



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

MARIANA CAMPISTA CHAGAS

**DINÂMICA DA VEGETAÇÃO EM BUJARI, ACRE, ATRAVÉS DO PRODUTO
MOD44B**

**Prof.º Dr.º RAFAEL COLL DELGADO
Orientador**

**SEROPÉDICA, RJ
Agosto - 2013**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE FLORESTAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL**

MARIANA CAMPISTA CHAGAS

**DINÂMICA DA VEGETAÇÃO EM BUJARI, ACRE, ATRAVÉS DO PRODUTO
MOD44B**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

**Prof.º Dr.º RAFAEL COLL DELGADO
Orientador**

**SEROPÉDICA
Agosto – 2013**

**DINÂMICA DA VEGETAÇÃO EM BUJARI, ACRE, ATRAVÉS DO PRODUTO
MOD44B**

Comissão Examinadora

Monografia apresentada em 28 de agosto de 2013.

Prof Dr Rafael Coll Delgado
UFRRJ/IF/DCA
Orientador

Prof Dr Jose Francisco Oliveira Junior
UFRRJ/IF/DCA
Membro

Msc Givanildo Gois
UFRRJ/IF/DCA
Membro

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais e irmão,

Celio, Rita e Lucas

AGRADECIMENTOS

Primeiramente quero agradecer a Deus e ao universo por conspirar sempre ao meu favor; aos meus pais, e irmão pela paciência e amor incondicional. Aos meus familiares, primos e primas, tios e tias que sempre torcem pela minha vitória. Principalmente aos meus tios Cesar e Bia, pelo carinho, apoio, e exemplo em Viçosa; aos meus padrinhos Simone e Marco Antônio, por apostarem em mim; e as minhas avós Diva e Dadi pelas comidinhas e carinho. A todos meus amigos, que me fazem mais feliz a cada dia e são a família eu Deus me permitiu escolher; a minha Universidade Rural, que me formou adulta e Engenheira Florestal. Ao professor Alexandre Monteiro e todos os integrantes do grupo PET- Floresta, que foram essenciais na minha formação. Ao orientador Rafael, pela paciência e palavras de conforto para minhas inseguranças. Agradeço a todas as dificuldades, todas as risadas, todos os por-dosol no lago, todas as boas conversas, viagens, madrugadas estudando, todas as pessoas eu cruzaram meu caminho durante esses últimos seis anos, pois fizeram parte de quem eu sou hoje e do meu crescimento.

“Para crescer, apenas observe uma Árvore. À medida que a árvore cresce suas raízes se aprofundam. Existe um equilíbrio, quanto mais alto a árvore cresce mais profundamente suas raízes crescerão. Na vida crescer significa aprofundar-se dentro de si mesmo. É aí que suas raízes se encontram.”

Osho

RESUMO

Mapas de porcentagem de cobertura florestal provenientes do produto anual MOD44B, derivado de séries temporais de dados de 250 m do Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), foram comparados com dados de desflorestamento anual do Amazonas (Projeto de Monitoramento do desflorestamento Bruto da Amazônia) PRODES, conjunto produzido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os dados anuais do PRODES 2010 foram utilizados para calibrar as imagens anuais MOD44B com o objetivo de avaliar métodos para o acompanhamento e caracterização anual da dinâmica de desmatamento e regeneração do período de 2000 a 2010 no município de Bujari - Acre. Os índices de porcentagem MODIS divididos em classes de cobertura florestal mostraram bons resultados em comparação com dados brutos calculados pelo programa PRODES. A análise da frequência de pixels na classe de cobertura florestal Extremamente Alta para toda região reduziu 30,8% no período, enquanto segundo dados PRODES houve uma redução de 265,4 km² para o mesmo período. Na análise de distribuição espacial e frequência das classes de cobertura florestal nos polígonos florestados, a redução de 37,08% de frequência da classe Extremamente Alto no período, em substituição ao aumento de 31,74% da classe Muito Alta no mesmo período, mostra que as áreas florestadas vem sofrendo diminuição da densidade de cobertura florestal, principalmente no entorno de polígonos desflorestados. Nos polígonos desmatados, a partir do ano de 2005 a substituição da classe de Muito Baixo para Moderadamente Baixo, indica que a área passou por um processo de regeneração o que foi confirmado pelos dados PRODES que mostrou diminuição do incremento de desflorestamento durante o mesmo período. Os resultados indicam que os dados MODIS podem ser úteis para fornecer uma primeira estimativa de mudança da cobertura florestal em uma base anual para a região.

Palavras chave: desflorestamento, MODIS, cobertura florestal, monitoramento.

ABSTRACT

Forest cover percentage maps originally from the annual MOD44B product, derived from time-series of 250 m data from Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), were compared with the annual deforestation data of Amazonas (Amazon Deforestation Monitoring Project) PRODES data, produced by Brazilian National Institute for Space Research (INPE). The annual data PRODES 2010 were used to calibrate the annual MOD44B images in order to evaluate methods of tracking and annual characterization of deforestation and regeneration dynamics from 2000 to 2010 in Bujari, Acre. MODIS percentage rates divided into forest cover classes has had the same result as the raw data calculated by PRODES. The frequency of pixels analysis on the Extremely High forest cover class for that region has been reduced 30,8% between 2000 and 2010, while according to PRODES data there was a reducing of 265,4 km² in the same period. In the analysis of spatial distribution and frequency of forest cover classes in the forested polygons, there was a reducing rate of 37,08% of Extremely High class between 2001 and 2010 replacing the increase of 31,74% of the Very High class in the same period. Though, it demonstrates that the forested areas have been decreasing in density, specially surround deforested polygons. In the deforested polygons, since 2005 those areas have been changed from Very Low class to Moderately Low class, indicating that they have been through a regeneration process which was confirmed by PRODES, that pointed the decreasing of deforestation increment during the same period. Results indicate that the MODIS data may be useful in providing a first estimate of forest cover change on an annual basis for the region.

Keywords: deforestation, MODIS, forest cover, monitoring.

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS	ix
LISTA DE TABELAS	x
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVO	3
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Programa PRODES	4
2.2 Sensor MODIS/Satélite TERRA	4
2.3 Produto MOD44B	6
2.4 Dinâmica do Desmatamento na Região Amazônica	7
3. MATERIAL E MÉTODOS	8
3.1 Área de Estudo	8
3.2 Processamento dos dados	9
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
4.1 Análise dos Polígonos PRODES Florestados.....	18
4.2 Análise dos Polígonos PRODES Desflorestados	20
5. CONCLUSÕES.....	21
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localização geográfica da área de estudo, município de Bujari – AC.....	8
Figura 2. Tile dos produtos MODIS referente à localização geográfica da área de estudo.....	10
Figura 3. Fluxograma referente ao processamento dos dados.....	11
Figura 4. Análise temporal da cobertura florestal através das classes de porcentagem do produto MOD44B do município de Bujari, AC dos anos de 2001, 2004, 2007 e 2010	14
Figura 5. Distribuição da extensão do desmatamento segundo o sistema PRODES, em km ²	15
Figura 6. Classes de cobertura florestal do município de Bujari, AC, no período de 2000 – 2010.....	15
Figura 7. Distribuição do incremento do desmatamento segundo o sistema PRODES em Km ²	16
Figura 8. Dinâmica da vegetação de Bujari em 2008 e 2009.....	17
Figura 9. Dinâmica da vegetação em Bujari em 2001 e 2010.....	18
Figura 10. Classes de cobertura florestal no interior dos polígonos PRODES desflorestados.....	21

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Especificações Técnicas do Sensor MODIS.....	5
Quadro 2 Especificações das Bandas 1 a 19 do Sensor MODIS.....	5
Quadro 3 Especificações das Bandas 20 a 36 do Sensor MODIS.....	6

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Frequência de pixels (%) das classes de cobertura florestal do município de Bujari.....	12
Tabela 2. Frequência de pixels (%) das classes de cobertura florestal do município de Bujari no interior dos polígonos PRODES florestados.....	19
Tabela 3. Frequência de pixels (%) das classes de cobertura florestal do município de Bujari no interior dos polígonos PRODES desflorestados.....	19
Tabela 4. Frequência de pixels (%) das classes de cobertura florestal do município de Bujari no interior dos polígonos PRODES desflorestados.....	20
Tabela 5. Análise estatística das classes de cobertura florestal entre 2000 a 2001 do município de Bujari no interior dos polígonos PRODES desflorestados.....	21

