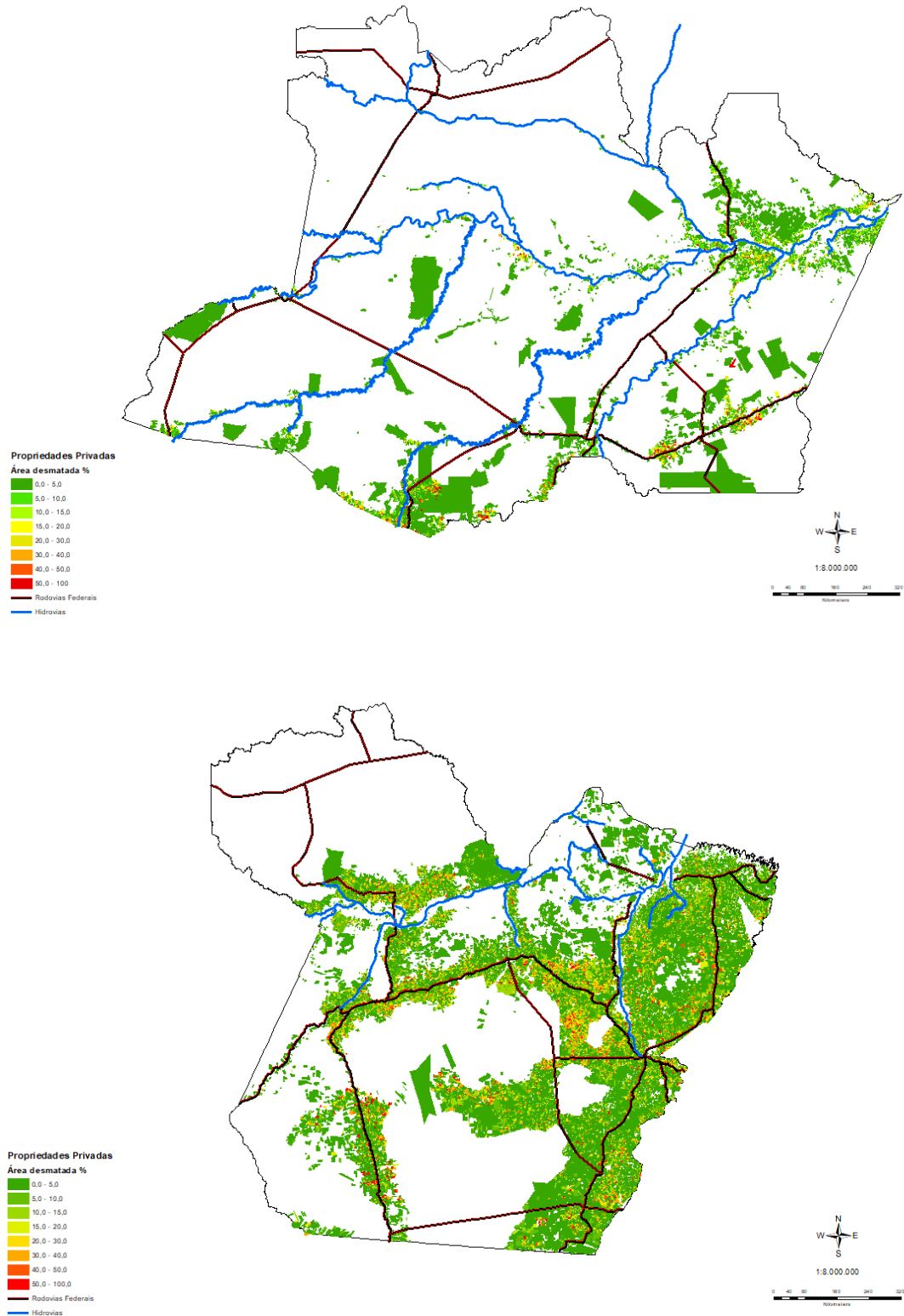
Todos os 105 assentamentos utilizados neste estudo no Amazonas apresentaram áreas desmatadas. Observa-se pela Figura 17 que grande parte dos desmatamentos ocorreu na classe

abaixo de 4,5%, sendo distribuídos em 76 assentamentos. Estes apresentaram valores médios de tamanho de área igual a 894 km<sup>2</sup>, com 854 km<sup>2</sup> de vegetação nativa, e 5 km<sup>2</sup> de área desmatada por propriedade, ou seja, os desmatamentos equivalem 0,5% da vegetação nativa existente nestes assentamentos. Por outro lado, seis propriedades demonstraram uma taxa de desmatamento entre 12% e 31,9%, estas possuem médias de tamanho de área igual a 264 km<sup>2</sup>, com 130 km<sup>2</sup> de vegetação nativa e 66 km<sup>2</sup> de área desmatada, que equivalem a 51% da vegetação nativa. Então, significa que os maiores assentamentos desmatam pequenas áreas, e ao comparar com a vegetação nativa existente apresentam maior conservação de seus recursos naturais. Já os menores assentamentos tendem a desmatar maiores áreas, o equivalente a metade dos remanescentes de vegetação das propriedades, podendo estar relacionado ao aumento de disponibilidade de área para uso econômico.

O Pará apresentou um comportamento similar ao do Amazonas, em que todos os 1.054 assentamentos possuem áreas desmatadas, em que 673 propriedades desmataram áreas equivalentes a 9% de seu tamanho. A área média para estas propriedades foi de 148 km<sup>2</sup>, com 156 km<sup>2</sup> de vegetação nativa e 5 km<sup>2</sup> de áreas desmatadas por propriedade, o que significa que a área desmatada equivale a 3% da área de vegetação. São 30 assentamentos que se apresentaram com áreas desmatadas entre 25% e 50% de sua área total, estas apresentaram tamanho médio de 92 km<sup>2</sup>, 87 km<sup>2</sup> de vegetação nativa e 22 km<sup>2</sup> desmatados, equivalente a 25% dos remanescentes de vegetação existentes por propriedade. Observa-se que os menores desmatamentos ocorreram em assentamentos que apresentaram maior área de vegetação nativa, e conseqüentemente maior tamanho. E onde ocorreu maior proporção de desmate apresentou uma área de vegetação nativa próxima ao tamanho da propriedade, que apresentou uma diferença de 41% para as áreas que se encontram nas classes de menor desmate, sendo uma diferença não discrepante, o que pode significar que o padrão de desmatamentos nos assentamentos do Pará está mais distribuído quanto ao tamanho de área, tanto os maiores quanto os menores desmatam na mesma proporção.

Para entender quais são os maiores responsáveis pelos desmatamentos e se o comportamento destes desmatamentos em propriedades privadas ocorrem da mesma forma que em assentamentos, a Figura 18 apresenta a distribuição espacial das taxas de desmates relacionadas aos tamanhos dos imóveis rurais nos estados em estudo.

Figura 18 - Distribuição espacial da relação entre a área desmatada e a área total de cada propriedade privada no estado do Pará.



