



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

## Análise temporal da extração seletiva e fogo na região nordeste do Pará e Sudoeste do Maranhão, Brasil

Estudante: Lucas Silva Brandão

Matrícula: 11/0129466

RG: 3366108 SSP-PI

Orientador: Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Departamento de  
Engenharia Florestal da Universidade  
de Brasília, como parte das exigências  
para obtenção do título de Engenheiro  
Florestal.

Brasília- DF, 28 de novembro de 2018.

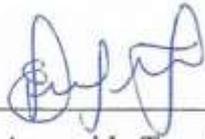
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Análise temporal da extração seletiva e fogo na região  
nordeste do Pará e Noroeste do Maranhão, Brasil

Aluno: Lucas Silva Brandão, Matrícula 11/0129466

Menção: SS

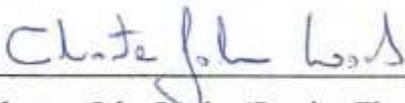
**Banca Examinadora:**



Prof. Dr. Eraldo Aparecido Trondoli Matricardi UnB/ EFL (Orientador)



Prof. Dr. Reginaldo Sérgio Pereira, UnB/ EFL



MSc. Charton Jahn Locks (Serviço Florestal Brasileiro)

Brasília, 28 de novembro de 2018.

## **Agradecimentos**

Ao meu núcleo familiar, Luiz Soares Brandão, Teresinha de Jesus Ferreira da Silva e Lívia Silva Brandão e apoio nesta etapa de minha vida, dando suporte econômico, financeiro e emocional para a construção de minha vida profissional e para meu crescimento pessoal.

Aos meus primos Alana Alves, Ariane Alves, Matheus Alves e demais familiares pelo amor, carinho e consideração.

A minha segunda mãe Raimunda (Zazá) e a minha madrinha Fatinha por fazerem parte da minha infância e contribuírem com a minha criação.

Aos meus professores que com maestria me deu subsídio para construir minha carreira na engenharia. Em especial, ao meu orientador Eraldo Matricardi, por todo o conhecimento, apoio, paciência e, acima de tudo, por ser uma figura de grande importância no meu amadurecimento pessoal e profissional.

Aos meus amigos da UNB, Mariana Nardi, Ana Beatriz Freitas, Barbara Guedes, Graziela Otero, Laís Ernesto, Yasmin Mendes, Juan Batista, Gustavo Barros, Rodrigo Canhedo, André Bahls, Lucas Boldrin, Thabata Pereira, Rodrigo Cardoso por todos os momentos e experiências compartilhadas. Um agradecimento especial para Fernanda Graciano, Mariana Damasco, Ana Liaffa, Renata Diniz, Samara Tokunaga, Barbara Salvio, Gabriel Postiglioni.

Aos amigos que moraram ou foram presentes no dia a dia da comunidade do abacateiro, Lucas Tuffas, Felipe Abreu, Eulina Marques, Ricardo Padué, Tainá Forthmann, Nanci Cravinho, Rebeca Nepomuceno e João Victor.

Aos amigos de Teresina, Francisco Júnior, Bernard Anderson, Arthur Moraes, Jose Ribamar, Pedro Victor, pelo companheirismo de toda uma vida, em especial Valmir Filho, Priscila Couto, Renan de Caldas e Luiza Carvalho.

A Difusão ambiental, pela experiência profissional na reta final de curso e proporcionar um ambiente de trabalho leve e descontraído, ao lado do Édipo Fernandes, Fernanda Palhares, Danilo Guimarães, Eduardo Horowitz, Renato Lobo, João Vieira, Henrique Frota e Gustavo Puga.

Ao Beija-Fal pelas mudanças de perspectivas e momentos únicos proporcionado.

A todas as pessoas que passaram pela minha vida, contribuindo de alguma forma para que eu pudesse chegar onde estou hoje.

## Resumo

A Amazônia engloba a maior e mais biodiversa floresta tropical do mundo e possui um grande estoque de recursos naturais. A floresta amazônica oferece vários serviços ambientais, incluindo, dentre outros, a manutenção de carbono a nível global, influência no regime de chuvas em várias regiões, controle de enchentes e a polinização, a nível local. No entanto, o desmatamento tem impactado fortemente esse bioma, impactando negativamente a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos por ele prestados. Entretanto, além do desmatamento, a extração seletiva e a ocorrência do fogo, nesta região, têm provocado grandes danos e o aumento da degradação florestal. Esses três tipos de degradação não têm sido muito estudados pois se tratam de formas de degradação ambiental mais difíceis de serem detectadas por sensores remotos e, por isso, não são devidamente quantificadas nos sistemas de monitoramento desse bioma. Neste trabalho foi analisado quantitativamente e de forma conjunta o desmatamento, a extração seletiva e as áreas impactadas por fogo numa área de estudo localizada no nordeste do Pará e sudoeste do Maranhão entre os anos de 1992 a 2017. Esta área é conhecida como fronteira da ocupação humana na Amazônia, caracterizada por intensos processos de desmatamento e de exploração florestal. Para isso, foram utilizadas imagens do satélite Landsat 5 e 8 e aplicado a classificação semiautomática baseada em análises textural e de mistura espectral. Os resultados obtidos evidenciaram que a área desmatada na região aumentou de 34.746 km<sup>2</sup> para 65.339 km<sup>2</sup> entre 1992 e 2017. As áreas de florestas degradadas por fogo aumentaram de 914 km<sup>2</sup> para 1341 km<sup>2</sup>, as de extração seletiva aumentaram de 2190 km<sup>2</sup> para 6.522 km<sup>2</sup> e as de extração seletiva e fogo simultaneamente aumentaram de 147 km<sup>2</sup> para 1.165 km<sup>2</sup> entre 1992 e 2017. Os processos de degradação florestal por fogo e extração seletiva na área de estudo aumentaram substancialmente no período estudado, ampliando as áreas de florestas impactadas, que vão além das áreas de desmatamento comumente reportadas pelos sistemas de monitoramento ambiental da Amazônia.

**Palavras-chave:** desmatamento, extração seletiva, incêndios florestais, Amazônia, degradação ambiental, sensoriamento remoto.

## **Abstract**

The Amazon rainforest contains the biggest tropical forest, which has a great number of natural resources. This rainforest offers many environmental services such as: global carbon level control, affects the rainfall regime, flood control and pollination in the region. Nevertheless, the deforestation has heavily affected tropical forests by damaging that ecosystems, habitats, and biodiversity. Besides deforestation, selective logging and wild fires have been increasing forest degradation in the Amazon. However, forest degradation has not been extensively addressed because forest canopy degradation can be subtle, and it is hard to detect on remotely sensed data. This study intended to analyze the deforestation, selective logging, and forest fires in the northeast area of Pará and in the southeast area of Maranhão between 1992 and 2017. The study area is known as a new agricultural frontier in the Amazon region, which is characterized by intensive deforestation and selective logging activities. This study was conducted by using Landsat 5 and 6 imagery and semi-automated classification technique based on textural and spectral unmixing analysis. The results of this research showed that the deforested area increased from 34746 km<sup>2</sup> and 65339 km<sup>2</sup> between 1992 and 2017. The total degraded forests by fires increased from 914 km<sup>2</sup> to 1341 km<sup>2</sup>, the selectively logged forests increased from 2190 km<sup>2</sup> to 6,522 km<sup>2</sup>, and the selectively logged and burned forests combined increased from 147 km<sup>2</sup> to 1,165 km<sup>2</sup> between 1992 and 2017. Therefore, those processes of forest degradation by fire and selective logging substantially increased in the study area and period, which expanded areas of forests impacted outright deforestation commonly reported by the Amazon environmental monitoring systems.

**Key-words:** deforestation, forest fires, selective logging, environmental degradation, Amazon, remote sensing.

## Sumário

\_Toc531963408

1. Introdução.....	4
2. Problema e questões de pesquisa .....	5
3. Objetivos .....	6
3.1 Objetivo geral.....	6
3.2 Objetivos específicos.....	7
4. Revisão bibliográfica.....	8
4.1 Desmatamento.....	8
4.2 Degradação.....	10
4.3 Extração seletiva .....	11
4.4 Sensoriamento Remoto .....	12
4.5 Correção radiométrica e atmosférica.....	13
4.6 Análise Textural.....	14
4.7 Análise de mistura espectral.....	15
5. Material e métodos .....	16
5.1 Área de estudo.....	16
5.2 Base de dados.....	19
5.3 Pré-processamento .....	20
5.4 Processamento dos dados.....	20
6. Resultados e discussão .....	23
7. Conclusão.....	29
8. Referências Bibliográficas .....	31

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo no leste do estado do Pará e no oeste do estado do Maranhão. ....	17
Figura 2 - Mapa de vegetação da área de estudo. ....	18
Figura 3 – Fluxo da primeira etapa para classificação de áreas de extração seletiva de madeiras na área de estudo .....	20
Figura 4 – Fluxograma da segunda etapa da classificação de áreas de extração seletiva de madeiras na área de estudo. ....	21
Figura 5 – Fluxograma da terceira etapa da classificação de áreas impactadas pela extração seletiva de madeiras na área de estudo.....	22
Figura 6- Fluxograma para a análise de mistura espectral para detecção de fogo. ....	22
Figura 7 - Uso e cobertura da terra em 1992, 1996, 1999 e 2003 nas cenas Landsat-8 222/062, 222/063, 223/062, 223/063.....	23
Figura 8 - Uso e cobertura da terra em 2006, 2010, 2014 e 2017 nas cenas Landsat-8 222/062, 222/063, 223/062, 223/063.....	24
Figura 9- (a) evolução do desmatamento em km <sup>2</sup> . (b) Evolução do desmatamento em porcentagem.....	26
Figura 10 - (a) Evolução da extração seletiva e do fogo em km <sup>2</sup> . (b) Evolução da extração seletiva e do fogo em porcentagem. ....	26
Figura 11- Áreas degradadas por extração seletiva e fogo simultaneamente. (a) Área expressa em km <sup>2</sup> . (b) Área expressa em porcentagem. ....	28
Figura 12- Percentual dos remanescentes florestais degradados.....	29

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1- Área desmatada na Amazônia legal .....	9
Tabela 2 - Tipos de vegetação na área de estudo. ....	18
Tabela 3 - Informações técnicas das imagens Landsat.....	19
Tabela 4 – Área das classes de uso da terra na área de estudo entre 1992 e 2017. ....	25

## 1. Introdução

Com aproximadamente 4,1 milhões de km<sup>2</sup>, somente no território nacional (IBGE, 2004), a Amazônia corresponde ao maior bioma brasileiro e também possui a maior floresta tropical do mundo. Além de ser detentora de enormes quantidades de recursos que vão desde commodities tradicionais (minérios, agricultura, pecuária, etc.) até recursos culturais e científicos (FEARNSIDE, 1997), é uma das áreas com maior biodiversidade da Terra.