1. INTRODUÇÃO

As taxas de desflorestamento na África tropical, Ásia, América do Sul mantiveram-se constantes ou tem aumentado ao longo das últimas duas décadas (DeFRIES et al. 2002) o que leva a necessidade de uma avaliação mais precisa da perda florestal. A distribuição espacial do desflorestamento na Amazônia pode ser associada a dois fatores relacionados entre si: (i) devido a influência da abertura de rodovias e do surgimento de polos de desenvolvimento no processo de ocupação (MACHADO, 1998; ALVES et al., 1999; ALVES, 2002), (ii) processos de concentração do uso da terra ou de expansão de novas áreas de desflorestamento, associados com intensificação/abandono da terra (ALVES et al., 2003; ALVES, 2007). Esta condição é devido a agricultura mecanizada e principalmente a pecuária, dado a área ocupada e expansão contínua (FEARNSIDE, 2005). Além disso, segundo ALVES et al. (2003), o desflorestamento concentrado em algumas áreas que sofrem influência de pastagens e culturas agrícolas, leva a formação de poucos remanescentes florestais e impedem o crescimento de vegetação secundária (MELLO, 2009). Porém, a partir do momento que áreas desflorestadas perdem sua produtividade, são abandonadas, e posteriormente, devido ao processo de sucessão ecológica, há o aparecimento de uma vegetação secundária (MELLO, 2009). A vegetação secundária, formada pela regeneração natural das áreas desmatadas e abandonadas, prestam diversos serviços ambientais como o sequestro de carbono (NOBRE & NOBRE, 2002), auxiliam na criação de corredores de biodiversidade (BARLOW et al., 2006; STOUFFER et al., 2006), a ciclagem e fixação de nutrientes ao solo (SZOTT et al., 1999) e a manutenção do ciclo hidrológico (FERREIRA et al., 2005). Integrando assim o processo de cobertura e mudança de uso do solo amazônico.

Na região Amazônica, devido sua dimensão associada à dificuldade de acesso, o uso do sensoriamento remoto se torna imprescindível. A partir de dados de sensores orbitais é possível extrair informações sobre a floresta como, a estrutura do dossel, estado fenológico, condições de estresse, carência de nutrientes, entre outros (ANDERSON, 2005).

Uma das vantagens do uso de técnicas do sensoriamento remoto é a atualização periódica da mudança na dinâmica de cobertura da terra. A elaboração de mapas espaciais e temporais serve para entender a dinâmica do uso da terra, entre eles o delineamento de florestas ainda intactas, avanço de desmatamento, monitoramento de sucessão ecológica e a dinâmica dos processos naturais (HANSSSEN, 2003). Esses mapas ainda mostram a intensificação do uso da terra e o impacto humano nos ecossistemas florestais. A documentação das mudanças ao longo do tempo pode ainda ajudar na previsão de futuras alterações nas florestas, assim como sanar dúvidas nas áreas de conservação de silvicultura (HANSSSEN, 2003). Porém uma das dificuldades encontradas por usuários desses dados é da falta de disponibilidade de um método rápido e preciso para se obter mapas de uso e cobertura florestais (NOVO et al., 2004). Um dos melhores exemplos de monitoramento operacional para quantificar mudanças na cobertura da terra é o sistema PRODES (Projeto de Desflorestamento Bruto da Amazônia). Elaborado pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), tornou operacional e público num banco de dados, a cartografia temática de estimativas anuais das taxas de desflorestamento em toda extensão da Amazônia Legal. Este conjunto de dados em alta resolução espacial têm sido estimados com imagens dos satélites Landsat 5 e 7 abordando os sensores TM (*Thematic Mapper*) e ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper*). A primeira versão digital foi criada em 1997, e desde 2000 foi produzida anualmente (HANSSSEN et al., 2008). Este projeto é de suma importância para o planejamento e fiscalização ecológica, para a tomada de decisões e para a modelagem dos efeitos desses

processos da dinâmica de uso do solo em florestas tropicais (DUARTE et al., 2003). As estimativas das taxas de desmatamento têm ajudado também na formulação de políticas governamentais que visam mitigar o desmatamento na região (CASA CIVIL, 2003).

Tradicionalmente o mapeamento de áreas desflorestadas é feito através da análise de imagens do Satélite Landsat. Dados de sensores *Multispectral Scanner* (MSS) e *Thematic Mapper* (TM) Landsat têm sido utilizados com diferentes técnicas de classificação e processamento de imagens (TARDIN et al., 1980; SHIMABUKURO et al., 1982; SANO et al., 1989; SKOLE & TUCKER, 1993; MORAN et al., 1994; ALVES, 2002; ALVES et al., 2003; BATISTELLA et al., 2003; FIDALGO et al., 2003; PONZONI & REZENDE, 2004; BATISTELLA & MORAN, 2005; ALVES, 2007a; ALVES et al., 2009). Porém desde maio de 2003 o satélite Landsat 7 está indisponível, e a comunidade de usuários têm optado frequentemente pelo uso de imagens TM do Satélite Landsat 5, que também foi desativado recentemente em junho deste ano, segundo informações do *The United States Geological Survey* (USGS, 2012). A lacuna deixada pelos satélites da família Landsat deverá ser preenchida por diversos outros satélites que sejam compatíveis com a demanda dos usuários no que diz respeito à qualidade e a acessibilidade dos dados. Podendo-se citar os satélites CBERS-2, *Earth Observing System* - EOS AQUA e EOS TERRA (ESPINDOLA et al., 2005).

Uma nova geração de sensores de resolução média com cobertura mais frequente da Amazônia brasileira, apresenta uma nova oportunidade para maior eficiência na avaliação do desmatamento. Um dos produtos mais completos no que se refere a identificação de áreas florestadas é o produto MOD44B, denominado de *Vegetation Continuous Field* (VCF). É proveniente do sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), um dos cinco sensores a bordo do satélite TERRA e AQUA da NASA EOS (*Earth Observing System* – Sistema de Observação da Terra). O Sensor MODIS oferece imagens com resolução espacial de 250, 500 e 1000m e possui 36 bandas espectrais e cobre o espectro eletromagnético da região do visível ao infravermelho termal (RUNNING et al., 1994).

Os instrumentos do sensor MODIS adquirirão imagens da Amazônia brasileira até 4 vezes por dia, com uma largura da faixa cerca de 2300km. São corrigidos os dados brutos quanto a geometria e radiometria, e transformados em produtos tais como a refletância da superfície e índices de vegetação e distribuídos sem custo via *Land Processes Distributed Active Archive Center* (JUSTICE et al. 2002). Os produtos de cobertura do solo do sistema MODIS fornecem vários tipos de dados de entrada para o monitoramento do desmatamento. O Produto supracitado, MOD44B, é um produto anual com uma resolução de 250m e com uma grade resumida de 10 km (JUSTICE et al., 2002a). O produto VCF é uma representação global da superfície da Terra, e possui gradações de três componentes de cobertura do solo: porcentagem de cobertura arbórea, porcentagem de área não vegetada e porcentagem de área nua (CARROLL et al 2011; HANSEN et. al. 2000, 2002, 2003, 2005). Embora a produção de produtos pouco frequentes possam limitar a capacidade de discernir informação temporal sobre o desmatamento da floresta, e os algoritmos que são otimizados para produtos globais, muitas vezes não captam variações regionais específicas como o tempo e a natureza do desmatamento da floresta, os produtos MODIS possuem duas características adicionais que facilitam a análise rápida da cobertura florestal. Primeiramente o MODIS inclui uma camada de garantia de qualidade que avalia a qualidade dos dados de entrada para cada pixel, e especificamente sinaliza nuvens, água, aerossóis em suspensão, e dados perdidos (HUETE et al., 1999). Em segundo lugar, as imagens e produtos de dados são diariamente compostas de 8, 16, e 32 dias de intervalos para minimizar os impactos da persistente cobertura de nuvens e aerossóis. (CARROL et al., 2005).