Fonte: Do Autor (2020)

Nota-se em ambos os estados, que grande parte das propriedades privadas desmata pequenas áreas se comparadas ao tamanho do imóvel. No Amazonas, das 45.018 propriedades analisadas, 28.339 apresentaram polígonos de desmatamento (19.617 minifúndios, 6.380 pequenas, 1.524 médias, 818 grandes). Dessas 17.198 desmataram até 10% de sua área total, distribuídas da seguinte forma: os minifúndios representaram 61%, com área média de 0,4 km<sup>2</sup>, com desmatamentos que equivalem a 4% da sua área total. As pequenas somam 26%, sendo o tamanho médio 2 km<sup>2</sup>, com desmatamentos que retratam 3% da área do imóvel. Médias propriedades configuram 8%, com tamanho médio de 7 km<sup>2</sup>, e desmatamentos que significaram 2% área do imóvel. E as grandes propriedades retrataram 5% com uma área média de 207 km<sup>2</sup>, onde os desmates equivalem a 0,1% da área do imóvel. Já as taxas de desmatamentos acima de 30% do tamanho do imóvel foram representadas por 3.624 propriedades, em que 84% são minifúndios, com tamanho médio 0,25 km<sup>2</sup>, e áreas desmatadas que equivalem a 48% da área total do imóvel. As pequenas propriedades representaram 15%, com área média de 2 km<sup>2</sup>, e desmatamentos que caracterizam 50% dessa área. As médias totalizaram 1% das propriedades, com área média de 8 km<sup>2</sup>, e desmatamento que equivalem a 54% dessa área. As grandes propriedades configuram 0,2%, com área média de 43 km<sup>2</sup>, e áreas desmatadas que representam 50% da área do imóvel.

No Pará, das 206.706 propriedades privadas analisadas, 140.353 apresentaram áreas desmatadas (71.909 minifúndios, 51.565 pequenas, 11.312 médias e 5.567 grandes), em que 81.107 ocorreram desmates de até 10% de sua área total, distribuídos da seguinte forma: os minifúndios somaram 44%, com área média de 0,38 km<sup>2</sup>, e desmatamentos equivalentes a 4% dessa área. As pequenas propriedades foram 39% e possuem área média de 1 km<sup>2</sup>, em que os desmates foram 4% dessa área. As médias totalizaram 11%, com área média de 6 km<sup>2</sup>, onde 2% dessa área equivalem a desmates. E as grandes propriedades foram 6%, com área média de 39 km<sup>2</sup>, apresentaram desmates que caracterizam 2% dessa área total. Já as taxas de desmatamentos acima de 30% foram representadas em 18.021 propriedades, sendo 69% minifúndios com área média de 0,34 km<sup>2</sup> e taxa de desmatamento igual a 44% dessa área; 28% pequenas propriedades com área média de 1 km<sup>2</sup>, e 44% dessa área equivalente a desmates; 3% médias propriedades com área média de 5 km<sup>2</sup>, e desmatamentos equivalentes a 46% dessa área; e por fim as 1% grandes propriedades, com área média de 20 km<sup>2</sup>, e áreas desmatadas que caracterizam 44% dessa área.

Para o Amazonas e Pará, as menores propriedades foram maioria na classe de desmate até 10% e também na classe acima de 30%, como são áreas pequenas, a disponibilidade de área para uso também é menor, onde o detentor da área pode entender como necessária a

abertura de clareiras. O somatório desses desmatamentos pode gerar um valor alto, o que requer maior atenção. As maiores propriedades podem apresentar maior disponibilidade de área para uso, por isso ocorrem menores desmatamentos, mas apesar de serem minoria em ambas as classes de desmatamentos, os desmates quando proporcionalizados ao tamanho do imóvel são mais significativos.

Além da relação entre o desmatamento e a área da propriedade é importante entender a evolução dos desmatamentos ao longo do tempo e por tipo de propriedade. A Tabela 5 demonstra o total de área desmatada por classe de tamanho de propriedade privada anualmente em ambos estados, entre os anos de 2008 e 2016.

Tabela 5 – Desmatamento (km<sup>2</sup>) por classe de tamanho de propriedade privada anualmente, entre 2008 e 2016, para os estados do Amazonas e do Pará.

<b>Período</b>	<b>Minifúndios</b>	<b>Pequeno</b>	<b>Médio</b>	<b>Grande</b>
<b>AMAZONAS</b>				
2008 - 2011	238	265	113	216
2011 - 2012	54	60	23	43
2012 - 2013	109	115	47	193
2013 - 2014	141	161	60	169
2014 - 2015	124	183	97	254
2015 - 2016	180	283	186	484
<b>AMAZONAS Total</b>	<b>846</b>	<b>1.068</b>	<b>525</b>	<b>1.360</b>
<b>PARÁ</b>				
2008 - 2011	1.057	2.090	1.310	1.634
2011 - 2012	522	852	539	774
2012 - 2013	416	560	338	567
2013 - 2014	629	1.091	593	1.024
2014 - 2015	626	1.137	670	943
2015 - 2016	784	1.446	921	1.556
<b>PARÁ Total</b>	<b>4.034</b>	<b>7.175</b>	<b>4.371</b>	<b>6.498</b>
<b>Total Geral</b>	<b>4.880</b>	<b>8.243</b>	<b>4.896</b>	<b>7.858</b>

Fonte: Do autor (2020).

Conforme a Tabela 5, considerando os anos de 2011 a 2016, nota-se a clara tendência de aumento na taxa anual de desmatamento no Amazonas. No período 2008-2016, como já discutido anteriormente, as propriedades privadas foram responsáveis por grande parte do desmatamento, onde as grandes propriedades somaram 1.360 km<sup>2</sup>, o que representa 16% da área total desflorestada no estado do Amazonas. As pequenas propriedades são, na sequência, o outro tamanho de propriedade que mais desmataram, com 1.068 km<sup>2</sup>. No Pará, considerando os anos de 2011 a 2016, percebe-se a tendência de aumento na taxa anual de desmatamento, porém com oscilação importante no período de 2012-2013, ou seja, logo após



a aprovação do novo código florestal, que trouxe como principal ferramenta o CAR (NEPSTAD et al., 2014). Ainda sobre o Pará as pequenas propriedades seguidas das grandes propriedades se sobressaíram com 7.175 km<sup>2</sup> e 6.498 km<sup>2</sup>, equivalente a 24% e 22% da área total desmatada, respectivamente. Ao observar o somatório para os dois estados as pequenas propriedades têm a taxa mais elevada, com uma área de 8.423 km<sup>2</sup>, sendo 19% do desmatamento total.

Observa-se ainda na Tabela 5, que no Amazonas, dentre as propriedades privadas, as médias propriedades apresentaram menor taxa de desmatamento, com uma área de 525 km<sup>2</sup>, ou seja, 7% da área total desmatada no estado. No Pará foram os minifúndios que menos desmataram, com uma taxa de 11% da área total. No somatório para os dois estados, os minifúndios e as médias propriedades apresentam áreas de desmatamentos parecidos, 4.880 km<sup>2</sup> e 4.896 km<sup>2</sup>.

No Amazonas, em média 77% da área total dos minifúndios é vegetação nativa e as taxas de desmatamentos equivalem a 13% de sua área. As pequenas propriedades também apresentam em média 69% de sua área total composta por vegetação nativa, e desmataram nos últimos anos o equivalente a 11% de sua área, as médias propriedades têm em média 86% de sua área de vegetação nativa e desmatamentos iguais a 5% da área total, e as grandes propriedades possuem em média 77% de sua área de vegetação nativa e tiveram 8% da área total de desmatamentos. No Pará, os minifúndios apresentam em média 41% de sua área de vegetação nativa e desmataram o equivalente a 16% de sua área. Nas pequenas propriedades, em média 41% de sua área é vegetação nativa, e ocorreram desmatamentos iguais a 12% do seu tamanho. As médias propriedades possuem em média 50% de sua área em vegetação nativa, e ocorreram desmatamentos no equivalente 7% de sua área total, e as grandes propriedades tem em média 53% de sua área de vegetação nativa, e nos últimos anos desmataram uma taxa de 3% de sua área.

Observa-se que as propriedades do Amazonas apresentam uma maior área de vegetação nativa se comparadas às propriedades do Pará, demonstrando uma maior concentração de seus recursos. E ao olhar para os dados gerais de taxas médias de desmatamentos em relação ao tamanho do imóvel, nota-se que estas foram maiores em minifúndios e pequenas propriedades no Amazonas, coincidindo com os resultados apresentados anteriormente, já no Pará, foram maiores em pequenas e médias propriedades, isto aconteceu porque ao agrupar as taxas de desmatamentos em classes, outras propriedades sobressaíram (minifúndios e pequenas), mas ao olhar para os dados gerais, estas apresentaram uma taxa significativa de desmatamento em relação ao seu tamanho.