As florestas tropicais da Amazônia prestam uma gama de serviços ecossistêmicos cruciais para o homem, tanto em escala local (controle de enchentes e polinização, por exemplo) quanto em escala global, como o balanço hídrico da bacia hidrográfica do rio Amazonas, sequestro de carbono a nível global, regulação climática do continente (FOLEY et al., 2007).

Juridicamente a Amazônia Legal foi instituída através da lei nº 1806, de 06/01/1953 composta pelos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins e parte do Estado do Maranhão, com o intuito de planejar o desenvolvimento socioeconômico da região Norte do país. Mas com a evolução política do Brasil a sua área de abrangência foi se modificando, e com a constituição de 1988, foram incluídos os estados do Tocantins, Roraima e Amapá, portanto, seu limite tem um viés sociopolítico e não geográfico. Em outras palavras, esse limite não é definido pelo bioma Amazônia (que ocupa 49% do território nacional) e sim pelas necessidades de desenvolvimento identificadas na região (ECO, 2014).

A área de abrangência da Amazônia Legal corresponde a 5.217.423 km<sup>2</sup>, contendo 3 biomas (Amazônia, Cerrado e Pantanal) e uma alta biodiversidade, como mais de 400 espécies de mamíferos, 1300 espécies de pássaros, 3 mil espécies de peixes além de répteis, anfíbios e insetos. A flora da região é rica, abrigando mais de 30 milhões de espécies vegetais (ECO, 2014).

No século XVI, a exploração madeireira com fins comerciais já era praticada na região. Até a década de 70, a atividade ficou restrita às várzeas do rio Amazonas, principalmente na região do estuário que dominou o setor no período entre 1950 e 1970. Após os anos 70, com a abertura das rodovias BR-010 (Belém-Brasília) e BR-163 (Cuiabá-Santarém), a exploração madeireira se expandiu para as zonas interfluviais de terra firme (GRAÇA, 2006).

O estado do Pará se tornou o principal produtor de madeira amazônica. Este estado era responsável por 45% da produção total de madeira tropical, concentrando 51% das empresas madeireiras e gerando 48% dos empregos da indústria madeireira amazônica. Até 2004, o leste do Pará era o maior polo de produção madeireira do estado. Após esse período, houve um deslocamento para o oeste, devido à redução do estoque de madeira na antiga fronteira madeireira (IMAZON, 2005).

Isso mostra o quão paradoxal é o setor madeireiro da Amazônia. Por um lado, é competitivo e um importante gerador de emprego e renda para a população nortenha. Por outro, possui um caráter migratório e um baixo índice de adoção de manejo florestal, revelando um grave problema do ramo (IMAZON, 2005).

O impacto ambiental causado pela extração seletiva de madeira é responsável pela liberação de carbono para atmosfera, danificação da estrutura vertical e horizontal da floresta, mudança do microclima e aumento da susceptibilidade do ecossistema a incêndios florestais. O fogo é responsável pela morte de indivíduos na floresta, morte do banco de sementes e no banco de mudas, diminuição da resiliência do ecossistema. Apesar disso, apenas o desmatamento vem sendo considerado nos cálculos das estatísticas mais comuns de degradação ambiental (FERREIRA; LAURENCE, 1997; OLIVEIRA et al., 2003; MATRICARDI, 2013; COSTA, 2017).

Esta pesquisa buscou conduzir uma análise espaço-temporal da degradação florestal por fogo, extração seletiva de madeira e desmatamento. A área de estudo está localizada na Amazônia Legal, na fronteira do Pará com o Maranhão, região considerada como fronteira do desmatamento e das atividades florestais envolvendo madeiras nativas. Pretende-se com este estudo contribuir para um melhor entendimento da dinâmica espacial e temporal da degradação florestal causada por eventos de fogo e atividades de extração seletiva de madeiras na Amazônia, possibilitando o aprimoramento das atividades de monitoramento ambiental na região de estudo.

## **2. Problema e questões de pesquisa**

O desmatamento para agricultura e pecuária são os principais responsáveis pela modificação da paisagem natural na Amazônia, que envolve a conversão de florestas em áreas destinadas a pecuária extensiva e ao cultivo de culturas agrícolas em larga escala. Neste sentido, o Projeto de Monitoramento da Amazônia Legal por Satélite (PRODES),

desenvolvido pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), monitora remotamente o desmatamento e disponibilizada dados das áreas convertidas anualmente na Amazônia.

Além do desmatamento, a floresta Amazônica vem sendo degradada por eventos de fogo e pela exploração seletiva de espécies florestais mais valiosas no mercado. O fogo e a extração seletiva causam impactos diversos na floresta, incluindo a degradação do dossel florestal, a destruição de habitats, emissão de carbono, redução da biodiversidade, dentre outros. A degradação florestal por fogo e extração seletiva pode ocorrer de forma sutil e, por isso, é difícil de ser detectada através do uso de dados e métodos de sensoriamento remoto.

Devido à dificuldade de detecção destes tipos de degradação florestal mais sutil por meio de dados de sensores remotos, o PRODES não inclui em seu monitoramento áreas de florestas exploradas seletivamente e as atingidas por fogo na Amazônia. Como consequência, os dados de monitoramento do bioma Amazônico deixam de considerar esses tipos de impactos na floresta que são expressivos do ponto de vista ambiental e, por isso, deveriam ser devidamente considerados para os diversos fins.

Diante desta problemática, o presente estudo foi norteado pelas seguintes questões: A degradação florestal por fogo e extração seletiva aumentou entre 1992 e 2017? Onde ocorreram na região de estudo? O quanto de área florestal foi degradada por fogo e extração seletiva? Qual a quantidade de área que foi desmatada? Essa área aumentou durante a série temporal?

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo geral**

Analisar uma série espaço-temporal de dados de sensoriamento remoto para quantificar áreas florestais impactadas pela extração seletiva e fogo numa região de estudo no nordeste do estado do Pará e Noroeste do estado do Maranhão entre 1992 a 2017.

### **3.2 Objetivos específicos**

- Quantificar as áreas de floresta nativa atingida por fogo e por atividades de extração seletiva;
- Analisar a espacialidade e temporalidade da ocorrência do fogo e extração seletiva na área de estudo;
- Avaliar o acréscimo dos impactos ambientais na área de estudo comparados ao desmatamento reportado pelo Projeto Prodes.

## **4. Revisão bibliográfica**

### **4.1 Desmatamento**

Existem vários conceitos para desmatamento na literatura. Martins (2008) explana que a retirada de madeira de áreas florestadas não implica, necessariamente, em danos ambientais, sendo uma atividade normal no manejo florestal. Portanto, desmatamento é definido como a mudança intencional do uso do solo florestal para não florestal (urbano, agrícola, etc.).

Lund (1999) define desmatamento com base nos pontos de vista do uso da terra e da cobertura da terra. Considerando o primeiro ponto, desmatamento seria a mudança de uso da terra florestal para outro uso, independente da remoção de cobertura arbórea. Considerando o segundo ponto, desmatamento seria a remoção da cobertura arbórea, podendo ser por causas naturais ou antrópica.

Kaimowitz e Angelsen (1998) descrevem desmatamento como situações de remoção completa, a longo prazo, da cobertura arbórea. Em alguns casos são abordadas questões relacionadas a perda de biomassa, comprimento de pousio reduzido e outros tipos de degradação florestal.

O maior responsável por grande parte do desmatamento, na Amazônia, é a pecuária, principalmente a de média e grande escala, por ser altamente rentável do ponto de vista privado (as taxas de retorno são maiores que a da pecuária tradicional) (MARGULIS, 2003; CASTRO, 2005, apud ARRAES et. al., 2012). Dessa forma, há uma ideia que associa a pecuária às práticas de desenvolvimento da região amazônica, gerando ganhos para a economia brasileira através da diminuição do preço da carne em âmbito nacional e, junto ao aumento das exportações, proporcionam benefícios sociais (ARRAES et. al, 2012).

Todavia, as perdas ambientais são maiores que os benefícios sociais gerados, já que a pecuária é responsável por 75% dos desmatamentos entre 1970 e 1995 (MARGULIS, 2003, apud ARRAES et. al., 2012). Os indicadores sociais e econômicos regionais apontam que a maior parte da renda foi originada nas zonas urbanas e não no meio rural. Portanto, as melhorias nas condições sociais não estariam ligadas aos desmatamentos causados pela pecuária (FERREIRA et. al., 2005, apud ARRAES et. al., 2012). Rivero et. al. (2009) também cita a agricultura de larga escala e a de corte e queima como causas do desmatamento.

“Os processos associados à expansão da pecuária têm se mostrado, portanto, extremamente resilientes; isso se dá não por uma causa única, como a rentabilidade específica da atividade, mas é o resultado da interação complexa de múltiplas causas” (PIKKETY et.al., 2003; RODRIGUES, 2004, apud RIVERO, 2009). Para Rivero et. al. (2009), tais causas estão associadas ao baixo nível de investimento necessário para sua implantação, a liquidez da atividade e a simplicidade relativa dos processos produtivos.

A taxa de desmatamento na Amazônia legal está diminuindo. De agosto de 2016 para julho de 2017, o PRODES mapeou uma área desmatada por corte raso equivalente a 6624 km<sup>2</sup>. Se comparado ao ano anterior, onde foram apurados 7893 km<sup>2</sup> desmatados, isso significa uma redução de 16%. Em relação a 2004, representa uma redução de 76% (INPE, 2017).