Outro aspecto a ser observado é quanto a baixa resolução espacial. Porém as composições disponíveis na resolução de 250 m, segundo as análises de STRAHLER et al. (1999), mostraram que grande parte das mudanças antrópicas no uso e cobertura da terra ocorre em escala próxima de 250 m e que as bandas mais apropriadas para sua detecção estão nas regiões do visível e do infravermelho próximo, o que tornam as imagens MODIS relevantes para o monitoramento na Amazônia. Em um estudo realizado no Pará, a classificação de árvore de decisão de dados MODIS 250 m, produziram classes precisas de floresta e de não floresta, em comparação com os dados de treinamento Landsat 5 TM. As principais fontes de erro de classificação foram resultado de nuvens ou neblina fina e pixels misturados nos limites de classe (WESSELS et al., 2004)

1.1 OBJETIVO

Este trabalho tem por objetivo avaliar métodos para o acompanhamento anual de desmatamento do PRODES 2010 no município de Bujari, AC, como base para a priorização de análises de alta resolução e caracterização da dinâmica recente de desmatamento e regeneração natural através do PRODUTO MOD44B.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Programa PRODES

Para modelar os efeitos dos processos antrópicos nas áreas florestais e processos adequados de fiscalização e planejamento econômico-ecológico de determinada região, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) vem desde 1970 quantificando áreas desmatadas na Amazônia Legal. Tornou cartografia temática dos dados de desflorestamento amazônico num banco de dados, referente aos incrementos anuais e sua extensão. (DUARTE et al., 2003). Detecta exclusivamente desmatamentos do tipo “corte raso” acima de 6,25 ha estimando a extensão do desmatamento bruto: valor acumulado a partir de somente uma data de cada imagem por ano para calcular a taxa por extensão, desconsiderando a recomposição da cobertura florestal pela formação de vegetação secundária em áreas abandonadas após o corte (CÂMARA et al., 2006). Inicialmente eram utilizados dados a partir do *Multispectral Scanner System* (MSS) a bordo do satélite Landsat 2. Porém desde 1988, o INPE estimou áreas desmatadas anualmente com dados do sensor TM a bordo dos Satélites Landsat 4 e 5. Durante o período de 1988 a 2002 esses dados foram utilizados no contexto do projeto PRODES Analógico. Neste período, era feita a interpretação manual das imagens impressas em papel fotográfico, e as informações estavam disponíveis somente em formato tabular. Em 1997, com base na metodologia apresentada por SHIMABUKURO et al. (1998) foi criada a 1ª versão digitalmente mapeada (HANSEN et al., 2008). Porém somente a partir de 2003, a taxa de desmatamento na Amazônia passou a ser calculado pelo INPE através do processo de interpretação assistida pelo computador, chamado de programa PRODES Digital para distingui-lo do processo anterior (CÂMARA et al., 2006).

A metodologia emprega um algoritmo linear de mistura espectral para gerar vegetação, solo e fração sombra. O solo e a fração sombra foram classificados de acordo com a segmentação de imagens, seguida da classificação não-supervisionada e edição de imagem (HANSEN et al., 2008). Desde 2000, o produto digital tem sido produzido anualmente. O programa PRODES utiliza aproximadamente 220 imagens TM com resolução espacial de 30m dos anos de 1997-2000 e de 2000 a 2012. Os mapas temáticos referentes a cada um dos anos estão disponíveis no site <http://www.obt.inpe.br/prodes/index.php>

2.2 Sensor MODIS/Satélite TERRA

O sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) é o principal sensor dos cinco sensores a bordo do Satélite TERRA lançado em dezembro de 1999. Baseados na necessidade de prever com antecedência as alterações no meio ambiente e as dinâmicas globais, o comitê espacial Norte Americano mantém um programa de longa duração de pesquisas de observação da superfície terrestre, oceanos, atmosfera, e suas interações, incluídas nas medições do *Earth Observing System* (EOS), financiado pelo programa da NASA *Earth Science Enterprises* (ESE). O principal objetivo é gerar informações a respeito da influência humana na dinâmica da biosfera terrestre com uma maior precisão e repetitividade (ANDERSON et al., 2003). O desenho do componente imagem da terra, combina características do Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) e do Thematic Mapper (TM), num amplo espectro de energia eletromagnética que vai da região do visível ao infravermelho termal (JUSTICE et al. 1998).

As bandas localizadas em função de um comprimento de onda escolhidas cuidadosamente, tem o objetivo de evitar bandas de absorção atmosférica, e assim minimizar o impacto da absorção pelos gases atmosféricos (principalmente, o vapor d' água), além de outras feições (linha de Fraunhofer). Estas características superam as limitações dos instrumentos anteriores de sensoriamento remoto (VERMOTE *et al.*, 1997; SALOMONSON & BARKER, 1992; SRTAHLER *et al.*, 1999), durante a observação e monitoramento da superfície terrestre. As especificações técnicas deste sensor estão dispostas no Quadro 1.

Quadro 1. Especificações Técnicas do Sensor MODIS.

Órbita	705 Km, síncrona com o Sol, polar; 10:30 a.m descendente; 1:30 p.m ascendente
Alcance Espectral	0.4-14.4 μm
Cobertura Espectral	$\pm 55^\circ$, 2330 km em fileira ("scans" contínuos em nadir no equador)
Resolução Espacial	250 m (2 bandas), 500 m (5 bandas), 1000 m (29 bandas) em nadir
Precisão Radiométrica	5% Absoluto, <3m; 1% Absoluto, >3m; 2% de reflectância
Cobertura de repetição	Diária, a norte da latitude 30° e a cada dois dias, para latitudes inferiores a 30°
Quantização	12 bits
Taxa de Dados	6.2 Mbps (média), 10.8 Mbps (dia), 2.5 Mbps (noite)
Força	162.5 W (média para uma órbita), 168.5 W (pico)

FONTE: Adaptada de Barker *et al.* (1992, p. 3-4) e Justice *et al.* (2002a, p.4).

O sensor MODIS fornece imagens com resolução espacial de 250, 500 e 1000m e possui 36 bandas espectrais (Quadros 2 e 3) com recobrimento global e contínuo a cada dois dias (RUNNING *et al.*, 1994).

Quadro 2. Especificações das Bandas 1 a 19 do Sensor MODIS.

Uso Primário	Banda	Largura de Banda (nm)	Resolução Espacial (m)	SNR *
Superfície 1 620-670 250 128 terrestre/nuvem	1	620-670	250	128
	2	841-875	250	201
Propriedades da superfície/ nuvem	3	459-479	500	243
	4	545-565	500	228
	5	1230-1250	500	74
	6	1628-1652	500	275
	7	2105-2155	500	110
Cor dos Oceanos/Fitoplâncton/ Bioquímica	8	405-420	1000	880
	9	438-448	1000	838
	10	483-493	1000	802
	11	526-536	1000	754
	12	546-556	1000	750
	13	662-672	1000	910
	14	673-683	1000	1087
	15	743-753	1000	586
	16	862-877	1000	516

Vapor d'água	17	890-920	1000	167
Atmosférico	18	931-941	1000	57
	19	915-965	1000	250

FONTE: Adaptada de Barker et al. (1992, p. 3-4) e Lillesand e Kiefer (1994, p. 516).

Quadro 3. Especificações das Bandas 20 a 36 do Sensor MODIS.

Uso Primário	Banda	Largura de Banda (nm)	Resolução Espacial (m)	NEDT1 *
Temperatura nuvens/superfície	20	3660-3840	1000	0,05
	21	3929-3989	1000	2,00
	22	3929-3989	1000	0,07
	23	4020-4080	1000	0,07
Temperatura Atmosférica	24	4433-4498	1000	0,25
	25	4482-4549	1000	0,25
Cirrus	26	1360-1390	1000	150(2)
Vapor d'água	27	6535-6895	1000	0,25
	28	7175-7475	1000	0,25
	29	8400-8700	1000	0,05
Ozônio	30	9580-9880	1000	0,25
Temperatura nuvens/superfície	31	10780-11280	1000	0,05
	32	11770-12270	1000	0,05
Altitude Topo da nuvem	33	13185-13485	1000	0,25
	34	13485-13785	1000	0,25
	35	13785-14085	1000	0,25
	36	14085-14385	1000	0,35

1-NEDT1– “noise-equivalent temperature difference” //2-SNR– “Signal-to-noise ratio”.

FONTE: Adaptada de Barker et al. (1992, p. 3-4) e Lillesand e Kiefer (1994, p. 516).

As imagens MODIS são georreferenciadas e corrigidas para efeitos atmosféricos como aerossóis e nuvens e são distribuídas gratuitamente no endereço reverb.echo.nasa.gov na forma de diferentes produtos armazenados no formato HDF (*Hierarchy Data Format*). Seus produtos são comumente utilizados para a detecção de mudanças antrópicas e naturais na cobertura do solo e fenologia da cobertura vegetal (ZAHN et al., 2002; FERREIRA et al., 2003) e monitoramento da dinâmica espaço-temporal de biomas (ADAMI et al., 2008). Outras aplicações do sensor MODIS incluem a detecção de queimadas (JUSTICE et al., 2002), monitoramento da dinâmica de rios (PAVELSKY et al., 2004); e a estimativa de propriedades biofísicas da superfície terrestre (ZHANG et al., 2003).

2.3 Produto MOD44B

A aplicação da informação precisa sobre a cobertura global da superfície está na conclusão de parâmetros que atuam, tanto nos processos biofísicos, quanto nas trocas de energia entre a atmosfera e a superfície terrestre (TOWNSHEND et al., 1991). Estes parâmetros passam por um processo de decisão e definição para identificar tipos de cobertura terrestre, através das informações espectrais, temporais, espaciais e direcionais inseridas em cada sensor (ANDERSON et al., 2003), onde podemos citar o próprio sensor MODIS.