As propriedades que apresentaram maiores taxas de desmatamentos no período 2008-2016 para os dois estados foram às pequenas (8.243 km<sup>2</sup>) e as grandes propriedades (7.858 km<sup>2</sup>). E as propriedades que mais desmataram proporcionalmente ao tamanho de sua área foram os minifúndios e as pequenas propriedades em ambos estados. Isto reforça a hipótese de que os desmatamentos ocorridos em menores propriedades são pequenos em área, mas o acúmulo destes gera um valor significativo. E apesar das maiores propriedades desmatarem menores áreas em relação a sua área total, os desmates se tornam maiores e mais significativos.

Segundo Assunção et al. (2012) grandes propriedades estão mais sujeitas às condições do mercado internacional, com as taxas de desmatamentos variando conforme o preço de *commodities*. Além de serem alvos de fiscalização do poder público, por serem mais capitalizadas (ARAUJO et al., 2009). Nas pequenas propriedades as estratégias de uso do solo se relacionam com a estrutura familiar e fatores de mercado tradicionais, como acesso a mercados (ALDRICH et al., 2006).

Segundo alguns estudos as grandes e médias propriedades foram responsáveis pela maioria da retirada de cobertura florestal na Amazônia (FEARNSIDE, 2005; WALKER et al., 2000). Conforme Richards & Vanwey (2015), que identificaram que 40% do desmatamento total entre 2001-2012 no Mato Grosso foi em grandes propriedades (maior que 1.000 ha), que possuem 80% do estoque florestal remanescente e 4% foram em pequenas propriedades. Godar et al. (2014) encontrou resultados similares ao analisar toda Amazônia, onde 51% dos desmatamentos ocorridos no mesmo período foram em grandes propriedades (maior que 500 ha) e 12% em pequenas propriedades (menor que 100 ha), no entanto os autores sugerem que menores propriedades têm aumentado suas taxas de desmatamento. O estudo realizado por L'Roe et al. (2016) resultou em uma taxa de 59% de desmatamentos em pequenas propriedades no Pará. Nota-se uma variação nos resultados encontrados em diversos estudos, isto se deve à metodologia utilizada, por exemplo, a classificação do tamanho da propriedade.

### **4.3 Análise da perda de biomassa e carbono causados pelo desmatamento**

O desmatamento contribui com 6-17% das emissões antrópicas globais de CO<sub>2</sub> para a atmosfera (VAN DER WERF et al., (2009). O Brasil e a Indonésia contêm 35% do carbono total armazenado nas florestas tropicais e produzem as maiores emissões da perda florestal (HANSEN et al. (2010). Assim, Tabela 6 é a combinação de dados de biomassa de vegetação

lenhosa viva acima do solo com os dados de desmatamentos analisados neste estudo para estimar o quanto de carbono foi emitido nos desmatamentos ocorridos de 2008-2016.

Tabela 6 - Total de biomassa de vegetação lenhosa viva acima do solo, estoque de carbono e CO<sub>2</sub> perdidos.

<b>Estado</b>	<b>Período</b>	<b>Biomassa (Tg)</b>	<b>Carbono (Tg)</b>	<b>CO<sub>2</sub> Equivalente (Tg)</b>
Amazonas	2008-2011	1,93	0,96	3,53
Amazonas	2011-2012	0,40	0,20	0,74
Amazonas	2012-2013	0,80	0,40	1,48
Amazonas	2013-2014	1,09	0,55	2,00
Amazonas	2014-2015	1,26	0,63	2,30
Amazonas	2015-2016	2,34	1,17	4,29
<b>Amazonas Total</b>		<b>7,83</b>	<b>3,91</b>	<b>14,35</b>
Pará	2008-2011	6,64	3,32	12,17
Pará	2011-2012	2,77	1,38	5,07
Pará	2012-2013	1,91	0,95	3,50
Pará	2013-2014	3,84	1,92	7,03
Pará	2014-2015	3,70	1,85	6,79
Pará	2015-2016	5,49	2,75	10,07
<b>Pará Total</b>		<b>24,35</b>	<b>12,17</b>	<b>44,63</b>
<b>Total Geral</b>		<b>32,17</b>	<b>16,09</b>	<b>58,98</b>

Fonte: Do autor (2020).

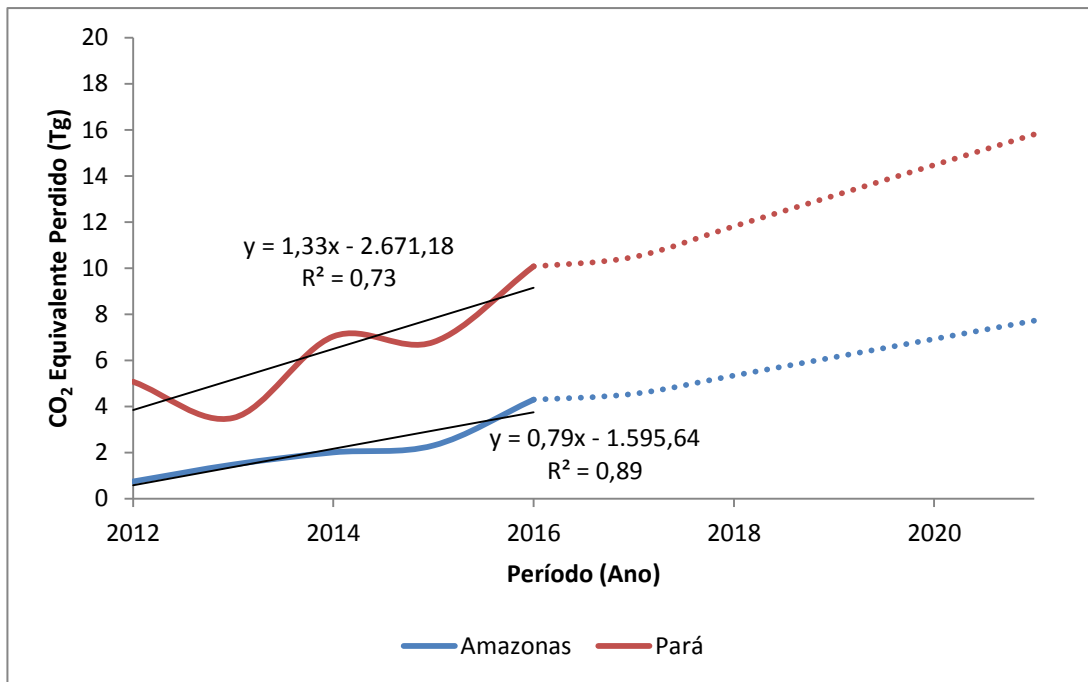
O ano de 2008-2011 apresenta uma média anual de perda de biomassa 0,64 Tg, 0,32 Tg de Carbono e 1,18 Tg de CO<sub>2</sub> equivalente no estado do Amazonas, já no estado do Pará a média anual de perda para 2008-2011 foram de 2,21 Tg de biomassa, 1,10 Tg de Carbono e 4,05 Tg de CO<sub>2</sub> equivalente. Observa-se que as emissões de carbono apresentaram tendências semelhantes às áreas de desmatamentos no período de 2012-2016, em que no Amazonas as taxas de emissões foram crescentes anualmente para todo o período, já no Pará houve variações com quedas no período de 2012-2013. O período que apresentou maior perda de carbono foi 2015-2016, com uma perda de 7,83 Tg de biomassa e uma liberação total de 14,36 Tg de CO<sub>2</sub> equivalente, que também foi o período que ocorreu maior área desmatada. O Pará desmatou uma área 3,44 vezes maior que o Amazonas, o que ocasionou uma perda de 3,11 vezes maior de carbono, isto demonstra que a emissão de carbono está diretamente relacionada a áreas desmatadas.