Para o PRODES desmatamento é a “remoção completa da cobertura florestal primária por corte raso, independente da futura utilização dessas áreas”. São utilizadas imagens de satélite Landsat ou similares para registrar e quantificar áreas desmatadas maiores que 6,25 hectares.

Na Tabela 1 encontra-se a área desmatada por estado na Amazônia legal para os anos de 2016 e 2017 e a variação entre os anos.

**Tabela 1-** Área desmatada na Amazônia legal

Estados	PRODES 2016 (km <sup>2</sup> )	PRODES 2017 (km <sup>2</sup> )	Variação (%)
Acre	372	244	-34
Amazonas	1129	965	-15
Amapá	17	31	82
Maranhão	258	237	-8
Mato Grosso	1489	1341	-10
Pará	2992	2413	-19
Rondônia	1376	1252	-9
Roraima	202	115	-43
Tocantins	58	26	-55
Amazônia Legal	7893	6624	-16

**Fonte: INPE (2017)**

## 4.2 Degradação

Degradar consiste em diminuir a qualidade de algo e o processo envolvido para realizar essa ação é chamado de degradação. Portanto “degradação florestal” é o processo de redução da qualidade de terras florestais e “floresta degradada” é o resultado dessa ação. Porém essa definição é muito genérica e não é útil para a continuidade do monitoramento de áreas degradadas. Não existe uma definição operacional acordada na literatura (LUND, 2009). Degradação florestal consiste na redução gradual e a longo prazo da cobertura vegetal devido a exploração madeireira insustentável e ao fogo florestal, influenciando diretamente a emissão de carbono na atmosfera (PINHEIRO, 2015).

Sánchez (2008) define degradação como “qualquer estado de alteração do ambiente e a qualquer tipo de ambiente”. O autor explica que os patrimônios naturais e culturais podem sofrer degradação. Assim como a poluição, a degradação pode ser percebida em diferentes níveis. Vale ressaltar que degradação geralmente tem uma conotação negativa, ligado a perturbações antrópicas.

No caso da degradação com níveis de distúrbios leves, o ambiente pode se recuperar espontaneamente e em pouco tempo. Caso contrário a recuperação espontânea pode acontecer a longo prazo ou até ser impossível. Para que a recuperação ocorra, mesmo que a longo prazo, é necessário a retirada ou a redução da fonte de perturbação. Em suma, a expressão área degradada sintetiza os resultados da degradação dos componentes bióticos (vegetação, fauna) e abióticos (solo, água) do ambiente (SANCHÉZ, 2008).

A degradação florestal (desmatamento, extração seletiva, incêndios, caça, etc.) afeta negativamente aspectos chave do ecossistema, como, por exemplo, a estrutura da floresta em pé e sua resiliência, espécies polinizadoras, a sucessão florestal, a regulação hídrica, a estrutura do solo. Como consequência, bens e serviços ambientais como disponibilidade de lenha, produtos não madeireiros, fixação de dióxido de carbono, regulação climática, qualidade da água regeneração florestal, também são afetados negativamente (CBD, 2002).

### 4.3 Extração seletiva

Uma das principais atividades econômicas da Amazônia, junto a mineração e a agropecuária, é a exploração e o processamento madeireiro. Em 2009, foram detectadas 2.226 empresas madeireiras operando na Amazônia Legal, sendo responsáveis por extrair 14,2 milhões de metros cúbicos de madeira nativa em toras, o que equivale a aproximadamente 3,5 milhões de árvores. Aproximadamente 5,8 milhões de metros cúbicos de madeira processada foram geradas, oriundas da extração de madeira nativa em toras (HUMMEL et. al., 2010)

Dessa produção, 21% é destinado ao mercado externo, enquanto que o restante é destinado a demanda interna. A receita gerada pela exportação madeireira passou de 2,9 para 6,7 bilhões de reais, de 1998 a 2004. Em 2009, a receita decresceu para 4,9 bilhões de reais (HUMMEL et. al., 2010).

A exploração seletiva consiste no desbaste de um grupo de árvores de espécie selecionada, onde as espécies arbóreas mais valiosas são removidas da floresta. As operações de extração removem, geralmente, cerca de 40 a 50% da cobertura de dossel e geram um complexo paisagismo de floresta intacta, clareiras, estradas, pátios de carregamento de madeira e floresta danificada (MATRICARDI et. al., 2010).

Esse tipo de atividade madeireira seletiva afeta o fluxo de carbono da Amazônia. O volume total de madeira colhido da floresta corresponde a um valor entre 10 e 15 milhões de toneladas métricas de carbono (MtC) fixado. Além disso, biomassa seca (galhos, tocos, folhagens e raízes) são deixados para se decompor na área, liberando para a atmosfera dióxido de carbono e aumentando a susceptibilidade do ambiente ao fogo (ASNER et. al., 2005; MATRICARDI et. al., 2010).

Uma análise detalhada do crescimento da indústria madeireira da Amazônia revela um padrão repetido de exploração descuidada e degradação das florestas perto das usinas (JOHNS; BARRETO; UHL, 1996).

A extração de madeira tradicional, aplicada na Amazônia oriental, pode ser considerado uma exploração não planejada que desperdiça madeira e danifica a capacidade produtiva futura da floresta. A seleção das árvores é feita por motosserristas contratados, com pouco conhecimento técnico na área de manejo florestal e silvicultura e pouco treinamento formal em derrubada de árvores. Eles são pagos de acordo com o volume de madeira derrubado por dia. Dessa forma, o trabalhador mais rápido é mais bem

recompensado do que o trabalhador mais cuidadoso (GERWING; JOHNS; VIDAL; 1996).

Quando uma tora é encontrada, ela é derrubada sem que se saiba a localização exata. Dessa forma, os operadores conduzem seus tratores de esteira em direção às clareiras, sem realizar um planejamento prévio da abertura da trilha. Por fim, o arraste das toras não necessariamente são feitos pela trilha recém-aberta (GERWING; JOHNS; VIDAL; 1996).

O motivo por trás desse tipo de exploração é a política de desenvolvimento econômico e social da região norte, onde, para legitimar o uso da terra, os proprietários foram obrigados a “desenvolver” a área florestal. Isso motivou a contratação de equipes madeireiras para limpar até 50% da propriedade para a pecuária (GERWING; JOHNS; VIDAL; 1996).

A princípio, a exploração madeireira é realizada desbastando espécies comercialmente mais valiosas, por via de regra, de maior porte. Em seguida, são desbastadas as espécies menos valiosas e, por fim, são extraídos os indivíduos de menor porte, porém, valiosos. Esse processo se repete até a exaustão dos recursos (GRAÇA, 2006).

#### **4.4 Sensoriamento Remoto**

Sensoriamento remoto foi o cunho dano, na década de 60, para uma das mais bem-sucedidas tecnologias de coleta automática de dados, com o viés de levantar e monitorar os recursos naturais em escala global. Também foi nessa década que o homem foi ao espaço pela primeira vez e teve a oportunidade de tirar as primeiras fotos da superfície terrestre, usando câmeras analógicas. Foram os programas espacial tripulados Mercury, Gemini e Apollo, que garantiram o futuro do sensoriamento remoto (MENESES et. al., 2012).

A GT-4 foi a primeira missão, do programa Gemini, com o objetivo de fotografar a superfície terrestre para estudos geológicos. Devido ao sucesso da missão, o programa Apollo realizou experimentos controlados envolvendo a aquisição de fotografias pancromáticas com filtros verdes, vermelhos e filmes infravermelhos, obtendo a primeira fotografia multiespectral da Terra (MENESES et. al., 2012).

No ano de 1972 foi lançado o primeiro satélite de sensoriamento remoto, o ERTS-1 (renomeada para Landsat 1). O programa americano foi um marco que deu início à era do sensoriamento remoto moderno, influenciando o surgimento de vários outros programas (europeus, canadenses, asiáticos e sul americanos). No Brasil, o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) teve um papel importante na consolidação do sensoriamento remoto, sendo responsável pela formação dos primeiros pesquisadores especializados em sensoriamento remoto e contribuindo para o desenvolvimento de metodologias de interpretação de imagem e processamento digital (MENESES et. al., 2012).

Hoje em dia, os satélites são equipados com sensores hiperspectrais (centenas de bandas) e com resolução espacial menor que 1 metro viabilizando sua aplicação na área de levantamento de recursos naturais e mapeamentos temáticos, monitoração ambiental, detecção de desastres naturais, desmatamento, entre outras (MENESES et. al., 2012).

Considerando o conceito clássico, sensoriamento remoto é “uma técnica de obtenção de imagens da superfície sem que haja um contato físico de qualquer espécie entre o sensor e o objeto” (MENESES et. al., 2012). O conceito clássico estabelece uma base para definir um conceito mais científico do sensoriamento remoto que seria: “ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres” (MENESES et. al., 2012).

#### **4.5 Correção radiométrica e atmosférica**

A classificação ou detecção de mudanças na cobertura terrestre é um dos principais usos do sensoriamento remoto. Porém, as imagens coletadas por satélite são contaminadas pelo espalhamento provocado por gases aerossóis presentes na atmosfera e pela absorção da radiação na superfície terrestre. A correção atmosférica, portanto, consiste na remoção de efeitos atmosféricos, restaurando a refletância da superfície da imagem de sensoriamento remoto (GRAÇA, 2006).

A técnica de subtração dos pixels escuro (DOS), desenvolvida por CHAVES (1988), é um dos métodos mais utilizados em modelos de correção de espalhamento atmosférico, utilizando informações oriundas da própria imagem. O método consiste em

utilizar um objeto escuro (região com projeção de sombra ou um corpo d'água profundo) como alvo da calibração (GRAÇA, 2006).

O método “Chave” supõe que o objeto escuro tem, uniformemente, radiância igual a zero em todas as bandas e medidas diferentes disso podem ser atribuídas ao efeito do espalhamento dentro dos pixels do objeto. A remoção desse efeito é obtida pela subtração de valores de números digitais (ND) para todos os pixels da banda correspondente, considerando que a calibração da radiância do sensor para ND é linear. Contudo, esse método supõe que o espalhamento ocorre de forma uniforme em toda a cena, o que raramente acontece (GRAÇA, 2006).