O sistema MODIS gera diversos produtos a partir destas imagens. Tais produtos quantificam e detectam as mudanças da cobertura terrestre, e nos processos naturais e antrópicos, auxiliando assim, em aplicações em escala global e regional (STRAHLER et al., 1999). Dentre os produtos MODIS, destacam-se as imagens de refletância (produto MOD09), as imagens de uso da terra (produto MOD12) e, principalmente, os índices de vegetação (produto MOD13). Esses últimos incluem o IVDN (NDVI em inglês), e um novo índice, o IVR (índice de vegetação realçado; EVI em inglês), resistente aos efeitos atmosféricos e aqueles devido à contaminação do substrato do dossel vegetal. Neste estudo foi utilizado o produto MOD44B denominado *Vegetation Continuous Fields* (VCF), que basicamente identifica os locais de eventos onde há mudança na cobertura da terra, onde ocorreram atividades antrópicas e/ou eventos naturais (ANDERSON et al., 2003). Estima a cobertura de vegetação global, representando continuamente a superfície terrestre com a combinação de três gradações de componentes da superfície: porcentagem de cobertura arbórea, porcentagem de área não vegetada e porcentagem de área nua (TOWNSHEND et al., 2011).

O produto VCF é produzido anualmente utilizando compósitos mensais de imagens MODIS 250 e 500 metros, dados de refletância de superfície, incluindo todas as sete bandas e temperatura da superfície do terreno.

Quando os produtos de cobertura do solo são utilizados em modelos, a parametrização deve ser realizada, que é muitas vezes bruta e imprecisa. As classificações convencionais da cobertura da terra sofrem com a imposição de limites arbitrários entre classes, assim como a caracterização da superfície da terra é altamente dependente da escolha de limites de classe (HANSEN et al., 2002). Por representar cada pixel como uma proporção das características tais como a porcentagem de cobertura de árvore, porcentagem de cobertura não arbórea e solo nu, o produto MOD44B é uma representação genuinamente quantitativa da cobertura do solo (TOWNSHEND et al., 2011).

2.4 Dinâmica do Desmatamento na Região Amazônica

O desflorestamento gera impactos na estrutura e fertilidade dos solos, no ciclo hidrológico, causa diminuição da variabilidade genética e constitui importante fonte de gases do efeito estufa, além de influenciar negativamente diversos outros serviços ambientais, levando assim a alterações dos ecossistemas. (SMITH et al., 1995; GASH et al., 1996; HOUGHTON et al., 2000).

A exploração madeireira, pecuária, expansão da cultura de soja e áreas de pastagens são as principais causas do desmatamento atual na região Amazônica. Além desses fatores, os incentivos fiscais, políticas de colonização, também desencadearam um processo migratório para as regiões mais remotas (GARCIA et al., 2007). A influência da abertura e pavimentação de rodovias segundo NEPSTAD et al. (2002) e Laurence et al. (2004), também contribuem na facilidade de acesso e maior viabilidade econômica nas atividades da região. Este fato conseqüentemente leva a valorização da área, sugerindo um cenário de intensificação do uso da terra, aumentando assim o desflorestamento nessas regiões.

A partir do momento que as áreas desflorestadas são colocadas em descanso, e posteriormente abandonadas, ocorre início do processo de regeneração natural através da sucessão ecológica (MELLO, 2009). A vegetação secundária proveniente da regeneração natural presta diversos serviços ambientais como a remoção de carbono atmosférico (NOBRE & NOBRE, 2002), auxilia na conectividade de remanescentes florestais criando corredores de biodiversidade (BARLOW et al., 2006; STOUFFER et al., 2006), promove a ciclagem e

fixação de nutrientes no solo (SZOTT et al., 1999) e a manutenção do ciclo hidrológico (FERREIRA et al., 2005). Integrando assim o processo de regeneração e mudança de cobertura da floresta Amazônica.

Ações e estudos de avaliação do processo de ocupação da região amazônica e monitoramento da dinâmica da vegetação são imprescindíveis, principalmente devida a sua dimensão e dificuldade de acesso. Neste contexto a otimização dessas análises para diversos estudos ambientais com o uso de sensoriamento remoto orbital é defendida por diversos autores como, por exemplo, SADER et al. (1990) e HANSEN et al. (2003)

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

O estudo foi realizado no município de Bujari, AC localizado nas coordenadas geográficas: Latitude: 09° 49' 50" S Longitude: 67° 57' 08" W (Figura 1). Com área de 3.035,869 Km² com 8.471 habitantes e densidade demográfica de 2,79 hab/km² (IBGE, 2010). O clima predominante é "Aw", segundo classificação climática de Köppen. O estado do Acre é dividido climaticamente em dois principais tipos de clima: tropical úmido ("Af") e tropical de monções ("Am") (IBGE, 1997; MESQUITA & DUARTE, 2005). De acordo com MESQUITA & DUARTE (2005) estes dois tipos de climas possuem um padrão similar, principalmente a quantidade acumulada de precipitação com valores anuais superiores a 2.000 mm. As tipologias florestais do município são bastante diferenciadas, porem destacam-se as formações de Floresta Ombrófila Densa e Floresta Ombrófila Aberta.

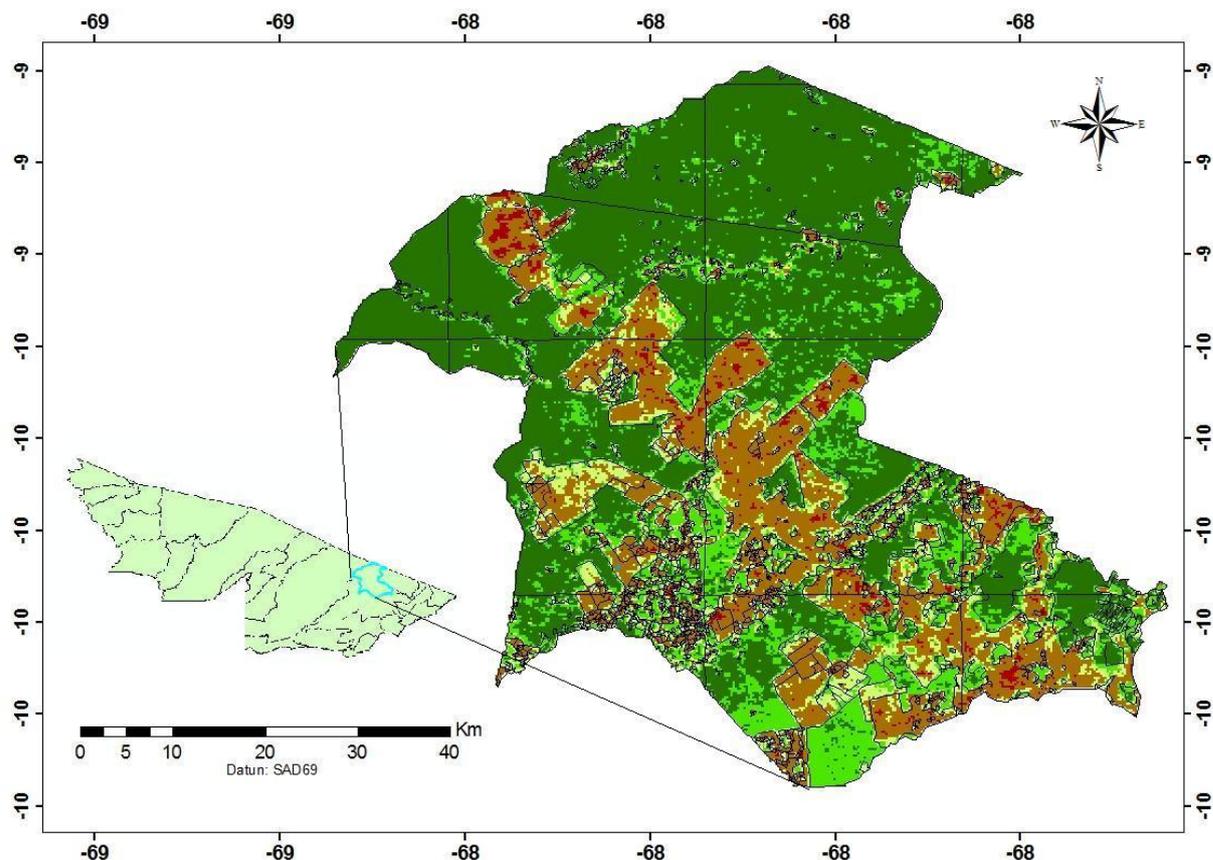


Figura 1. Localização geográfica da área de estudo, município de Bujari – AC

O município de Bujari, AC ergueu sua história principalmente devido construção da BR-364, no trecho que liga os municípios de Rio Branco à Sena Madureira, já que surgiu em função da construção da referida estrada. A origem do município está ligada, comercialmente, ao extrativismo vegetal, devido ao Seringal Empresa fundado em 28 de dezembro de 1882. O nome Bujari é proveniente das seringas com este nome, que eram utilizadas na extração da borracha (IBGE, 2010). O primeiro avanço populacional ocorreu em 1969 devido a construção da BR-364, muitas famílias começaram a se instalar as margens da estrada. (IBGE,2010). O município abrange parte da Floresta Estadual do Antimary (FEA), uma unidade de conservação de uso sustentável.