A média por polígono de desmatamento foi de 237,81 Mg de biomassa, 118,9 Mg de carbono e 435,99 Mg de CO<sub>2</sub> no Amazonas, e 172,0 Mg de biomassa, 86,0 Mg de carbono e 315,33 Mg de CO<sub>2</sub> equivalente no Pará. Observa-se que a média por polígono de desmatamentos no Pará foi menor que no Amazonas, isto pode estar relacionado ao tipo de vegetação existente, por exemplo, o “Arco do Desmatamento”, localizado em áreas de

florestas de transição de menor biomassa do que em outras áreas que apresentam menor interferência de fatores externos, como no Amazonas que apresenta florestas densas e fechadas. Grande parte dos desmatamentos encontrados neste estudo estão distribuídos em áreas de fronteiras já consolidadas no Pará, onde o histórico de ocupação é diferente do Amazonas.

Utilizando os resultados aqui encontrados na série histórica de 2012-2016, projetou-se a quantidade de CO<sub>2</sub> equivalente emitidos pelas áreas desmatadas para os anos seguintes, através da identificação da linha de tendência. (Figura 17).

Figura 19 - CO<sub>2</sub> Equivalente emitido (Tg, linha sólida) e estimativa da quantidade de CO<sub>2</sub> Equivalente (Tg, linha tracejada) derivados de áreas desmatadas por ano, nos estados do Amazonas e Pará.



Fonte: Do Autor (2020).

Observa-se que a tendência da quantidade de CO<sub>2</sub> equivalente em ambos os estados é crescente. Conforme a projeção realizada, a quantidade de carbono equivalente perdido no Amazonas irá dobrar a estimativa no ano de 2022, com 8,51 Tg, já no Pará o dobro da estimativa ocorrerá em 2025, com 21,11 Tg, sendo posterior por estar diretamente relacionada ao tamanho da área desmatada. A média anual de crescimento da quantidade de carbono equivalente será de 0,36 Tg no Amazonas e 1,33 Tg no Pará. Ao analisar para a atualidade, segundo as estimativas, o Amazonas irá alcançar a quantidade de carbono equivalente emitido em 2020 no Pará (14,47 Tg), no ano de 2029.

As estimativas para biomassa e carbono apresentaram a mesma tendência que o Carbono Equivalente, demonstrando uma taxa crescente anual de biomassa de 0,43 Tg no Amazonas e 0,73 Tg no Pará, e de carbono foram 0,22 Tg no Amazonas e 0,36 Tg no Pará.

A Tabela 7 representa a distribuição da quantidade de biomassa, carbono e CO<sub>2</sub> equivalente, perdidos pelas áreas desmatadas no período de 2008-2016 nos tipos de propriedades existentes no estado do Amazonas e Pará.

Tabela 7 - Distribuição da quantidade (Tg) de biomassa, carbono e CO<sub>2</sub> Equivalente nos tipos de propriedades existentes nos estados em estudo.

<b>Estado</b>	<b>Tipo de propriedade</b>	<b>Biomassa (Tg)</b>	<b>Carbono (Tg)</b>	<b>CO<sub>2</sub> Equivalente (Tg)</b>
<b>Amazonas</b>				
	Assentamentos	1,81	0,91	3,32
	Privadas	2,99	1,49	5,48
	Protegidas	0,88	0,44	1,62
	Públicas	1,67	0,83	3,05
<b>Amazonas Total</b>		<b>7,35</b>	<b>3,68</b>	<b>13,48</b>
<b>Pará</b>				
	Assentamentos	7,14	3,57	13,09
	Privadas	15,02	7,51	27,53
	Protegidas	1,79	0,90	3,28
	Públicas	2,99	1,49	5,48
<b>Pará Total</b>		<b>26,94</b>	<b>13,47</b>	<b>49,39</b>
<b>Total Geral</b>		<b>34,29</b>	<b>17,14</b>	<b>62,86</b>

Fonte: Do Autor (2020).

As propriedades privadas foram responsáveis por 53% (9% no Amazonas e 44% no Pará) das emissões de CO<sub>2</sub> equivalente em ambos estados no período de 2008-2016, seguidas pelos assentamentos com uma emissão de 26% do total, também foram às áreas onde ocorreram as maiores taxas de desmatamentos.

O Amazonas apresenta um estoque de carbono 1,5 vezes maior que o Pará, com 999 Tg e 650 Tg, respectivamente, distribuídos nos diversos tipos de propriedades existentes. A maior concentração desse estoque de carbono se encontra em áreas protegidas com 58% (34% no Amazonas e 24% no Pará). E a menor concentração no Amazonas se encontra em assentamentos com 3% do total, já no Pará as áreas públicas apresentaram a menor concentração de estoque de carbono, com 2% do total. Observa-se que o Pará possui uma pequena área pública (6%), já o Amazonas tem 25% de sua área total de áreas públicas, estas detêm 27% do estoque total de carbono do estado, isto demonstra a importância da destinação de florestas públicas. As propriedades privadas possuem 17% (7% no Amazonas e 10% no

Pará) do estoque de carbono total. Nota-se que apesar do Pará possuir uma maior concentração de áreas de propriedades privadas (38%) que o Amazonas (17%), estas possuem um estoque de carbono relativamente baixo. Isto pode estar relacionado ao tipo de vegetação nativa e ao uso do solo existentes nas propriedades.

No Amazonas a média de emissões de CO<sub>2</sub> equivalente foi de 394,35 Mg por polígono de desmatamento ocorrido em propriedades privadas e 402,75 Mg por fragmento de desmate ocorrido em assentamento. No Pará foi 303,65 Mg por desmates ocorridos em propriedades privadas e 323,71 Mg por desmatamentos em assentamentos. A vegetação nativa existente nas propriedades privadas apresentou como média para o Amazonas 507,36 Mg de CO<sub>2</sub> equivalente, e no Pará a média foi 372,66 Mg. Nota-se que as médias encontradas de CO<sub>2</sub> equivalente são baixas tanto para os desmatamentos ocorridos quanto para vegetação nativa existente no Pará, se comparada com o Amazonas. Isto está relacionado com o estágio da vegetação nativa presente na área, como o Pará apresenta um histórico de ocupação diferente do Amazonas, com maiores fronteiras de desmatamentos, a vegetação nativa existente tende a ser a de transição, com uma menor biomassa, e no Amazonas muitas áreas ainda não foram adentradas, permanecendo intactas.

Como as propriedades privadas foram os responsáveis pela maior quantidade de carbono emitido, foi necessário entender a distribuição por classe de tamanho. No Amazonas, os desmatamentos ocorridos nas grandes propriedades emitiram 1,17 Tg de CO<sub>2</sub> equivalente no período de 2008-2016 devido aos desmatamentos, as pequenas propriedades vêm em segundo com 0,87 Tg de CO<sub>2</sub> equivalente, em seguida, os minifúndios com 0,64 Tg e as médias propriedades com 0,47 Tg. No Pará as pequenas propriedades apresentaram uma emissão de 4,96 Tg de CO<sub>2</sub> equivalente, em seguida as grandes com 4,33 Tg, as médias com 3,18 Tg e os minifúndios com 2,54 Tg. As grandes foram responsáveis por um total de 5,5 Tg de CO<sub>2</sub> equivalente e as pequenas por 5,83 Tg. Observa-se que as classes de tamanho que mais ocorreram desmatamentos também foram as que mais emitiram CO<sub>2</sub> equivalente, devido a esses desmatamentos. Ao olhar para os dados gerais a diferença entre essas classes foi de 0,5 Tg.