Apesar da possibilidade dos mecanismos de interação com a superfície e com a atmosfera serem tratados separadamente, uma imagem de satélite é o resultado dos efeitos aditivos e multiplicativos entre eles. Com o intuito de eliminar os efeitos da interferência atmosférica e topográfica sobre os níveis digitais, é realizada a correção radiométrica, tornando possível a aproximação dos dados das características biofísicas dos alvos na superfície (SILVA et. al., 2005).

As técnicas de detecção de mudanças, a partir de dados multitemporais, utilizam imagens de uma mesma área, porém em diferentes condições de aquisição, o que influencia a radiometria das imagens, como, condição de iluminação, propagação atmosférica e a resposta do sensor. Tais fatores dificultam a comparação entre imagens (SCHOT et al., 1988, apud GRAÇA, 2006).

Portanto, se alguma forma de normalização não for adotada, será difícil interpretar mudanças verdadeiras na cena entre duas datas de aquisição, pelo fato delas serem mascaradas por mudanças que não são dependentes da cena. Correções radiométricas são importantes, pelo fato de aproximar o valor do pixel ao valor da radiância medida no local, tornando comparáveis diferentes imagens na mesma cena, em diferentes bandas espectrais ou em diferentes datas (Coppin e Bauer, 1994; Hall et al., 1991, apud GRAÇA, 2006).

## **4.6 Análise Textural**

Na natureza, os alvos do sensoriamento remoto tendem a apresentar uma homogeneidade, dentro de certos espaços, explicando a forte interdependência da vizinhança espacial dos valores de pixel. Tais características podem ser aproveitadas para realçar, seletivamente, detalhes geométricos da imagem, como bordas e limites. O

rompimento dessa interdependência por feições, que não estão associados a limites ou bordas de áreas, são chamados de ruídos. Portanto, as técnicas de filtragem são métodos de transformação da imagem no domínio espacial (depende dos valores de brilho dos pixels vizinhos), buscando reduzir os ruídos e realçar os limites e bordas dos alvos (MENESES et. al., 2012).

A utilização dos filtros de textura tem sido cada vez mais frequente no meio acadêmico, por ser uma técnica mais eficiente e mais acurada para a análise de imagens no sensoriamento remoto. As imagens geradas por esse tipo de processamento têm se mostrado bastante útil em estudos de degradação ambiental (MATRICARDI et. al., 2010; MATRICARDI et. al., 2013; COSTA, 2017).

A textura é uma propriedade que tem um papel importante na percepção na percepção dos alvos, fornecendo informações sobre a distribuição espacial das variações de tonalidade de cinza. Ela se manifesta, geralmente, pela variação de valores digitais (tons, com origem na reflectância e sombras do objeto) (MENESES et. al., 2012). Não há uma definição geral de textura tonal na literatura (REED; DUBUF, 1993, apud MENESES et. al., 2012).

Um dos métodos mais utilizados para a análise textural é a matriz de co-ocorrência, que são: “funções de distribuição de probabilidades conjuntas de ocorrência dos atributos de pares de pixels separados por uma determinada distância em uma direção fixa sobre uma imagem em tons de cinza” (SABINO, 2004, apud MENESES et.al., 2012). Este método baseia-se na abordagem de propriedades estatísticas (média, variância, homogeneidade, contraste, correlação, etc.) de dados espaciais, sendo aplicado na exploração dos recursos naturais, na medicina e, recentemente, no sensoriamento remoto. A textura é um método utilizado para segmentação e classificação da imagem (NASCIMENTO, et al. 2003; SCHWARTS; PEDRINI, 2006, apud MENESES et. al., 2012).

#### **4.7 Análise de mistura espectral**

Em qualquer sensor, sempre haverá detalhes espaciais com dimensões menores do que qualquer campo de visão instantânea de solo (MATRICARDI et. al., 2010). Em outras palavras, a reflectância do pixel de uma imagem Landsat 8 não pode ser interpretada em função de apenas um tipo de cobertura, devido a sua resolução espacial de 30 metros (WULDER; FRANKLIN, 2003, apud COSTA, 2017). A análise de mistura

espectral é um método capaz de estimar as proporções de mistura espacial de cada pixel (RENCZ, 1999, apud MATRICARDI et. al., 2010).

Este método envolve a utilização de técnicas onde as assinaturas espectrais misturadas são comparadas com pixels puros de referência. Esses pixels também são chamados de membros finais, pois, durante a sua coleta em um gráfico de dispersão (onde o eixo x é a banda vermelha e o y é a banda infravermelho próximo), eles são os últimos na nuvem de pixel, garantindo que 100% do IFOV (*Instantaneous Field Of View*) do sensor seja ocupado por apenas um tipo de cobertura (LILLESAND; KIEFER; CHIPMAN, 2004, apud COSTA 2017).

Matricardi et. al. (2010) estimou quatro nuvens de membros finais (vegetação, solo exposto, sombras e vegetação não fotossintetizante) para a detecção de cicatrizes de fogo, com base em classes de materiais de superfície e seis bandas landsat (1-5, 7).

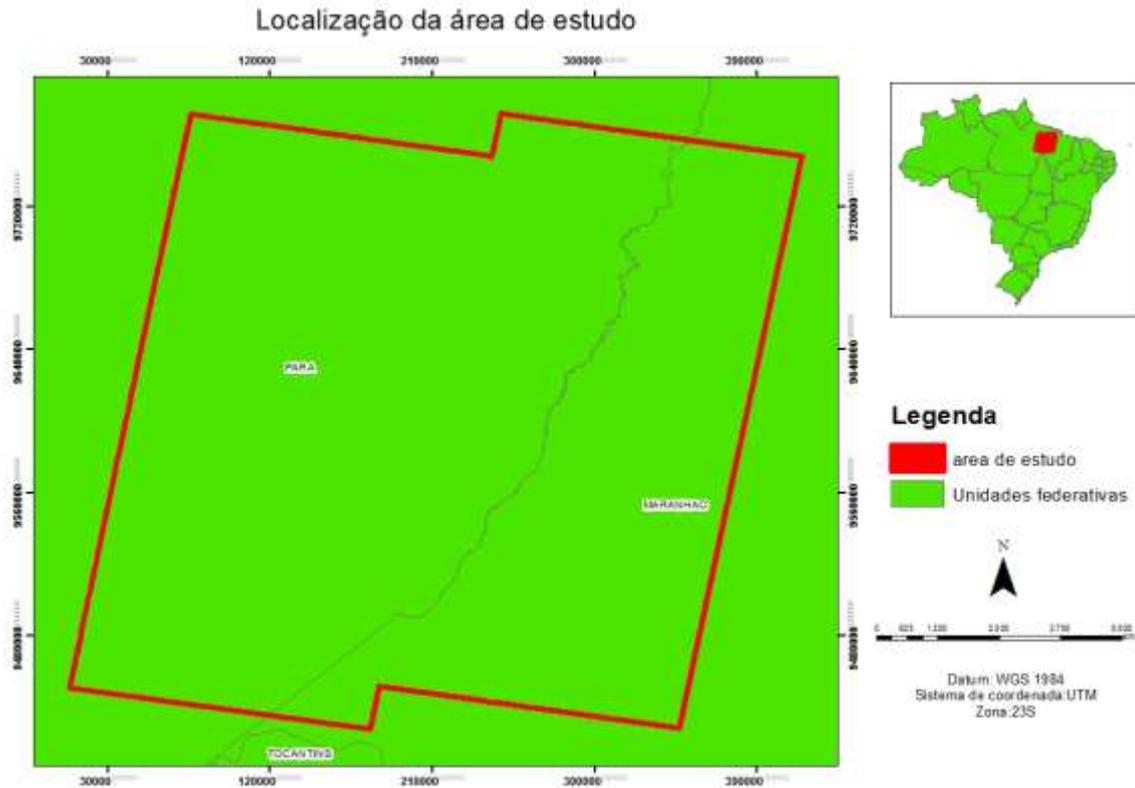
Em estudos multitemporais, a análise de mistura espectral mostrou-se bastante efetiva na geração e imagens frações mais sensíveis as mudanças provocadas pelo fogo e extração seletiva, em ambientes florestais de transição (BARRETO; SOUZA C.M, 2000; SOUZA; ROBERTS; COCHRANE, 2005, apud COSTA, 2017).

Estudos multitemporais da degradação por extração seletiva na Amazônia apontam que o uso do mapeamento a partir do SMA (*Spectral unmixing analysis*) gera imagens frações mais sensíveis às mudanças em ambientes florestais de transição devido a extração seletiva e fogo (BARRETO; SOUZA C.M, 2000; SOUZA; ROBERTS; COCHRANE, 2005, apud COSTA, 2017).