3.2 Processamento dos dados

Neste estudo foram utilizadas 11 imagens dos anos de 2000 a 2010, do produto MOD44B, oriundo do sensor MODIS a bordo da plataforma orbital TERRA, com composição anual e resolução espacial de 250m. As imagens foram adquiridas no dia 22 de abril de 2013 oriundas da NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) EOSDIS (*Earth Observing System Data and Information System*), no endereço www.reverb.echo.nasa.gov. Foi utilizada também a série histórica do mapa de incremento de desflorestamento do PRODES até o ano de 2010, desenvolvido pelo INPE encontrado no seguinte endereço www.obt.inpe.br. Os dados MODIS foram utilizados para a realização da leitura dos pixels da densidade da cobertura de vegetação nos polígonos PRODES 2010, para o acompanhamento da dinâmica de desflorestamento e regeneração ao longo de 11 anos. Este monitoramento foi

feito em todos os polígonos mapeados pelo PRODES em 2010 no município de Bujari, AC. Os dados foram processados utilizando o software ArcGIS 10.1.

As imagens do produto MOD44B foram adquiridas no endereço reverb.echo.nasa.gov, especificamente no link “plataforma e instrumentos” – satélite TERRA – Sensor MODIS – produto MOD44B. Para baixar as imagens é necessário um cadastro no site com a justificativa de uso. As imagens vêm no formato HDF (*Hierarchical Data Format*) e projeção Sinusoidal. Para que as imagens pudessem ser processadas no ArcGIS 10.1, foi necessário que o formato HDF fosse transformado para GEOTIFF e a projeção Sinusoidal para UTM WGS 84. Para isso realizou-se um pré-processamento das imagens no algoritmo MRT (*Modis Reprojection Tool*). O MRT é um software exclusivo para trabalhar com imagens MODIS. Este deve ser instalado somente no disco local. No software selecionou-se a banda “percent_tree_cover”, selecionando também a projeção geográfica e o parâmetro de projeção UTM WGS 84.

O Tile (subdivisão das áreas disponíveis dos produtos do sensor MODIS) que inclui a região de Bujari, AC foi o H11V10 (Figura 2), onde foi utilizado um total de 11 imagens cobrindo o período de 2000 a 2010.

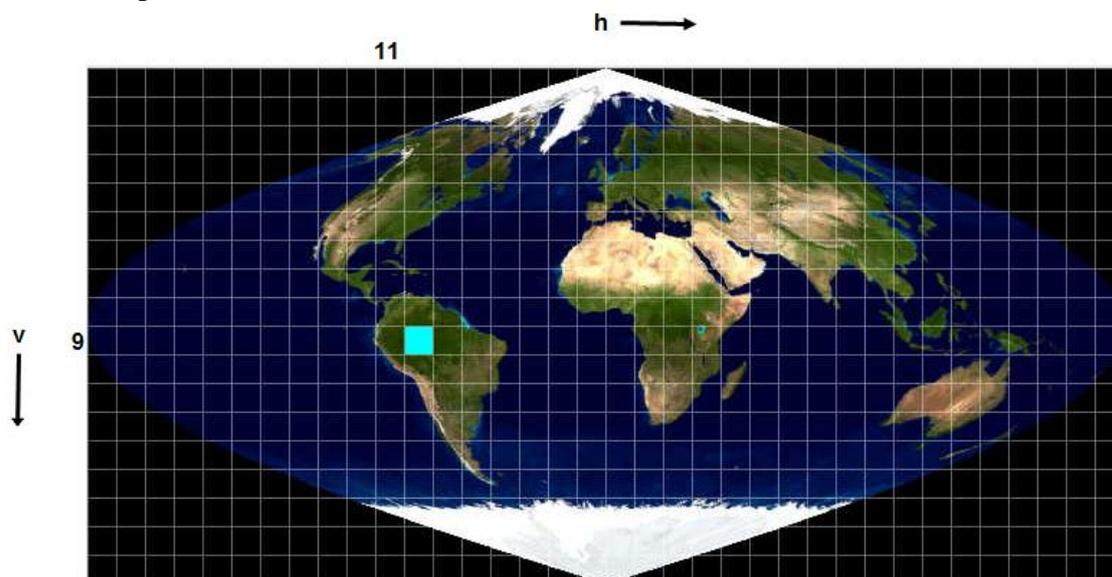


Figura 2. Tile dos produtos MODIS referente à localização geográfica da área de estudo.

Após o pré-processamento das imagens, no software ArcGIS 10.1, no módulo Arctoolbox - Analysis Tools – Extract – e através da ferramenta Clip, foi elaborado o recorte do município de Bujari do polígono PRODES do estado do Acre. Posteriormente foi adicionada na “layer” a imagem MODIS. Na tabela de atributos do PRODES, todos os polígonos foram selecionados e através da ferramenta Extract by Mask, foi elaborado o recorte da imagem MODIS referente aos polígonos de Bujari. Este processo deu origem a imagem MODIS do ano em questão juntamente com os polígonos PRODES referentes ao município.

As imagens raster do MODIS foram transformadas em pontos para facilitar a contagem dos índices em escala percentual de cobertura da vegetação encontrados em cada polígono. Para isso, foi utilizado o módulo Arctoolbox – Conversion Tools – From Raster – Raster to Point (Figura 3).

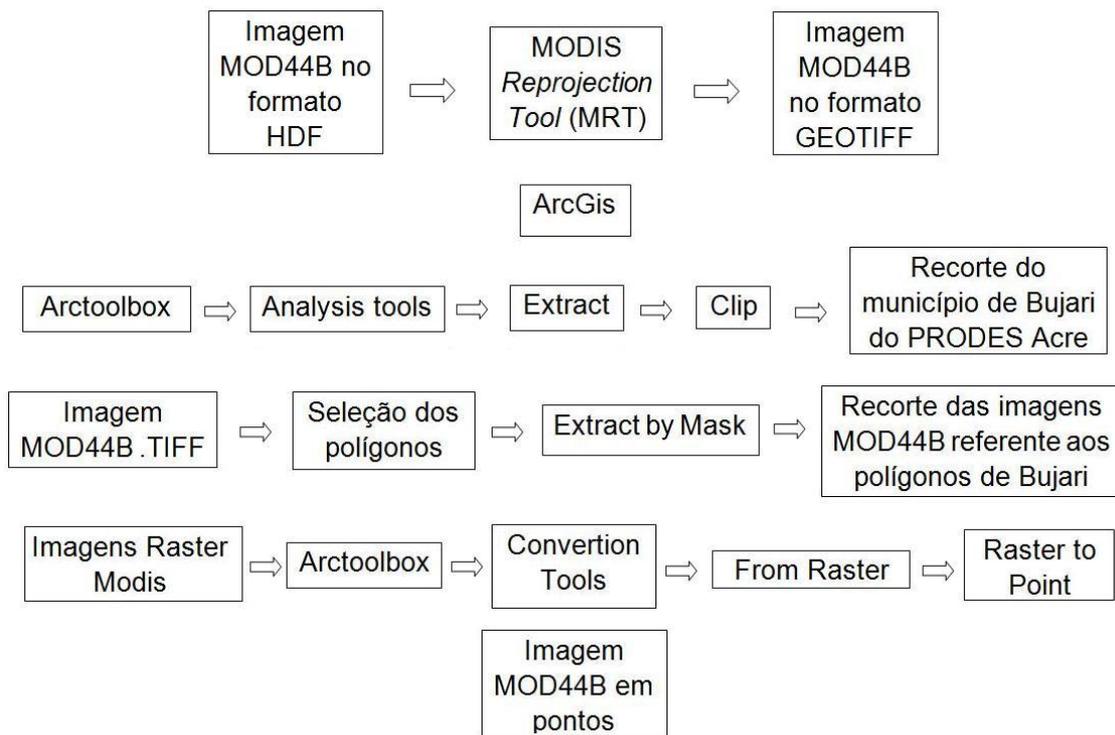


Figura 3. Fluxograma referente ao processamento dos dados.

Os polígonos PRODES foram classificados em três grupos: “desflorestamento referente ao ano da imagem”, “floresta” e “desmatamento”. Foram selecionados os dados referentes a classificação encontrada na tabela de atributos PRODES, e com a ferramenta Arctoolbox – analyst tools – extract – clip, foram elaborados os mapas com os pontos de cada grupo. Para a classificação do grupo “floresta”, selecionou-se todos os polígonos referentes aos anos posteriores ao ano da imagem. O grupo “desmatamento” é referente a polígonos que foram posteriormente adicionados ao PRODES em 2010. Este procedimento repetiu-se em todas as imagens MODIS do período de estudo.