Os maiores estoques de carbono estão localizados em grandes propriedades, que possuem 68% (33% do Amazonas e 35% do Pará) do estoque total das propriedades privadas. Nota-se que apesar do Amazonas possuir um número 7 vezes menor de grandes propriedades, as taxas possuem valores relativos próximos, isto acontece devido ao uso e a vegetação nativa existentes nessas propriedades.

## 5 CONCLUSÃO

O aumento da resolução espacial melhora a capacidade de monitorar áreas desmatadas anteriormente não detectadas, já que estas estão sofrendo uma tendência de diminuição da área dos polígonos, como estratégia dos proprietários, e pequenas áreas acumuladas apresentam um valor significativo. Além disso, a tendência dos desmatamentos apresentou-se crescente, e quanto maior a resolução, maior será a detecção de desmates próximos do real.

Grande parte dos desmatamentos ocorridos entre 2008-2016 foram no estado do Pará, isto se deve ao histórico de ocupação e logística espacial, em que presume-se que rodovia é o maior “motivador” para o desmatamento, em função da facilidade de escoamento Pará apresenta maior presença de rodovias, já no Amazonas, há maior presença de hidrovias, dificultando a retirada de madeira ilegal.

As propriedades privadas foram os maiores responsáveis pelo desmatamento no período 2008-2016. Os assentamentos vêm em segundo como os agentes que mais desmataram; em seguida as áreas públicas e por fim as áreas protegidas, demonstrando que há um nível de conservação efetivo.

No Amazonas e Pará, ao relacionar os desmates com o tamanho do imóvel, as menores propriedades privadas foram maioria, como são áreas pequenas, a disponibilidade de área para uso também é menor, onde há a necessidade de abertura de clareiras, sendo necessária maior atenção. As maiores propriedades podem apresentar maior disponibilidade de área para uso, por isso ocorrem menores desmatamentos, mas apesar disso, os desmates quando proporcionados ao tamanho do imóvel são mais significativos. O mesmo ocorreu nos assentamentos para ambos estados, os maiores desmataram pequenas áreas, e ao comparar com a vegetação nativa existente apresentaram maior conservação de seus recursos naturais. Já os menores tendem a desmatar maiores áreas, o equivalente a metade dos remanescentes de vegetação das propriedades, podendo estar relacionado ao aumento de disponibilidade de área para uso próprio.

As grandes propriedades foram as que mais desmataram no Amazonas no período 2008-2016. Já no Pará, as pequenas propriedades foram responsáveis pela maior área desmatada. De modo geral, as pequenas propriedades apresentam a taxa mais elevada de áreas de desmatamentos.

Os desmatamentos ocorridos 2008-2016 foram responsáveis pela emissão de 58,98 Tg de gases do efeito estufa. A média por polígono de desmatamentos no Pará foi menor que no Amazonas, isto pode estar relacionado ao tipo de vegetação existentes, que sofrem influencia

dos ecossistemas, as áreas que concentraram grande parte dos desmates neste estudo, está em áreas de florestas de transição de menor biomassa do que em outras áreas, mas como o Pará desmatou uma área maior que o Amazonas, o acúmulo ocasionou uma emissão de 3,11 vezes maior de carbono equivalente. Os responsáveis pelas maiores taxas de emissão foram as propriedades privadas, especificamente as grandes e as pequenas com emissão de 5,55 Tg e 5,83 Tg de CO<sub>2</sub> equivalente, respectivamente, e os assentamentos com 26% do total emitido. As maiores concentrações de estoque de carbono estão em áreas protegidas.

Os dados de sensoriamento remoto com maior resolução espacial e grau de detalhes, combinados com o SICAR e outros dados de malha fundiária, são ferramentas promissoras para identificação da distribuição e tendência dos desmatamentos que ocorrem na Amazônia, assim, pode-se direcionar as políticas que visem à redução destes. E permitirá maior refinamento das estimativas de emissão de carbono florestas tropicais. Espera-se que este estudo influencie outros trabalhos futuros sobre o desmatamento na Amazônia Legal Brasileira, para que possa servir de auxílio para diretrizes de políticas fundiárias a fim da redução dos desmatamentos.



## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, G. V. **Novo código florestal brasileiro: ilustrado e de fácil entendimento.** Vitória: Ed do Autor, 2015. 313 p.

ALENCAR, A. A., et al. **Landscape fragmentation, severe drought, and the new Amazon forest fire regime.** *Ecological Applications*, 25, p. 1493–1505, 2015.

ALLEGRETTI, M. H. **Extractive reserves: an alternative for reconciling development and environmental conservation in Amazonia.** In: ANDERSON, A. D. (Ed.), *Alternatives to deforestation: Steps toward sustainable use of Amazonian rain forest.* New York: Columbia University Press, 1990. p. 252–264.

ALLIX-GARCIA, J. et al. **Avoided deforestation linked to environmental registration of properties in the Brazilian Amazon.** *Conservation Letters*, v. 11, n. 3, e12414, 2018.

ANTUNES, P. de B. **Direito ambiental.** Rio de Janeiro: Editora Lúmen Júris, 2000.

ARRAES, R. A.; MARIANO, F. Z.; SIMONASSI, A. G. **Causas do Desmatamento no Brasil e seu ordenamento no contexto mundial.** *RESR*, Piracicaba - SP, vol.50, nº1, p.119-140, jan/mar. 2012

ARIMA, E. Y. et al. **Public policies can reduce tropical deforestation: Lessons and challenges from Brazil.** *Land use policy*, v. 41, p. 465-473, 2014.

ASNER, G.P. et al. **Condition and fate of logged forests in the Brazilian Amazon.** *Proceedings of the National Academy of Sciences (USA)*, v. 103, p.12947–12950, 2006.

ASSUNÇÃO, J.; GANDOUR, C.; ROCHA, R. **DETERring deforestation in the Brazilian Amazon: environmental monitoring and law enforcement.** *Climate Policy Initiative*, p. 1-36. 2013.

ASSUNÇÃO, J.; GANDOUR, C.; ROCHA, R. **Deforestation slowdown in the Legal Amazon: prices or policies?** *CPI*. Rio de Janeiro: [s.n.]. 2012.

AZEVEDO, A. et al. **Cadastro ambiental rural e sua influência na dinâmica do desmatamento na Amazônia Legal.** *Boletim Amazônia em Pauta*, n. 3., p. 1-16, 2014.

AZEVEDO-RAMOS, C., & MOUTINHO, P. **No man’s land in the Brazilian Amazon: Could undesignated public forests slow Amazon deforestation?** *Land Use Policy*, 73(January), 125–127, 2018.

AZEVEDO-RAMOS, C.. **Lawless land in no man’s land: The undesignated public forests in the Brazilian Amazon.** *Land Use Policy*, v. 99, p. 104863, 2020.

BACCINI, A. G. S. J. et al. **Estimated carbon dioxide emissions from tropical deforestation improved by carbon-density maps.** *Nature climate change*, v. 2, p. 182–185, 2012.

BARRETO, P. **Aplicação da lei de crimes ambientais pela Justiça Federal no setor florestal do Pará.** 2014. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/profile/Paulo\\_Barreto3/publication/275961278\\_Aplicacao\\_da\\_lei\\_de\\_crimes\\_ambientais\\_pela\\_Justica\\_Federal\\_no\\_setor\\_florestal\\_do\\_Para/links/554ba47f0cf21ed2135a2365.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Paulo_Barreto3/publication/275961278_Aplicacao_da_lei_de_crimes_ambientais_pela_Justica_Federal_no_setor_florestal_do_Para/links/554ba47f0cf21ed2135a2365.pdf)>. Acesso em: 21 fev. 2019.