## **5. Material e métodos**

### **5.1 Área de estudo**

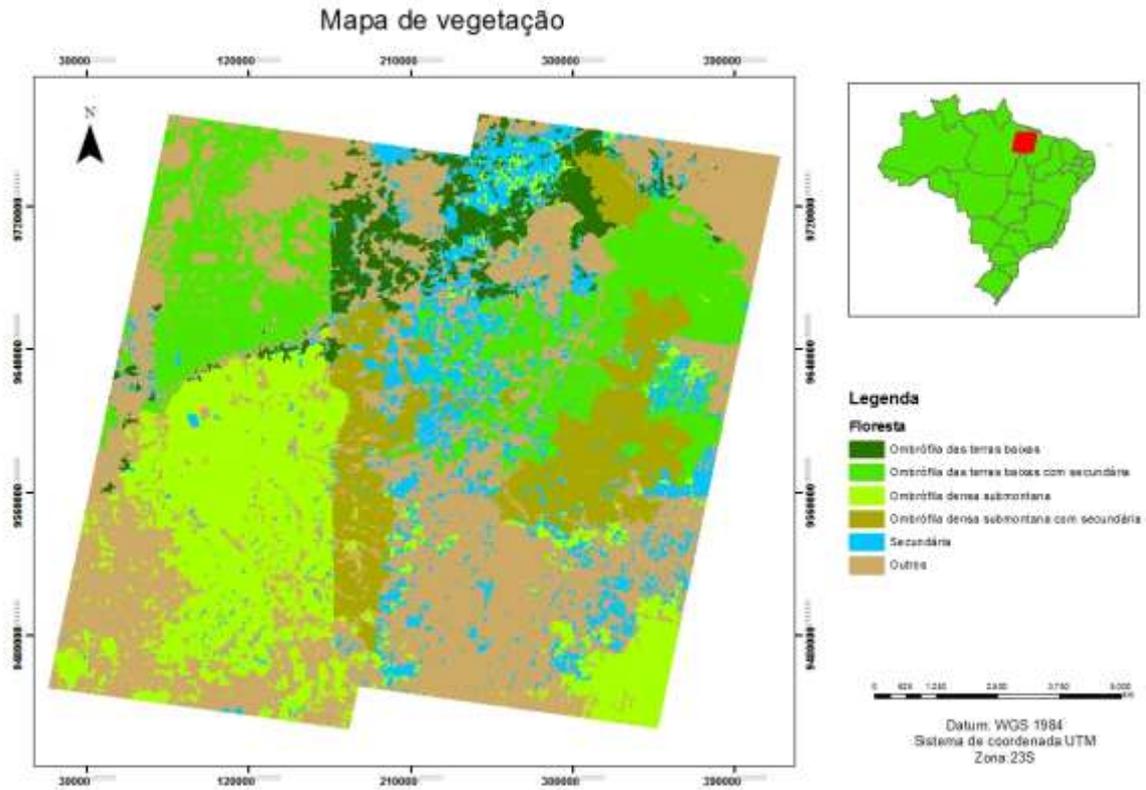
A área de estudo envolveu quatro cenas (Órbitas/Pontos 222/062, 222/063, 223/062 e 223/063) do satélite Landsat-8, correspondendo a 109.891,60 km<sup>2</sup>, situada dentro da Amazônia Legal, na divisa dos estados do Pará e Maranhão, e englobando parte dos municípios de Paragominas, Jacundá, Tomé-açu e Açailândia.



**Figura 1** - Localização da área de estudo no leste do estado do Pará e no oeste do estado do Maranhão.

Segundo a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade, O clima é Aw4 da classificação de Köppen, tropical e chuvoso com temperaturas médias mensais superiores a 18° C e precipitação média variando entre 1500 a 2000 mm por ano. O período chuvoso começa em dezembro, estendendo-se até maio (verão e outono) e o período menos chuvoso começa em junho e termina em novembro (inverno e primavera). Não há estações bem definidas, devido à proximidade ao equador.

A partir de dados geográficos do MMA (2018) os principais tipos de vegetação (Figura 2) encontrados na região foram: Floresta ombrófila densa submontana (Ds), Floresta ombrófila de terras baixas com vegetação secundária (Db+VS), Floresta ombrófila densa submontana com vegetação secundária (Ds+Vs), Floresta secundária (Vs), Floresta ombrófila das terras baixas (Db). Somadas, essas fitofisionomias correspondem a 35,4% do total da área estudada, e nos 64,6% restantes, estão inclusas classes de uso do solo correspondentes a agropecuária, área de cultivo, corpos d'água, desmatamento e outras manchas de vegetação menores (Tabela 2).



**Figura 2** - Mapa de vegetação da área de estudo.

A distribuição das áreas ocupadas por cada tipo de vegetação está discriminada na Tabela 2.

**Tabela 2** - Tipos de vegetação na área de estudo.

Tipo de vegetação	Área (Km <sup>2</sup> )	%
Ds	13150,09	11,9
Db+Vs	12710,73	11,6
Ds+Vs	6855,83	6,3
Vs	3202,87	2,9
Db	2952,16	2,7
Outros	70847,91	64,6
<b>Total</b>	<b>109719,5904</b>	<b>100,0</b>

Vs- Floresta secundária; Ds - Floresta ombrófila densa submontana; Db - Floresta ombrófila das terras baixas.

## 5.2 Base de dados

### Dados de extração seletiva e fogo de 1992 a 2014

Os dados referentes a extração seletiva e fogo de 1992 a 2014 foram fornecidos por MATRICARDI et. al. (2013) e COSTA et. al. (2017). Estes autores utilizaram interpretação visual combinada com métodos semiautomáticos para detecção de impactos causados por extração seletiva de madeira e fogo na Amazônia brasileira.

As áreas de extração seletiva e fogo para 2017 foram desenvolvidas, no contexto desta pesquisa, utilizando a mesma metodologia aplicada por MATRICARDI et. al. (2013) e COSTA et. al. (2017).

### Imagens Landsat de 2017

No presente estudo foram utilizadas de 4 cenas do Landsat- 8, sensor OLI (*Observer Land Imager*), orbitas-ponto 222/062, 222/063, 223/062 e 223/063, baixadas do site na internet do Serviço Geológico Americano (USGS), com as seguintes especificações:

- Resolução espacial: 30 metros
- Resolução radiométrica: 16 bits
- Resolução espectral: 7 bandas
- Projeção WGS\_1984\_UTM\_zone\_22N e WGS\_1984\_UTM\_zone\_23N
- Datum D\_WGS\_1984

A Tabela 3 apresenta os detalhes das imagens obtidas do USGS.

**Tabela 3** - Informações técnicas das imagens Landsat.

Imagem	Data de aquisição	Bandas	Nuvens (%)	Satelite	Fonte
222/062	31/07/2017	1 a 7	< 10	Landsat	USGS
222/063	15/07/2017	1 a 7	< 10	Landsat	USGS
223/062	06/07/2017	1 a 7	< 10	Landsat	USGS
223/063	06/07/2017	1 a 7	< 10	Landsat	USGS

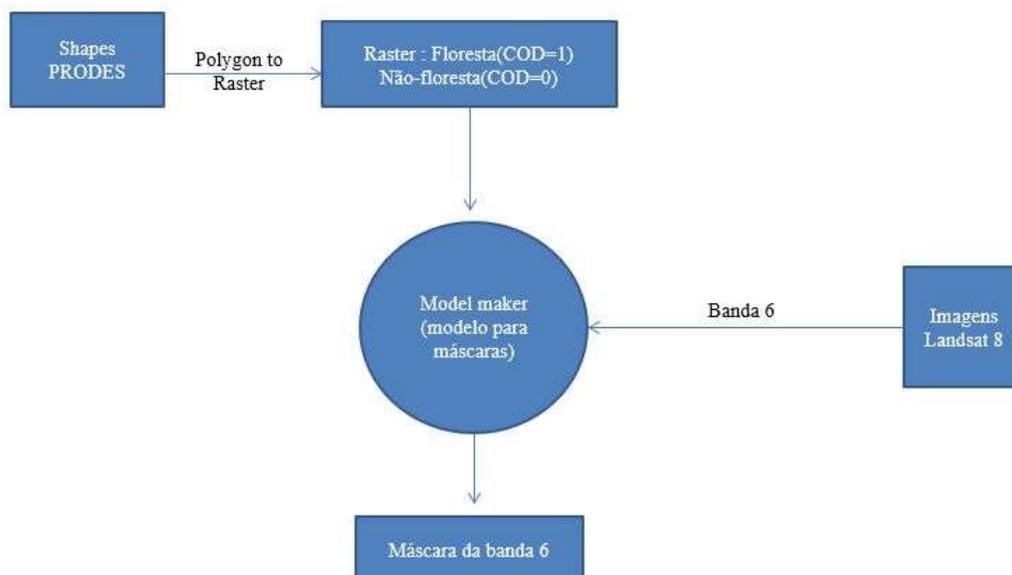
Utilizou-se também arquivos vetoriais produzidos pelo PRODES, referente aos anos de 2003 a 2017. O desmatamento para 1992, 1996 e 1997 foram obtidos do CGCEO (*Center for Global Changes and Earth Observations*). Os dados de desmatamento foram utilizados para fazer máscaras de floresta e não floresta sobre as imagens Landsat, concentrando a análise sobre os remanescentes florestais na área de estudo.

### 5.3 Pré-processamento

As imagens Landsat 8 fornecidas pelo Serviço Geológico Americano (USGS) já se encontravam corrigidas radiometricamente e atmosféricamente, sendo necessário somente alterar a projeção padrão para WGS 1984 UTM 23 S. A mudança de projeção também foi realizada nos arquivos vetoriais gerados pelo PRODES.

### 5.4 Processamento dos dados

Para o processamento dos dados, foi aplicada uma técnica desenvolvida por MATRICARDI et. al. (2013) denominada de análise textural, utilizando os softwares ARCGIS 10.3 e ERDAS® IMAGINE 9.3. A técnica, neste estudo, consistiu em três etapas distintas: a criação de máscaras de floresta-não floresta, a criação de imagens texturais com base na variância e a delimitação dos pátios de extração. Na Figura 3 encontram-se os procedimentos utilizados para gerar as máscaras. Somente as bandas 5 e 6 (*shortwave infrared*) das imagens Landsat 5 e 8, respectivamente, foram utilizadas nessa etapa.