Os dados da tabela de atributos nos mapas de cada grupo nas imagens MODIS de 2000 a 2010 foram exportados do ArcGis 10.1 para o software Excel 2013. Nos dados exportados, reúnem-se as informações sobre todos os índices de porcentagem encontrados no interior de cada polígono.

Os índices de porcentagem de cobertura florestal foram divididos em classes consideradas como Extremamente Baixo (0% a 5%), Muito Baixo (6% a 17%), Moderadamente Baixo (18% a 35%), Moderadamente Alto (36% a 54%), Muito Alto (55% a 71%) e Extremamente Alto (72% a 89%).

Foram realizada a estatística descritiva (frequência, média, variância, desvio padrão da população e desvio médio) de cada classe dos índices de porcentagem. Esse procedimento se repetiu para todas as imagens do período de estudo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

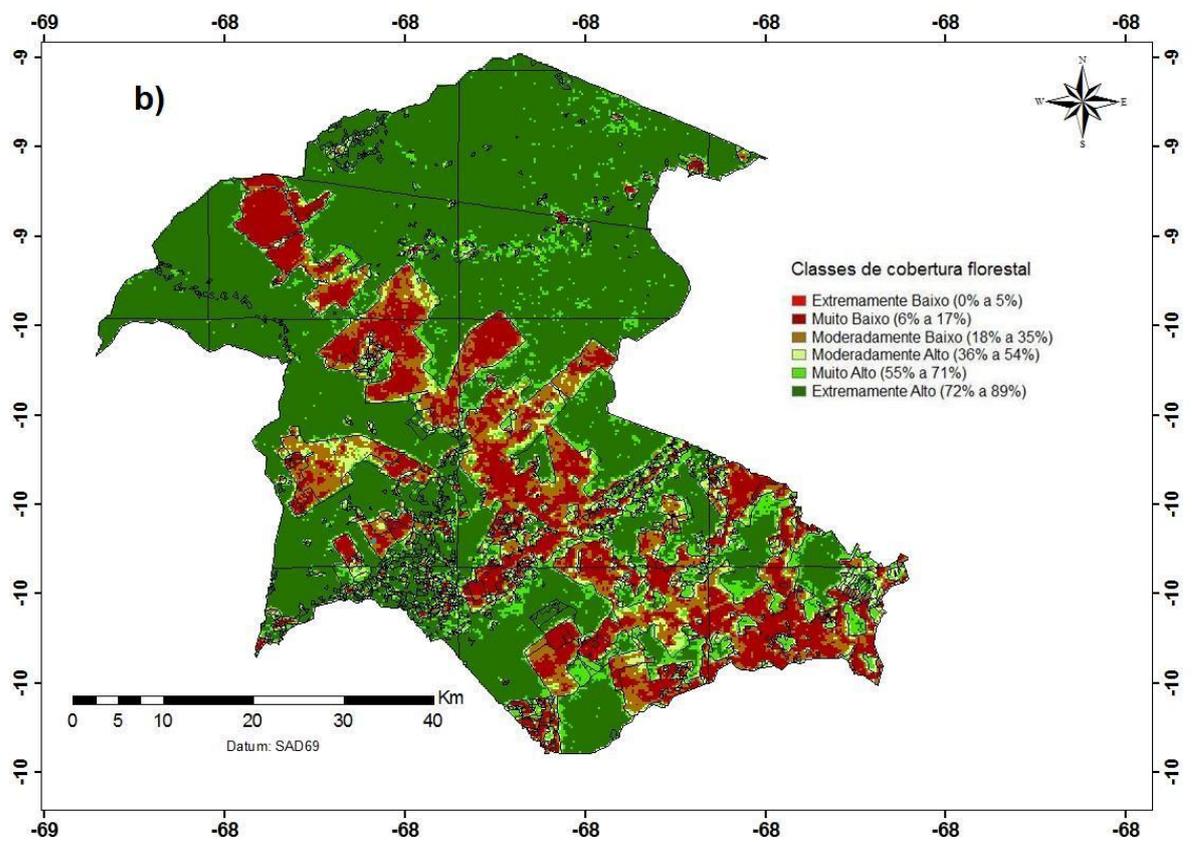
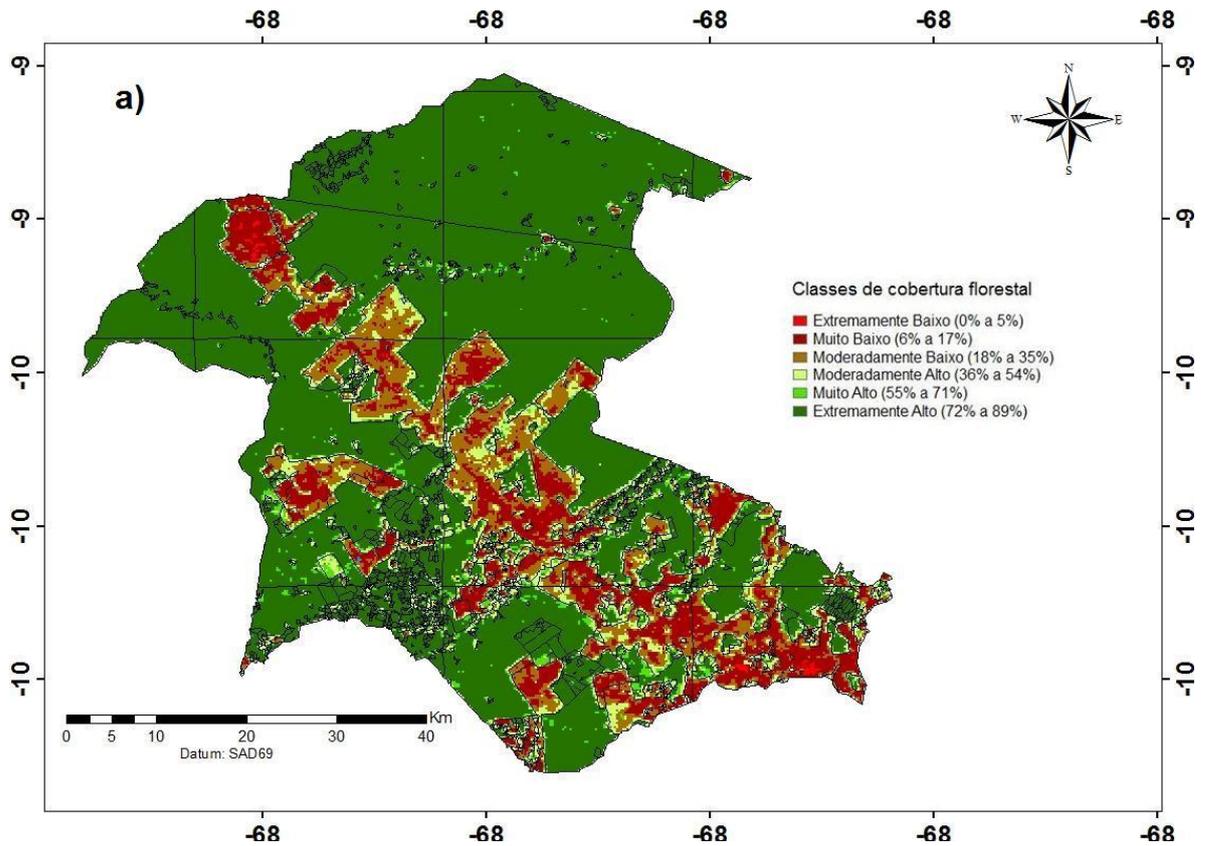
A partir da divisão dos índices de cobertura florestal em classes (Tabela 1), podem-se fazer algumas análises empíricas relacionadas às mudanças de uso e as forças direcionadoras que comandam o processo de desflorestamento no município de Bujari. A partir da sequência

temporal das imagens do produto MOD44B (Figura 4), buscou-se analisar as mudanças espaciais ocorridas na área de estudo, de modo a localizar as conversões de floresta, desflorestamento e regeneração a partir dos índices de cobertura florestal durante o período de 2000 a 2010.

A Tabela 1 representa a divisão em classes de todos os índices de cobertura florestal MODIS do município de Bujari nos anos de estudo. Analisando a distribuição espacial das classes de cobertura florestal (Figura 4) juntamente com a frequência de pixels, a classe com os maiores índices de cobertura florestal, Extremamente alto, foi de 65,14% no ano de 2001 e ao final do ano de 2010 chega a 35,06%, uma redução de 30,08%. Já nas classes Muito Alto e Moderadamente Alto há um aumento de 21,33% e 4,13% respectivamente para o mesmo período (Tabela 1). Com a diminuição dos índices de porcentagem mais altos e aumento dos índices de porcentagem mais baixos, podemos inferir que houve substituição dos índices de porcentagem mais altos ao longo dos 10 anos e conseqüentemente diminuição da densidade de cobertura florestal na região.