BARROSO, L. A.; ALENCAR, G. V. D. **O Cadastro Ambiental Rural (CAR) como instrumento de regularização ambiental em assentamentos de reforma agrária.** Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade, v.1, n.1, p. 5-13, 2014.

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

BIERREGAARD, R. O. **Lessons from Amazonia: the ecology and conservation of a fragmented forest.** New Haven: Yale University Press, 2001.

BONAN, G. B. **Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of forests.** Science, v. 320, n. 5882, p. 1444–1449, 2008.

BORGES, L. A. C.; REZENDE, J. L. P.; PEREIRA, J. A. A. **Evolução da Legislação Ambiental no Brasil.** Rama: Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, v.2, p. 447-466, 2009.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. **Senado Federal. Lex: Legislação federal e marginaia**, 1988. Disponível em: <[https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/52535193/Constituicao\\_e\\_o\\_Supremo\\_-\\_Versao\\_Completa\\_\\_\\_\\_STF\\_-\\_Supremo\\_Tribunal\\_Federal.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1553381753&Signature=J4Jcs63UhxABLRfrsQzbY%2BW7qV8%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DCONSTITUICAO\\_DA\\_REPUBLICA\\_FEDERATIVA\\_DO.pdf](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/52535193/Constituicao_e_o_Supremo_-_Versao_Completa____STF_-_Supremo_Tribunal_Federal.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1553381753&Signature=J4Jcs63UhxABLRfrsQzbY%2BW7qV8%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DCONSTITUICAO_DA_REPUBLICA_FEDERATIVA_DO.pdf)>. Acesso em: 20 fev. 2019.

BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de Maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 25 de maio 2012.** Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112651.htm)>. Acesso em: 21 fev. 2019.

BRASIL. Lei nº 12.727, de 17 de Outubro de 2012. Altera a Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012, que dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; e revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001, o item 22 do inciso II do art. 167 da Lei nº 6.015, de 31 de dezembro de 1973, e o § 2º do art. 4º da Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 17 de out. 2012.** Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/112727.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/112727.htm)>. Acesso em: 21 fev. 2019.

BRASIL. Lei nº 4.504, de 30 de Novembro de 1964. Dispõe sobre o Estatuto da Terra, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 30 de nov. 1964**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L4504.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4504.htm)>. Acesso em: 20 fev. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano de Ação para prevenção e controle do desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm): 3ª fase (2012–2015)** pelo uso sustentável e conservação da Floresta. Brasília, DF, 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/areas-protegidas/sistema-nacional-de-ucs-snuc>>. Acesso: em 21 fev. 2019.

BRASIL. **Medida Provisória Nº 910, DE 10 DE DEZEMBRO DE 2019**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2019/Mpv/mpv910.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2019/Mpv/mpv910.htm)> Acesso em: 10 set 2020.

BRASIL. **LEI Nº 11.516, DE 28 DE AGOSTO DE 2007**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/11516.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/11516.htm)> Acesso em: 11 set 2020.

BRASIL. **LEI Nº 7.735, DE 22 DE FEVEREIRO DE 1989**. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/17735.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/17735.htm)> Acesso em: 11 set 2020.

BRIENEN, R. J. W. et al. **Long-term decline of the Amazon carbon sink**. *Nature*, v. 519, n. 7543, p. 344–348, 2015.

BRONDIZIO, E. S.; MORAN, E. F. **Level-dependent deforestation trajectories in the Brazilian Amazon from 1970 to 2001**. *Population and Environment*, v. 34, n. 1, p. 69–85, 2012.

BROOKS, T. M. et al. **Habitat Loss and Extinction in the Hotspots of Biodiversity/Pérdida de Hábitat y Extinciones en Áreas Críticas para la Biodiversidad**. *Conservation Biology*, v. 16, n. 4, p. 909–923, 2002.

BROWN, D. S.; BROWN, J. C.; BROWN, C. **Land occupations and deforestation in the Brazilian Amazon**. *Land Use Policy*, v. 54, p. 331–338, 2016.

CARRERO, G. C.; FEARNSIDE, P. M. **Forest clearing dynamics and the expansion of landholdings in Apuí, a deforestation hotspot on Brazil’s Transamazon Highway**. *Ecology and Society*, v. 16, n. 2, 2011.

CASTRO, E. **Dinâmica socioeconômica e desmatamento na Amazônia**. *Nova Economia*, v. 8, n. 2, p. 5–39, 2005.

COX, P. M. et al. **Acceleration of global warming due to carbon-cycle feedbacks in a coupled climate model**. *Nature*, v. 408, n. 6809, p. 184–187, 2000.

DAILY, G. C., et al. **Ecosystem services: benefits supplied to human societies by natural ecosystems**. *Issues in Ecology*, n. 2, p. 2–16, 1997.

DE AZEVEDO, T. R.; TOCANTINS, M. A. C. **Instrumentos econômicos da nova proposta para a gestão de florestas públicas no Brasil.** Megadiversidade, v. 2, n. 1-2, 2006.

DE CASTRO, V. V. **Fatores que influenciam a gestão de recursos hídricos de áreas edificadas: o caso da região amazônica.** 2012. 187p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2012.

DEFRIES, R. S. et al. **Carbon emissions from tropical deforestation and regrowth based on satellite observations for the 1980s and 1990s.** Proceedings of the National Academy of Sciences (USA), v. 99, p. 14256–14261, 2002.

DEMSETZ, H. **Toward a Theory of Property Rights.** American Economic Review, v. 57, p. 347–59, 1967.

DIXON, R. K. et al. **Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems.** Science, v. 263, n. 5144, p. 185–190, 14 jan. 1994.

DUCHELLE, A. E., et al. **Linking forest tenure reform, environmental compliance, and incentives: lessons from REDD+ initiatives in the Brazilian Amazon.** World Development, v. 55, p. 53-67, 2014.

EULER, A. M. **O acordo de Paris e o futuro do REDD+ no Brasil.** Cadernos Adenauer, XVII, n. 2, p. 85–104, 2016.

FAO - Food and Agriculture Organization. **Global Forest Statistics (2016).** 2016. Disponível em: <<http://data.worldbank.org/indicator/>>. Acesso em: 11 mar 2019.

FEARNSIDE, P. M. **Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates, and consequences.** Conservation biology, 2005.

FEARNSIDE, P.M. **Desmatamento na Amazônia: Dinâmica, Impactos e Controle.** Revista Acta Amazônica, vol.36, n.3, p.395-400, 2006.

FEARNSIDE, P. M. **Extractive reserves in Brazilian Amazonia: an opportunity to maintain tropical rain forest under sustainable use.** BioScience, v. 39, p. 387–393, 1989.

FERREIRA, J. et al. **Towards environmentally sustainable agriculture in Brazil: challenges and opportunities for applied ecological research: towards sustainable agriculture in Brazil.** Journal of Applied Ecology, v. 49, p. 535–54, 2012.

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

FIORILLO, C. A. P.; FERREIRA, R. M. **Comentários ao “Código” Florestal.** São Paulo: Editora Saraiva, 2017.

FOLEY, J. A. et al. **Global Consequences of Land Use.** Science, v. 309, p. 570-574, 2005.