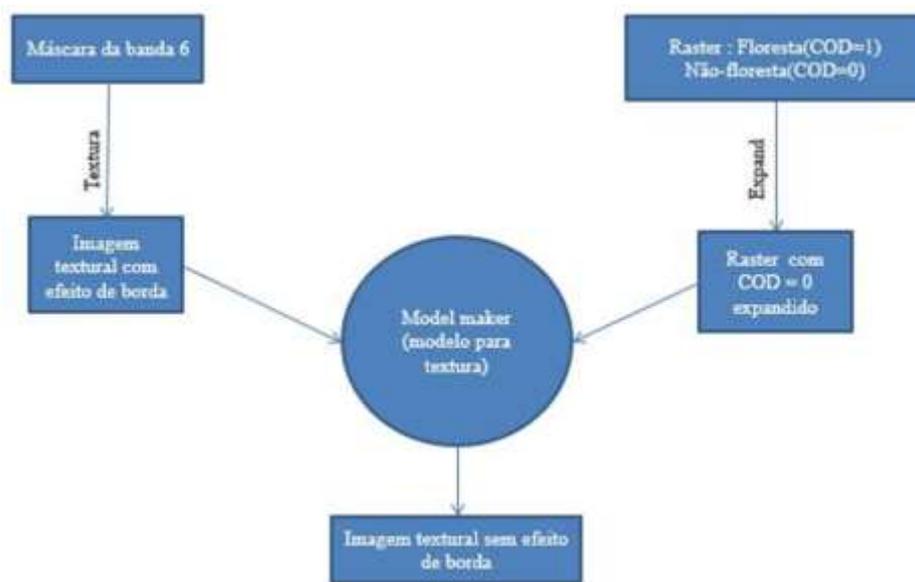
**Figura 3** – Fluxo da primeira etapa para classificação de áreas de extração seletiva de madeiras na área de estudo

Na segunda etapa, foram necessários dois arquivos de entrada no modelo do Erdas: uma imagem textural da máscara da banda seis e um arquivo matricial com os

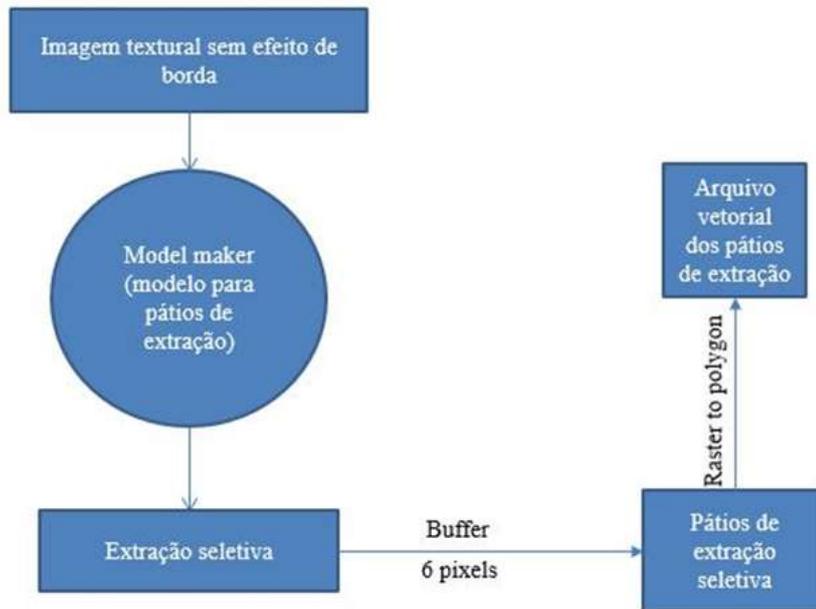
pixels, referentes a áreas não florestadas (COD = 0), expandidos em 3 unidades. O resultado desse tratamento foi uma imagem textural sem efeito de borda.

Durante a terceira etapa, a imagem textural resultante do procedimento anterior foi usada como entrada para gerar arquivos matriciais de extração seletiva. Em seguida, foi utilizado a ferramenta “*majority filter*” para eliminar ruídos. Por fim, foi aplicado um buffer de seis pixels na extração seletiva para gerar um arquivo referente aos pátios de extração.

Pelo fato da análise textural também realçar o relevo, foi necessário transformar os pátios de extração em arquivos vetoriais, com a finalidade de excluir polígonos relacionados a áreas acidentadas. Após esse procedimento, os arquivos foram mosaicados e, em seguida, transformados em *rasters*, gerando o produto final. As Figuras 4 e 5 ilustram as etapas 2 e 3:



**Figura 4** – Fluxograma da segunda etapa da classificação de áreas de extração seletiva de madeiras na área de estudo.



**Figura 5** – Fluxograma da terceira etapa da classificação de áreas impactadas pela extração seletiva de madeiras na área de estudo.

Para a classificação do fogo, foi utilizado a análise de mistura espectral, com base na metodologia adotada por MATRICARDI et. al. (2010). As imagens geradas pela análise foram transformadas em polígonos para realização de ajustes na classificação. A Figura 6 detalha o procedimento.

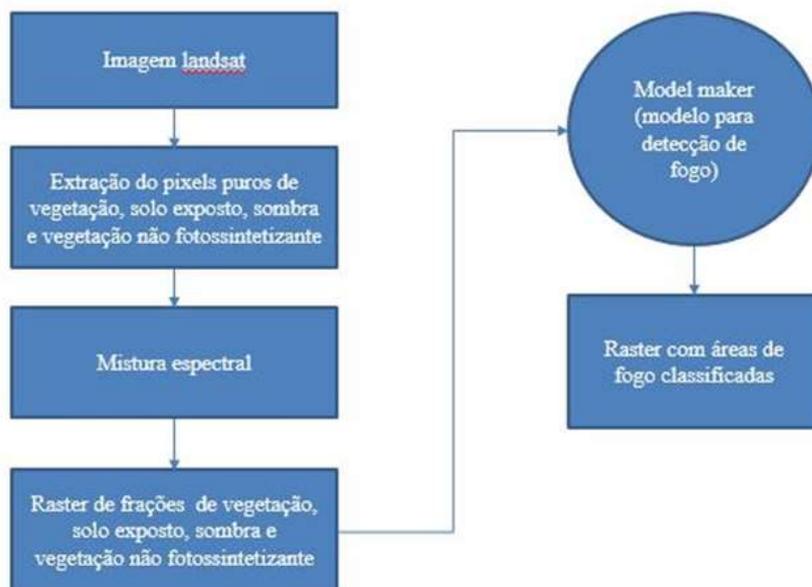
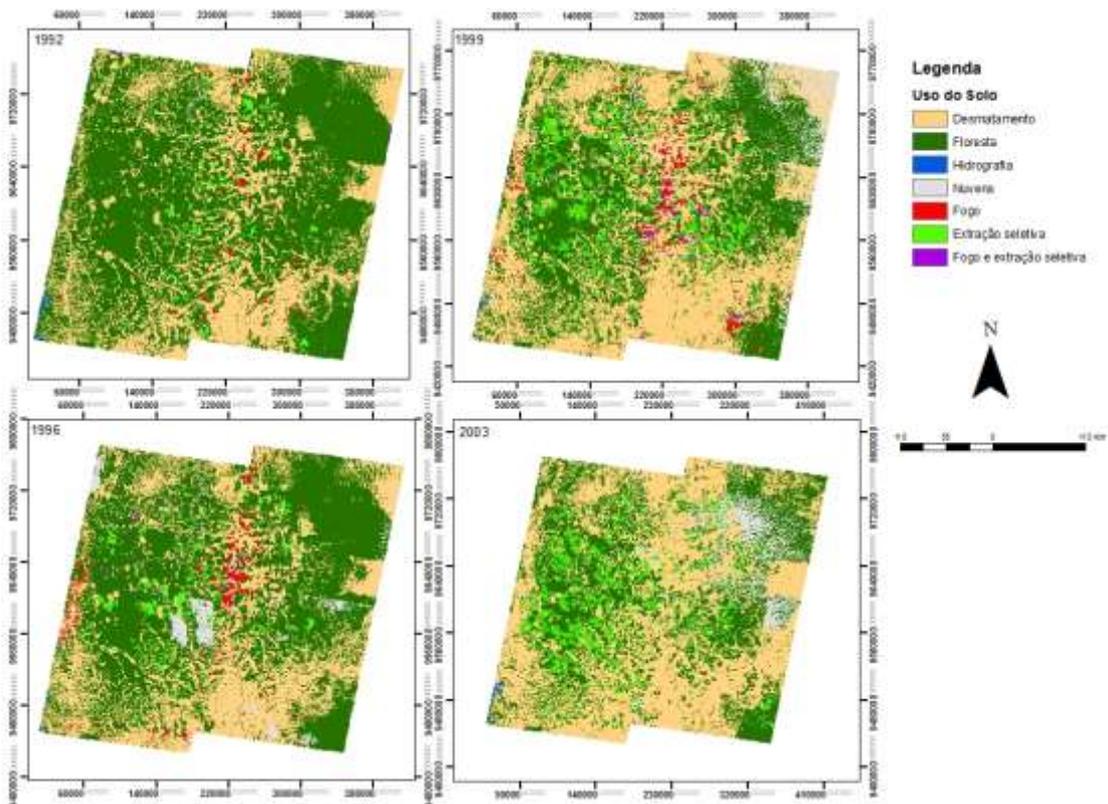


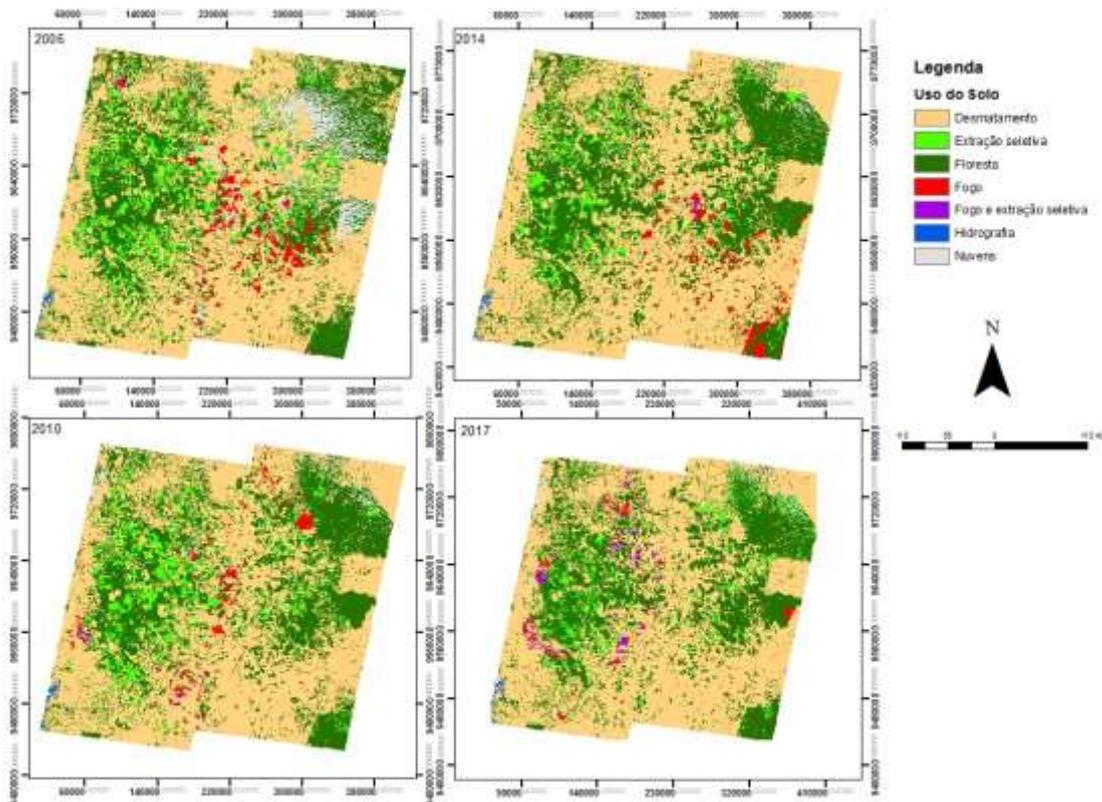
Figura 6- Fluxograma para a análise de mistura espectral para detecção de fogo.