Tabela 1. Frequência de pixels em porcentagem das classes de cobertura florestal do município de Bujari, AC no período de 2000 – 2010.

Área total	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Extremamente baixo	0,26	0,17	0,01	0,24	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,00	0,04
Muito baixo	13,30	10,50	12,45	13,63	14,27	10,42	12,14	12,75	10,82	1,81	6,62
Moderadamente baixo	10,22	11,72	10,54	11,33	12,35	17,32	16,77	15,75	18,51	21,92	20,34
Moderadamente alto	6,39	8,97	7,20	9,94	6,38	9,23	9,33	13,24	14,02	10,51	13,10
Muito alto	16,06	3,50	12,74	17,31	10,24	11,48	18,41	15,58	20,01	17,90	24,83
Extremamente alto	53,76	65,14	57,06	47,54	56,74	51,54	43,33	42,67	36,63	47,87	35,06



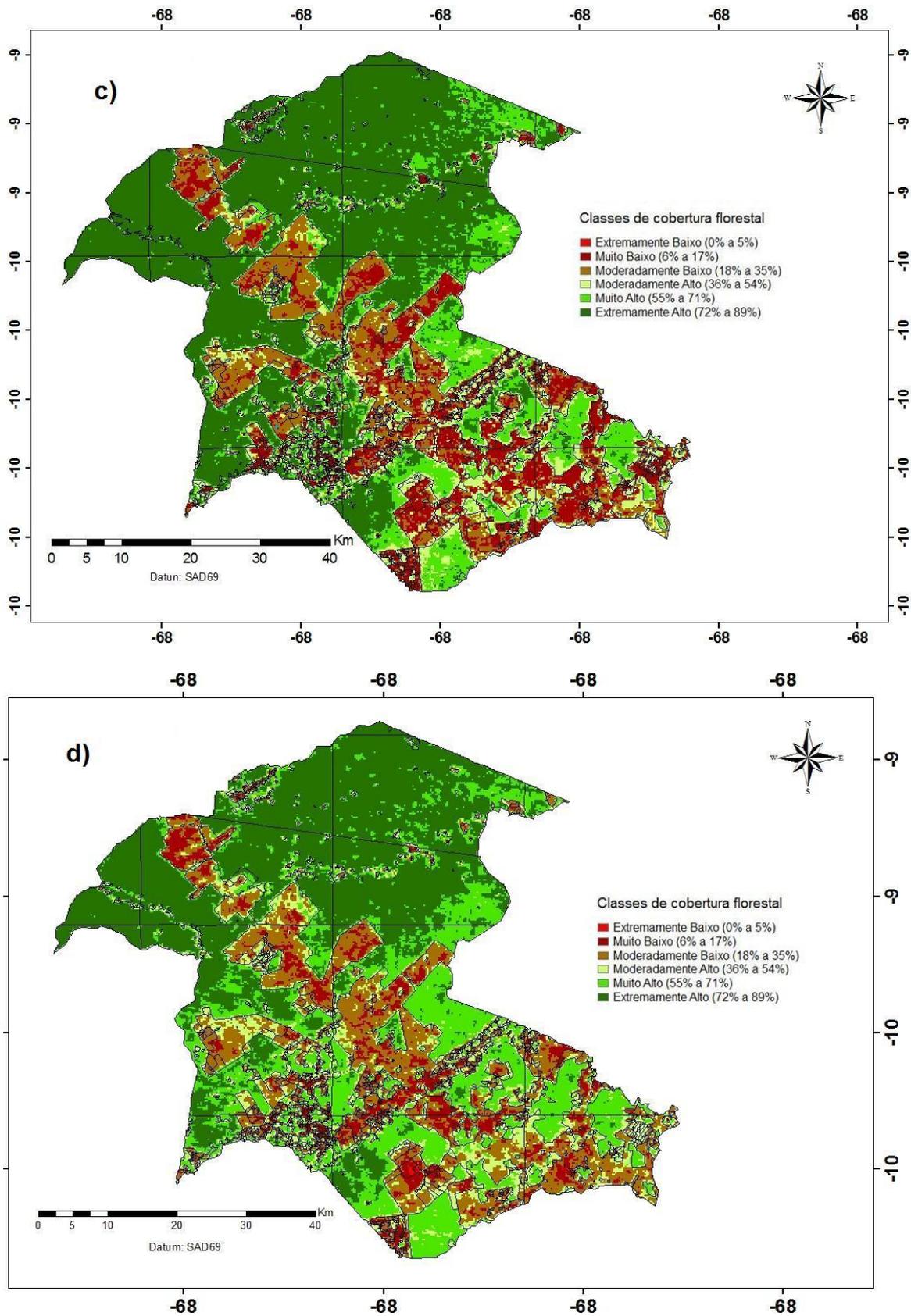


Figura 4. Análise temporal da cobertura florestal através da classes de porcentagem do produto MOD44B do município de Bujari, AC dos anos de 2001 (a), 2004 (b), 2007 (c) e 2010 (d).

De acordo com dados tabelados do sistema PRODES (Figura 5), o desflorestamento no município de Bujari aumentou gradativamente ao longo do período 2001 à 2012. A comparação com a distribuição da frequência de pixels de cada classe de cobertura florestal (Figura 6), confirma os resultados encontrados sobre a redução de classe de cobertura florestal Extremamente Alto.

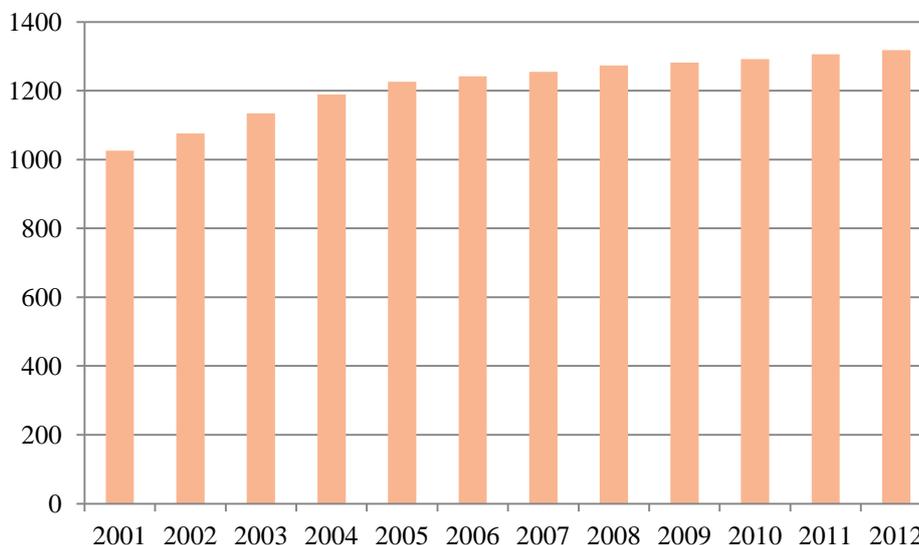


Figura 5. Distribuição da extensão do desmatamento segundo o sistema PRODES, em km². Fonte: Banco de dados PRODES.

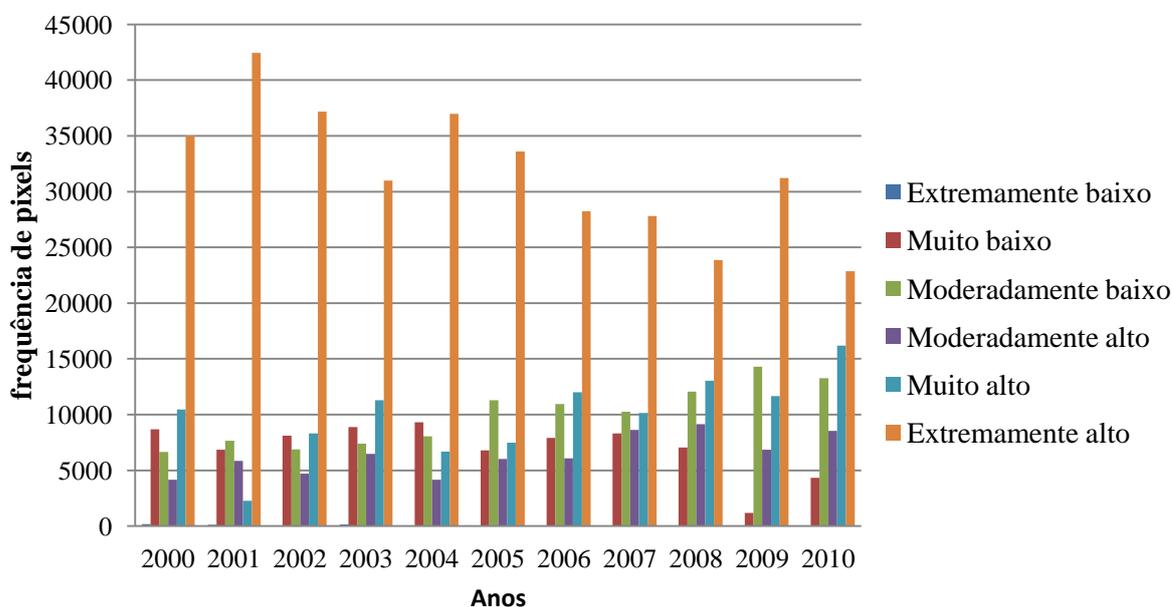


Figura 6. Classes de cobertura florestal do município de Bujari, AC, no período de 2000 – 2010.