- FUNAI - Fundação Nacional do Índio. **Terras Indígenas, o que é?**. Disponível em: <<http://www.funai.gov.br/index.php/nossas-acoes/demarcacao-de-terras-indigenas>>. Acesso em: 23 fev. 2019.
- GAMA, J. R. V. et al. **Comparação entre florestas de várzea e de terra firme do Estado do Pará**. Revista *Árvore*, v. 29, n. 4, p. 607-616, 2005.
- GAZONI, J. L.; MOTA, J. A. **Fatores Político-Econômicos do Desmatamento na Amazônia Oriental**. Revista *Sustentabilidade em Debate*, vol.1, n.1, p. 25-42, 2010
- GEDNEY, N.; VALDES, P. J. **The effect of Amazonian deforestation on the northern hemisphere circulation and climate**. *Geophysical Research Letters*, v. 27, n. 19, p. 3053–3056, 2000.
- GIL, J.; SIEBOLD, M.; BERGER, T. **Adoption and development of integrated crop-livestockforestry systems in Mato Grosso, Brazil**. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 199, p. 394–406, 2015.
- GODAR, J. et al. **Actor-specific contributions to the deforestation slowdown in the Brazilian Amazon**. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 112, n. 23, p. E3089–E3089, 2014.
- GRIMALDI, M. et al. **Ecosystem services of regulation and support in Amazonian pioneer fronts: searching for landscape drivers**. *Landscape Ecology*, v. 29, n. 2, p. 311-328, 2014.
- HANSEN, M. C. et al. **Comparing annual MODIS and PRODES forest cover change data for advancing monitoring of Brazilian forest cover**. *Remote Sensing of Environment*, v. 112, n.10, p. 3784-3793, 2008.
- HANSEN, M. C. et al. **High-Resolution Global Maps** of. *Science*, 342(November), 850–854, 2013.
- HARDIN, G. **The Tragedy of the Commons**. *Science*, v. 162, p. 1243–1247, 1968.
- HARRIS, N. L. et al. **Baseline map of carbon emissions from deforestation in tropical regions**. *Science*, v. 336, n. 6088, p. 1573-1576, 2012.
- HECK, E.; LOEBENS, F.; CARVALHO, P. D. **Amazônia indígena: conquistas e desafios**. *Estudos Avançados*, v. 19, n. 53, p. 237-255, 2005.
- HOJAS-GASCON, L.; HUGH, E. **Developing methods for monitoring forests degradation in Tanzania using fine spatial resolution RapidEye data**. Joint Research Centre, European Commission, Ispra, Italy, 2014.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades do Brasil**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/>>. Acesso em: 26 fev. 2019.
- IBGE. **Brasil em Números [Brazil in figures]** - 2017. v. 10, p. 376, 2017

INCRA - Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Assentamentos**. 2013. Disponível em: <<http://www.incra.gov.br/assentamento>>. Acesso em: 23 fev. 2019.  
 INCRA. **Classificação dos imóveis rurais**. Disponível em <<http://www.incra.gov.br/tamanho-propriedades-rurais>>. Acesso em 21 nov 2019.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **DETER-B**. Disponível em: <[http://www.inpe.br/cra/projetos\\_pesquisas/deterb.php](http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/deterb.php)>. Acesso em: 22 out. 2019.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **INPE aprimora sistema de alerta de desmatamento na Amazônia**. Disponível em: <[http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=4172](http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=4172)>. Acesso em: 22 out. 2019.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **INPE e Serviço Florestal firmam parceria para monitorar concessões**. Disponível em: <[http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod\\_Noticia=2250](http://www.inpe.br/noticias/noticia.php?Cod_Noticia=2250)>. Acesso em: 22 out. 2019.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Projeto Prodes: monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite**. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>>. Acesso em: 22 out. 2019.

IPAM. **Área Maior do que a região sul está a mercê do desmatamento ilegal na Amazônia**. Disponível em: <<https://ipam.org.br/area-maior-do-que-a-regiao-sul-esta-a-merce-do-desmatamento-ilegal-na-amazonia>>. Acesso em 22 Ago 2020.

IPAM. **35% do desmatamento na Amazônia é grilagem**. Disponível em: <<https://ipam.org.br/35-do-desmatamento-na-amazonia-e-grilagem-indica-analise-do-ipam/>>. Acesso em: 22 Ago 2020.

IPCC (2007). **Climate Change 2007: Synthesis Report**. New York: Cambridge University Press

KENGEN, S. **A Política florestal brasileira: uma perspectiva histórica**. In: SIMPÓSIO IBERO-AMERICANO DE GESTÃO E ECONOMIA FLORESTAL, 1, 2001, Porto Seguro. Anais... Porto Seguro, BA: [S. n.], 2001. p. 18-34.

KINDERMANN, Georg et al. **Global cost estimates of reducing carbon emissions through avoided deforestation**. Proceedings of the National Academy of Sciences, v. 105, n. 30, p. 10302-10307, 2008.

KISHINAMI, R.; WATANABE JUNIOR, S. **Quanto o Brasil precisa investir para recuperar 12 milhões de hectares de florestas?** Sumário executivo. 2016.

KLINGLER, M.; MACK, P. **Post-frontier governance up in smoke? Free-for-all frontier imaginations encourage illegal deforestation and appropriation of public lands in the Brazilian Amazon**. Journal of Land Use Science, v. 15, n. 2-3, p. 424-438, 2020.

KRÖGER, M. **Inter-sectoral determinants of forest policy: the power of deforesting actors in post-2012 Brazil**. Forest Policy and Economics, v. 77, p. 24–32, 2017.

- L'ROE, J. et al. **Mapping properties to monitor forests: Landholder response to a large environmental registration program in the Brazilian Amazon.** *Land Use Policy*, v. 57, p. 193-203, 2016.
- LE TOURNEAU, F. M.; DROULERS, M. **Colonisation agraire au Roraima: anciennes configurations et nouvelles stratégies.** *Annales de Géographie*, n. 621, p. 550-570, 2001.
- LIVERMAN, D. M.; CUESTA, R. M. R. **Human interactions with the Earth system: people and pixels revisited.** *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, p. 33, n.9, p. 1458-1471, 2008.
- LOBO, F. D. L. **Distribution of artisanal and small-scale gold mining in the Tapajós River Basin (Brazilian Amazon) over the past 40 years and relationship with water siltation.** *Remote Sensing*, v. 8, n. 7, 579, 2016.
- LOCH, C.; ERBA, D. A. **Cadastro técnico multifinalitário rural e urbano.** Cambridge: Lincoln Institute of Land Policy, 2007. 142p.
- LUDEWIGS, T. et al. **Agrarian Structure and Land-cover Change Along the Lifespan of Three Colonization Areas in the Brazilian Amazon.** *World Development*, v. 37, n. 8, p. 1348-1359, 2009.
- LUNETTA, R. S. et al. **Impacts of imagery temporal frequency on land-cover change detection monitoring.** *Remote Sensing of Environment*, v. 89, n. 4, p. 444–454, 2004.
- MAGALHÃES, J. P. **A evolução do direito ambiental no Brasil.** São Paulo: Ed. Juarez de Oliveira, 2002.
- MAPBIOMAS. **Plataforma Alerta MapBiomias.** Disponível em: <<https://plataforma.alerta.mapbiomas.org/estatisticas>>. Acesso em 22 Ago 2020.
- MARGULIS, S. **Causas do desmatamento na Amazônia Brasileira.** 1ª edição, 100p., Brasília, 2003.
- MAROSTICA, S. T. **Projetos REDD+ e o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 15: o caso Florestal Santa Maria.** 2016. 113p.
- MARRA, T., BARBOSA, K., & OLIVEIRA, E. **Brazil towards an effective cadastre with sigef.** FIG Working Week 2015, (May 2015), 17–21, 2015.
- MASLIN, M. et al. **New views on an old forest: Assessing the longevity, resilience and future of the Amazon rainforest.** *Transactions of the Institute of British Geographers*, v. 30, n. 4, p. 477–499, 2005.
- MATRICARDI, E. et al. **Multi-temporal assessment of selective logging in the Brazilian Amazon using Landsat data.** *International Journal of Remote Sensing*, v. 28, p. 63–82, 2007.
- MEYER, W. B.; TURNER, B. L. II. **Changes in land use and land cover: a global perspective.** Cambridge: Cambridge University Press, 1994. 549 p.