## 6. Resultados e discussão

Como resultado do presente estudo foram gerados mapas de classificação do uso da terra para 1992, 1996, 1999, 2003 (Figura 7), 2006, 2010, 2014 e 2017 (**Figura 8**). A nova classificação incluiu as seguintes categorias: desmatamento, floresta, hidrografia, nuvens, fogo, extração seletiva e extração seletiva e fogo, sendo as três últimas as novas classes adicionadas nas classificações do CGCEO e PRODES.



**Figura 7** - Uso e cobertura da terra em 1992, 1996, 1999 e 2003 nas cenas Landsat-8 222/062, 222/063, 223/062, 223/063.



**Figura 8** - Uso e cobertura da terra em 2006, 2010, 2014 e 2017 nas cenas Landsat-8 222/062, 222/063, 223/062, 223/063.

Ainda com base na **Figura 7** e na **Figura 8**, observou-se que os incêndios florestais ocorreram, na maioria dos casos, próximo a região central da área de estudo. Também, observou-se a alta variação anual das áreas de incêndios florestais que ocorreram a cada ano analisado. Essa variação indica que fenômenos climáticos ou fatores específicos que ocorrem anualmente são preponderantes para a ocorrência dos incêndios florestais na região. Tais fatores ainda devem ser melhor investigados.

Observou-se que houve um aumento substancial da fragmentação da paisagem causada pelo desmatamento na área de estudo. A área desmatada, dentro da poligonal de interesse, passou de 31,67% (34.745,58 km<sup>2</sup>) para 59,55% (65.338,91 km<sup>2</sup>) entre 1992 e 2017. Esse crescimento foi mais acentuado no período compreendido entre 1992 e 1999, correspondendo a uma taxa de 13,42% (14.721,49 km<sup>2</sup>). Entre 1999 e 2017, o crescimento foi inferior, correspondendo a uma taxa de 10,4% (11.016,80 km<sup>2</sup>).

**Tabela 4** – Área das classes de uso da terra na área de estudo entre 1992 e 2017.

Uso do Solo	Área por ano de estudo (km <sup>2</sup> )							
	1992	1996	1999	2003	2006	2010	2014	2017
Desmatamento	34745,58	38697,73	49467,08	54322,10	58742,46	62415,65	63463,80	65338,91
Floresta	71429,34	60510,20	43198,34	37568,86	32729,34	35474,90	37523,20	34211,23
Hidrografia	286,43	264,22	360,95	221,45	222,23	223,59	223,14	224,28
Nuvens	6,99	2930,53	4159,06	6488,21	6354,34	881,52	794,51	916,53
Fogo	913,98	2181,77	2288,22	-	2441,05	1580,34	2252,35	1341,31
Extração seletiva	2190,00	4210,85	9226,46	11118,96	8753,52	8812,60	5333,78	6521,84
Fogo e extração seletiva	147,27	924,29	1019,48	-	476,64	331,00	128,81	1165,49
Área Total	109719,59	109719,59	109719,59	109719,59	109719,59	109719,59	109719,59	109719,59

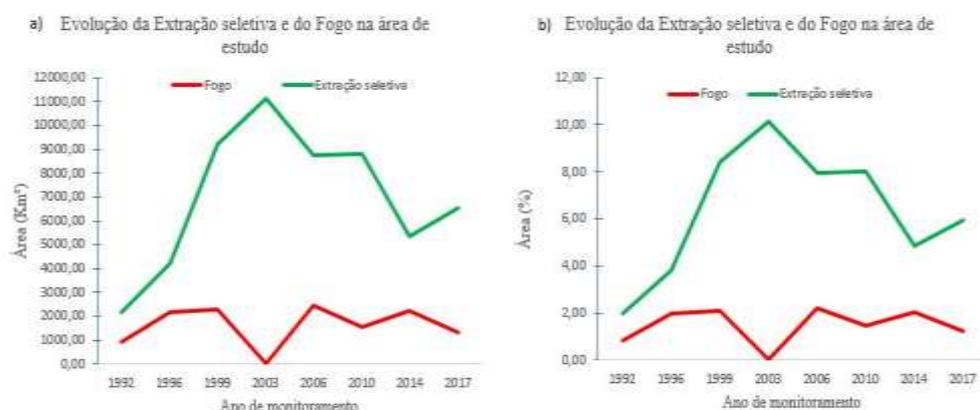
O desmatamento na área de estudo teve alguns picos de crescimentos (entre 1996 e 1999), mas em geral se manteve constante ao longo do período analisado. A Figura 9 mostra o crescimento cumulativo da área desmatada na área de estudo entre 1992 e 2017.



**Figura 9-** (a) evolução do desmatamento em km<sup>2</sup>. (b) Evolução do desmatamento em porcentagem.

Em 1992, a extração seletiva (**Figura 10**) representava 2% (2.190 km<sup>2</sup>) da área total. Essa classe de uso do solo cresceu 8,14% (8.928,96 km<sup>2</sup>) até o ano de 2003 e, em seguida, decresceu 5,27% (5.785,18 km<sup>2</sup>) até o ano de 2014. Em 2017, houve aumento de 1,08% (1.188,07 km<sup>2</sup>) das áreas de extração seletiva, quando comparado ao ano de 2014. Portanto, considerando o período entre 2003 e 2017, houve uma redução relativa nas áreas de extração seletiva.

A área degradada pelo fogo (**Figura 10**) atingiu 0,83% (913,98 km<sup>2</sup>), 1,99% (2.181,77 km<sup>2</sup>), 2,09% (2.288,22 km<sup>2</sup>), 0% (0 km<sup>2</sup>), 2,22% (2.441,05 km<sup>2</sup>), 1,44% (1.580,34 km<sup>2</sup>), 2,05% (2.252,35 km<sup>2</sup>) e 1,22% (1.341,31 km<sup>2</sup>) em 1992, 1996, 1999, 2003, 2006, 2010, 2014 e 2017, respectivamente.



**Figura 10 -** (a) Evolução da extração seletiva e do fogo em km<sup>2</sup>. (b) Evolução da extração seletiva e do fogo em porcentagem.

A redução das áreas de extração seletiva a partir de 2003 na área de estudo pode estar associada a três causas principais. A primeira devido à exaustão das florestas com exploração excessiva de madeiras nos anos anteriores. A segunda devido ao aumento dos mecanismos de controle a fiscalização da exploração ilegal pelos órgãos ambientais nacional e estadual, que levou ao cancelamento vários planos de manejo a partir de 2003. Por fim, houve uma melhoria no rendimento industrial no processamento das toras de madeira requerendo menor quantidade de matéria prima florestal na região Amazônica (LENTINI; VERISSIMO; PEREIRA, 2005).

No período compreendido entre 1992 e 1999, o fogo aumentou de forma proporcional à extração seletiva. Porém, em 2003, não foram detectadas áreas afetadas por incêndios, apesar de ter sido o ano com maior número de pátios de extração. No ano de 2006, foi registrado a maior quantidade de área degradada pelo fogo em toda a série histórica, havendo uma redução dos incêndios florestais nos anos seguintes.

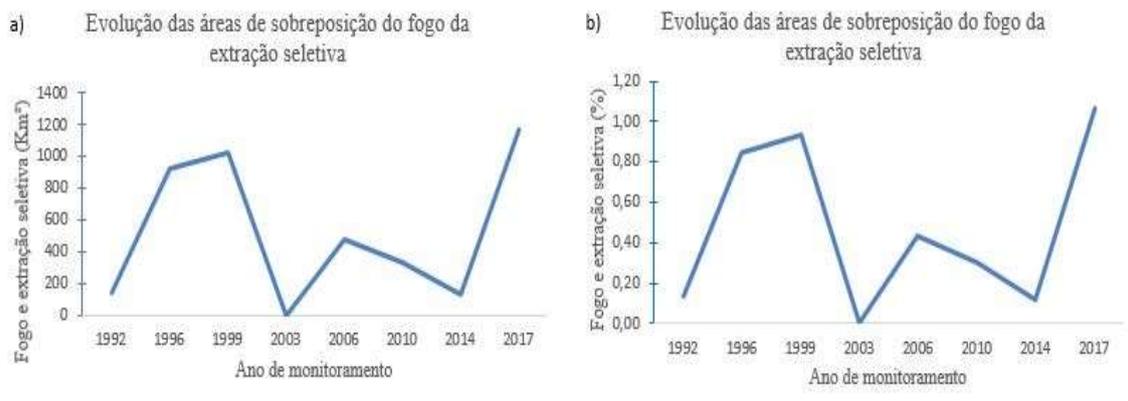
Nos anos subsequentes, devido à redução do material combustível causado pelos incêndios do período anterior e pela queda da quantidade de pátios de extração, houve uma redução dos incêndios florestais. Estudos mostram que a exploração madeireira aumenta a quantidade de biomassa seca ou arbustos mortos, que servem de combustíveis para incêndios florestais, aumentando a susceptibilidade da floresta ao fogo (UHL, 1985; BUSCHBACHER, 1985; STONE, 1998; LEFEBVRE, 1998; NEPSTAD et. al., 1999; SOUZA, 2000; BARRETO, 2000, apud MATRICARDI et. al., 2010).

Vale ressaltar que a regeneração natural da floresta e a transformação de áreas degradadas em desmatamento tem um papel relevante na distribuição espacial da extração seletiva e do fogo. O estudo de Costa (2017) mostra que 4 ou 6 anos após a degradação, ocorre o desmatamento mais intenso. Para Graça (2005), áreas degradadas por extração seletiva levam em média 4,5 anos para terem uma finalidade agrícola.

Matricardi et. al. (2010), que detectou pátios de extração seletiva e cicatrizes de fogo no Mato Grosso, utilizando imagens landsat, explica que a extração seletiva se torna imperceptível após um período de tempo que varia de 3 a 5 anos e o fogo após um período de 3 a 10 anos, dependendo da intensidade e frequência da degradação e da capacidade de resiliência da floresta.

A área de florestas impactadas por extração seletiva e fogo, simultaneamente, nos anos 1992, 1996, 1999, 2003, 2006, 2010, 2014 e 2017 correspondem a 0,13% (147,27 km<sup>2</sup>), 0,84% (924,29 km<sup>2</sup>), 0,93% (1019,48 km<sup>2</sup>), 0% (0 km<sup>2</sup>), 0,43% (476,64 km<sup>2</sup>), 0,3% (331 km<sup>2</sup>), 0,12% (128,81 km<sup>2</sup>) e 1,06% (1165,49 km<sup>2</sup>), respectivamente. MATRICARDI

et. al. 2013 explica que a degradação pelo fogo e pela extração seletiva combinados é responsável pela perda de 27,5% da cobertura florestal. Essas áreas, portanto, necessitam de maior atenção.



**Figura 11-** Áreas degradadas por extração seletiva e fogo simultaneamente. (a) Área expressa em km<sup>2</sup>. (b) Área expressa em porcentagem.

A soma das áreas afetadas pelo fogo e extração seletiva resulta na degradação florestal. O ano de 1992, na série temporal, é o que possui o menor percentual de degradação dentro dos remanescentes florestais (4,55%). Já o ano de 2006 é o que possui o maior percentual (35,66%). Para os demais anos, esse percentual permaneceu entre 12 e 30,5%. A pesquisa de Asner et. al. (2005) mostra que a extração seletiva aumenta a área de danos florestais num valor que varia de 10% a 35% sobre as taxas de desmatamento.

Esses resultados evidenciaram que a floresta degradada por fogo ou extração seletiva é colocada numa mesma classe de floresta pelos mapeamentos convencionais de monitoramento do desmatamento. Esta categorização induz à subestimação das áreas de florestas impactadas por atividades antrópicas na Amazônia brasileira. Os impactos nas florestas nativas causados pela extração seletiva e pelo fogo podem ser substanciais (abertura do dossel, morte de indivíduos, aumento da susceptibilidade a incêndios, aumento do efeito de borda, etc.) e com consequências severas ao meio ambiente e, por isso, devem ser devidamente considerados.



**Figura 12-** Percentual dos remanescentes florestais degradados.

Deste modo, quando acrescido ao desmatamento as áreas de floresta degradadas por extração seletiva e fogo, a fragmentação fica muito mais agravada. Como consequência da fragmentação da vegetação nativa, há um aumento da mortalidade de árvores e no efeito de borda, que chega a penetrar 100 metros no interior dos fragmentos de floresta (FERREIRA; LAURENCE, 1997; OLIVEIRA et. al., 2003). Além disso, o calor e a seca, clima mais típico de áreas abertas, penetram entre 40 e 60 metros no interior do fragmento, aumentando sua susceptibilidade a incêndios florestais (KAPOS, 1989; OLIVEIRA et. al., 2003).

## 7. Conclusão

A análise espaço-temporal do uso e cobertura da terra na área e período de estudo indicaram que houve mudanças substanciais na vegetação nativa da região, que resultou na redução total ou parcial (fragmentação) da floresta remanescente (~41% da área de estudo). A taxa de desmatamento desacelerou nos últimos anos analisados, muito provavelmente pela exaustão e exploração excessiva dos recursos naturais na região e da legislação em vigor, que a partir de 1998 não permitiu o avanço das áreas desmatadas além de 20% de cada propriedade privada.

A degradação pelo fogo atingiu seu ápice em 2006 (2.441,05 km<sup>2</sup>), decrescendo nos anos seguintes. Já a degradação por extração seletiva atingiu seu ápice em 2003 (111.118,96 km<sup>2</sup>), decrescendo nos anos seguintes.

A distribuição espacial da extração seletiva variou muito a cada ano, devido a dinâmica da exploração florestal na região e ao processo de regeneração natural. Já o fogo se concentrou ao longo do centro da área de estudo, nas proximidades de rodovias, variando anualmente em quantidade. A alta variação da ocorrência do fogo em florestas pode estar relacionada a fatores climáticos anuais, que devem ser melhor estudados em futuras pesquisas.

## 8. Referências Bibliográficas

ARRAES, Ronaldo de Albuquerque; MARIANO, Francisca Zilania; SIMONASSI, Andrei Gomes. Causas do desmatamento no Brasil e seu ordenamento no contexto mundial. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 50, n. 1, p. 119-140, 2012.

ASNER, Gregory P. et al. Selective logging in the Brazilian Amazon. **science**, v. 310, n. 5747, p. 480-482, 2005.

CDB. **Review of the status and trends of, and major threats to, the forest biological diversity**. Montreal, Quebec: Convention on Biological Diversity, 2002. 113p. (Technical Series N. 7).

Classificação climática do Pará (Método de Köppen). **SEMA**. Disponível em : <[www.sema.pa.gov.br/download/classificacao\\_climatica\\_do\\_para.doc](http://www.sema.pa.gov.br/download/classificacao_climatica_do_para.doc)>. Acesso em: 18 de out. de 2018.

COSTA, O. B. Degradação florestal por extração seletiva e fogo na Amazônia Legal. 2017. 186 f., il. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) -**Universidade de Brasília**, Brasília, 2017.

**MMA-Ministério do Meio Ambiente**. Disponível em: <<http://mapas.mma.gov.br/i3geo/datadownload.htm>>. Acesso em: 20 de out. de 2018.

Fearnside, P.M., 1997, April. The Main Resources of Amazonia. **In paper for presentation at the Latin American Studies Association XX International Congress**, Guadalajara, Mexico (pp. 17-19).

FERREIRA, L. V.; LAURANCE, W. F. **Effects of Forest fragmentation on Mortality and Damage of selected Trees in Central Amazonia**. Conservation biology, Malden, v. 11, n. 3, p. 797-801, June 1997.

FOLEY, Jonathan A. et al. Amazonia revealed: forest degradation and loss of ecosystem goods and services in the Amazon Basin. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 5, n. 1, p. 25-32, 2007.

GERWING, Jeffrey J.; JOHNS, Jennifer S.; VIDAL, Edson. Reducing waste during logging and log processing: forest conservation in eastern Amazonia. **Unasylva**, 1996.

GRAÇA, P. M. L. A. Monitoramento e caracterização de áreas submetidas à exploração florestal na Amazônia por técnicas de detecção de mudanças. São José dos Campos: **INPE**, 257p, 2006.

HUMMEL, A. C. et al. A atividade madeireira na Amazônia brasileira: produção, receita e mercados. **Belém: Imazon**, 2010.

INPE estima desmatamento por corte raso na Amazônia em 2017. INPE, 2017. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/OBT/noticias/INPE-estima-desmatamento-por-corte-raso-na-Amazonia-em-2017>>. Acesso em: 18 de nov. de 2018.

KAIMOWITZ, D.; ANGELSEN, A. Economic models of tropical deforestation: a review. **CIFOR - Center for International Forestry Research**, Bogor, Indonesia, 1998.

LENTINI, M., VERISSIMO, A., PEREIRA, D. **A expansão madeireira na Amazônia**. IMAZON, 2005. Disponível em: <[amazon.org.br](http://amazon.org.br)>. Acesso em: 14 de set. de 2018.

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

LUND, H. Gyde. What is a degraded forest? Gainesville: Forest Information Services, 2009. 42 p. **White paper prepared for FAO**. Disponível em:<[https://www.researchgate.net/publication/280921178\\_What\\_is\\_a\\_degraded\\_forest](https://www.researchgate.net/publication/280921178_What_is_a_degraded_forest)>. Acesso em: 05 de set. 2018.

MARTIN, R. Michael. Deforestation, land-use change and REDD. **Unasylva**, v. 230, n. 59, p. 3-11, 2008.

MATRICARDI, Eraldo AT et al. Assessment of tropical forest degradation by selective logging and fire using Landsat imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, n. 5, p. 1117-1129, 2010.

MATRICARDI, Eraldo AT et al. Assessment of forest disturbances by selective logging and forest fires in the Brazilian Amazon using Landsat data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 34, n. 4, p. 1057-1086, 2013.

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

Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por satélite - Projeto PRODES. **INPE**. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>>. Acesso em: 20 de Nov. de 2018.

OLIVEIRA, L. C. et. al. Impactos da exploração seletiva de madeira em áreas em processo de fragmentação florestal na Amazônia ocidental. **Cerne**, Lavras, v. 9, n. 2, p.213-220, Jul./Dez. 2003.

O que é a Amazônia Legal. Dicionário Ambiental. **((o))eco**, Rio de Janeiro, nov. 2014. Disponível em: <<http://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/28783-o-que-e-a-amazonia-legal/>>. Acesso em: 24 de set. de 2018.

PIKETTY, M. G.; VEIGA, J. B. D.; TOURRAND, J.; ALVES, A. M.; CHAPUIS, R. P.; THALES, M. C.; HOSTIOU, N. C. N.; VENTURIERI, A. **Por que a pecuária está avançando na Amazônia Oriental?** In : DORIS, Sayago; JEAN-RANÇOIS, Tourrand; MARCEL; Bursztyn (eds.). **Amazônia: cenas e cenários**. Brasília: Universidade de Brasília, p. 169-192. 2003.

PINHEIRO, T. F. Padrões e trajetórias de degradação florestal em fronteiras madeireiras da Amazônia. 2015. 181 f., il. Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) -**INPE**, São José dos Campos, 2015.

RIVERO, Sérgio 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.

RODRIGUES, Ricardo Leonardo Vianna. Análise dos fatores determinantes do desflorestamento na Amazônia Legal. **Rio de Janeiro**, v. 249, 2004.

SÁNCHEZ, Luiz Enrique. **Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

SILVA, Brenner Stefan Gomes; DE MORISSON VALERIANO, Dalton. Correção atmosférica e topográfica de imagens de satélite em terrenos montanhosos. In: **XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. 2005. p. 3587-3594.