MINISTERIO DE DEFESA; **Exercito Brasileiro** ; Amazônia. Disponível em: <<https://www.eb.mil.br/amazonia>>. Acesso em 22 Ago 2020.

MONTIBELLER, B. et al. **Increasing fragmentation of forest cover in Brazil's Legal Amazon from 2001 to 2017**. Scientific reports, v. 10, n. 1, p. 1-13, 2020.

MURITIBA, M. J. S.; ALENCAR, C. M. M. D. **Luta pela terra, reforma agrária e neoliberalismo**. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 45, 2007. Anais... Londrina, PR: [S. n.], 2007.

NAUGHTON-TREVES, L.; WENDLAND, K. **Land tenure and tropical forest carbon management**. World Development, v. 55, p.1-6, 2014.

NEPSTAD, D. et al. **The End of Deforestation in the Brazilian Amazon**. Science, v. 326, n. 5958, p. 1350–1351, 2009.

NOBRE, A. D. **O futuro climático da Amazônia: relatório de avaliação científica**. São José dos Campos: ARA: CCST-INPE: INPA, 2014.

NUMATA, I. et al. **Carbon emissions from deforestation and forest fragmentation in the Brazilian Amazon**. Environmental Research Letters, v. 6, n. 4, 044003, 2011.

OLIVEIRA, C. D. C. **Análise da cobertura do solo das APP ao longo de um trecho não represado do Rio Grande**. Floresta e Ambiente, 2018. No prelo.

PASQUIS, R.; et al.. **“Reforma agrária” na Amazônia: balanço e perspectivas**. Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília, v. 22, n. 1, p. 83-96, jan./abr. 2005

PEDLOWSKI, M. A. et al. **Conservation units: A new deforestation frontier in the Amazonian state of Rondônia, Brazil**. Environmental Conservation, v. 32, n. 2, p. 149-15, 2005.

PELEJA, J. R. P.; MOURA, J. M. S. **Estudos Integrativos da Amazônia**. São Paulo: Acquerello, 2012. 320p.

PERES, C. A.; SCHNEIDER, M. **Subsidized agricultural resettlements as drivers of tropical deforestation**. Biological Conservation, v. 151, n. 1, p. 65–68, 2012.

PRAES, E. O. **Código florestal brasileiro: evolução histórica e discussões atuais sobre o novo código florestal**. In: COLÓQUIO INTERNACIONAL “EDUCAÇÃO E CONTEMPORANEIDADE”, 6, 2012. Anais... São Cristóvão, SE, 2012.

RAJÃO, H. et al. **Monitoring birds in the Atlantic Forest: A proposal for the Brazilian protected areas**. Natureza e Conservação, v. 12, n. 1, p. 86–88, 2014.

RANKIN, J. M. **Forestry in the Brazilian Amazon**. In: PRANCE, G. T.; LOVEJOY, T. E. Key environments: Amazonia. Oxford: Pergamon, 1985. p. 369–392.



REIS, M. S. **Uma definição técnico-política para o aproveitamento racional dos recursos florestais da Amazonia brasileira**. Brasília: PRODEPEF; IBDF, 1978.

RICHARDS, P.; VANWEY, L. **Farm-scale distribution of deforestation and remaining forest cover in Mato Grosso**. *Nature Climate Change*, v. 6, p. 418–425, 2016.

RICHARDS, P. et al. **“Are Brazil's Deforesters Avoiding Detection?”**. *Conservation Letters*. 2016.

RIVEIRO, S. et al. **Pecuária e desmatamento: Uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia**. *Nova Economia*, v.19. n.1, p 41-66, 2009.

ROGAN, J.; CHEN, D. **Remote sensing technology for mapping and monitoring land-cover and land-use change**. *Progress in Planning*, v. 61, n. 4, p. 301–325, 2004.

ROITMAN, I., et al. **Rural Environmental Registry: An innovative model for land-use and environmental policies**. *Land Use Policy*, 76: 95-102. 2018,

SAMPAIO, R. **Direito Ambiental: doutrina e casos práticos**. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2011.

SANTANA, P; LEUZINGER, M.. **A atuação das forças armadas, do ministério público e da polícia militar na proteção ambiental no Brasil**. *Cadernos de Dereito Actual*, v. 1, n. 13, p. 132-153, 2020.

SATHLER, D.; MONTE-MÓR, R. L.; CARVALHO, J. A. M. de. **As redes para além dos rios: urbanização e desequilíbrios na Amazônia brasileira**. *Nova economia*, v. 19, n. 1, p. 11-39, 2009.

SCHNEIDER, M.; PERES, C. A. **Environmental costs of government-sponsored agrarian settlements in Brazilian Amazonia**. *PloS one*, v. 10, n. 8, p. e0134016, 2015.

SERRA, M. A., & FERNANDEZ, R. G. **Perspectivas de desenvolvimento da Amazônia: motivos para o otimismo e para o pessimismo**. *Economia e Sociedade*, 13(2), 23. 2004.

SICAR - Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural. **O que é o CAR?**. Disponível em: <<http://www.car.gov.br/#/sobre>>. Acesso em: 22 fev. 2019.

SILVA, J. A. A. et al. **O Código Florestal e a Ciência: contribuições para o diálogo**. São Paulo: SBPC, 2011. 124p.

SINGH, A. **Review Article Digital change detection techniques using remotely-sensed data**. *International Journal of Remote Sensing*, v. 10, n. 6, p. 989–1003, 1989.

SOARES-FILHO, B. et al. **Cracking Brazil's forest code**. *Science*, v. 344, n. 6182, p. 363–364, 2014.

SOARES-FILHO, B. S. **Impacto Da Revisão Do Código Florestal: Como Viabilizar O Grande Desafio Adiante?** 2013. Disponível em:

<[https://www.socioambiental.org/sites/blog.socioambiental.org/files/nsa/arquivos/artigo-codigo-florestal\\_britaldo\\_soares\\_sae\\_2013pdf.pdf](https://www.socioambiental.org/sites/blog.socioambiental.org/files/nsa/arquivos/artigo-codigo-florestal_britaldo_soares_sae_2013pdf.pdf)>. Acesso em: Acesso em: 24 fev. 2019.

SOUZA JR, C. M. et al. **Ten-year Landsat classification of deforestation and forest degradation in the Brazilian Amazon**. *Remote Sensing*, v.5, n.11, p. 5493-5513, 2013.

SPAROVEK, G., et al. **Who owns Brazilian lands?** *Land Use Policy*, 87(March), 104062. 2019.

SUFRAMA. **Amazonas**. Disponível em : <<http://www.suframa.gov.br/publicacoes/potencialidades/amazonas>>. Acesso em: 20 Ago 2020.

UFLA. Universidade Federal de Lavras (LEMAF). **Projeto Base Suporte Sicar**. 2018

VERÍSSIMO, et al... **Áreas Protegidas na Amazônia Brasileira: avanços e desafios** (p. 87). Belém/São Paulo: Imazon e ISA. 2011

WATKINS, J.; GRIFFITHS, G. **Forest destruction and sustainable agriculture in the Brazilian Amazon: a literature review**. Reading: Department of Geography, University of Reading, 2000. (Geographical papers, n. 144).

WOOD, C.; WALKER, R. **Tenure security, investment decisions and resource use among small farmers in the Brazilian Amazon**. p. 1–34, 2000.

WRIGHT, J. S. **Plant diversity in tropical forests: a review of mechanisms of species coexistence**. *Oecologia*, v. 130, n.1, p. 1-14, 2002.

ZAKIA, M. J. B.; DERANI, C. **Situação Jurídica das Florestas Plantadas**. In: LIMA, W. P.; ZAKIA, M. J. B. *As florestas plantadas e a água: Implementando o conceito da microbacia hidrográfica como unidade de planejamento*. São Carlos: RiMa, 2006. p. 171–184.