Esta redução pode ser explicada pelo processo de ocupação do solo no estado do Acre que se deu principalmente na década de 80 a partir de políticas públicas de colonização, com a construção de rodovias e incentivos de aquisição de terras por grupos empresariais (nacionais e estrangeiros). Retirava-se a floresta com a premissa de garantia de propriedade da terra. Esses processos aceleraram a conversão de florestas em pastagens, para a produção agrícola em pequenas propriedades (IBGE, 2009). Segundo FEARNSSIDE (1996), áreas de pastagens abandonadas dão origem a vegetação secundária com regeneração mais lenta e menor acúmulo de biomassa, em comparação com a vegetação secundária de agricultura itinerante. Logo o processo de desflorestamento ocorre de forma mais rápida do que a capacidade de resiliência da floresta na região.

Porem nos anos de 2001, 2004 e 2009 na análise total do produto MOD44B no município, pode-se observar que houve picos de aumento da frequência de pixels da classe Extremamente Alta o que pode indicar regeneração da área (Figura 6). Comparando os anos de 2008 e 2009, as frequências da classe Extremamente Alto era de 36% e 47,87% respectivamente (Tabela 1 e Figura 8).

Este comportamento da distribuição espacial das classes de cobertura florestal nos anos de 2008 e 2009 (Figura 8) pode ser explicado de acordo com os dados tabelados PRODES, onde foi calculado que o ano de 2009 obteve o menor incremento de desmatamento no período de 2001 a 2012, com somente 9 km² (Figura 7). Essa possível regeneração da área pode ser justificada pela redução de distúrbios em larga escala, pois a dinâmica da regeneração é fortemente influenciada por fatores endógenos (estrutura da vegetação e interação entre espécies), que operam em escalas de milhares de metros quadrados ou menores (AUGSPURGER, 1984; VEBLER, 1992). Além disso, o uso menos intensivo do solo nos primeiros anos pós-desmatamento e o melhor estado do banco de sementes (UHL e CLARK, 1983) podem explicar a maior proporção de área regenerada em 2009 em relação aos anos anteriores.

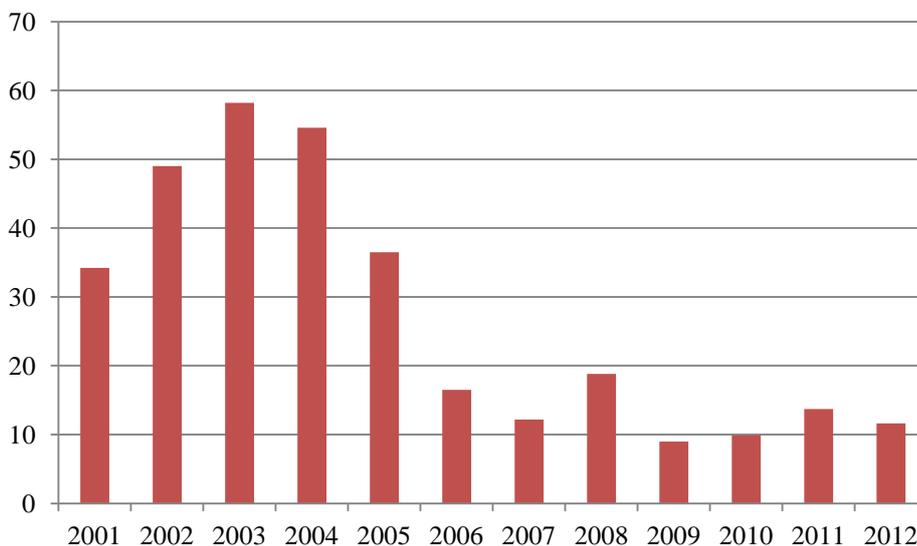


Figura 7. Distribuição do incremento do desmatamento segundo o sistema PRODES em Km²
 Fonte: Banco de dados PRODES.

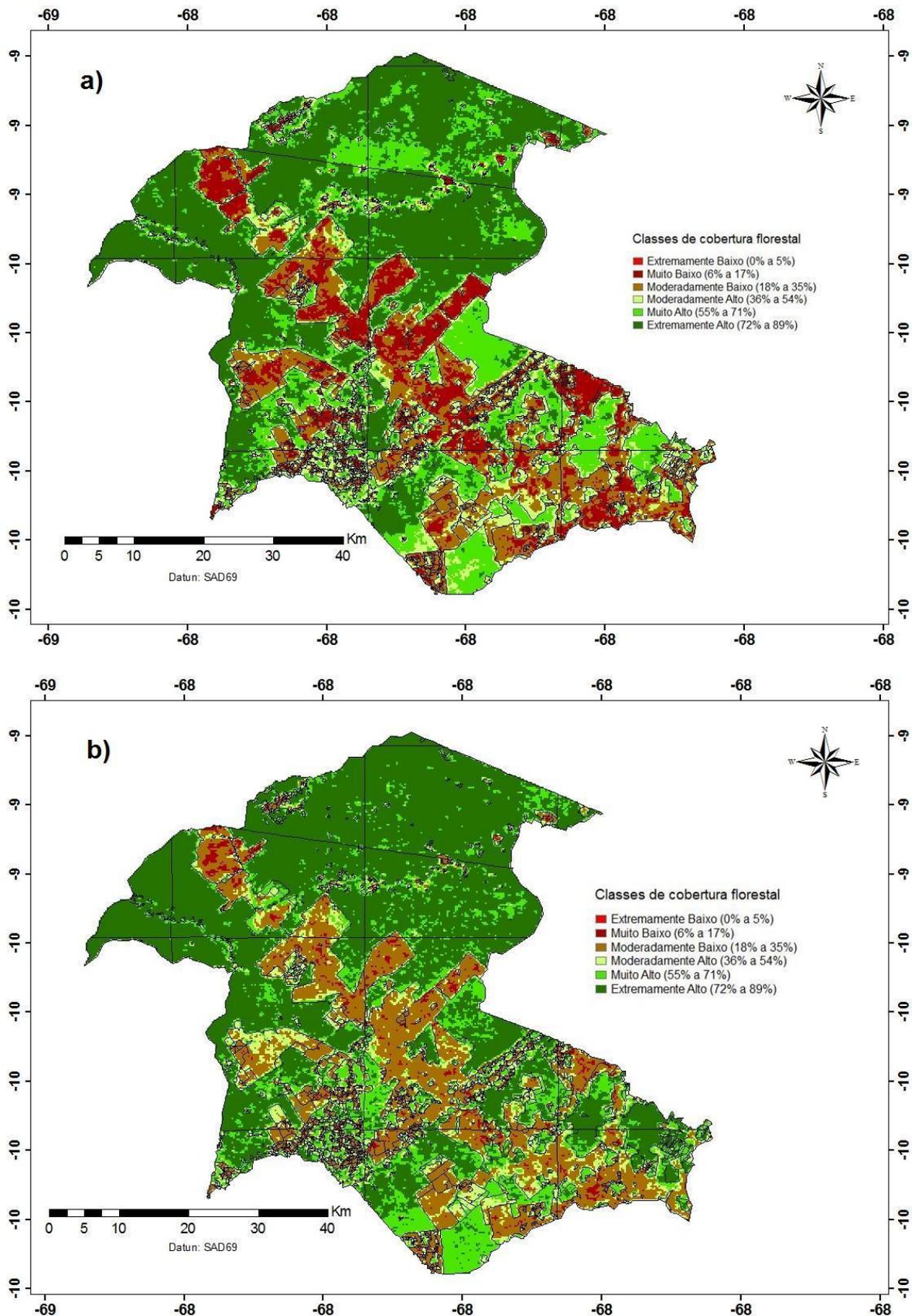


Figura 8. Dinâmica da vegetação de Bujari em 2008 (a) e 2009 (b).

4.1 Análise dos Polígonos PRODES Florestados

Comparando os mapas de 2001 e 2010 do município de Bujari, observa-se a mudança visual das classes de cobertura florestal em todo município. (Figura 9)

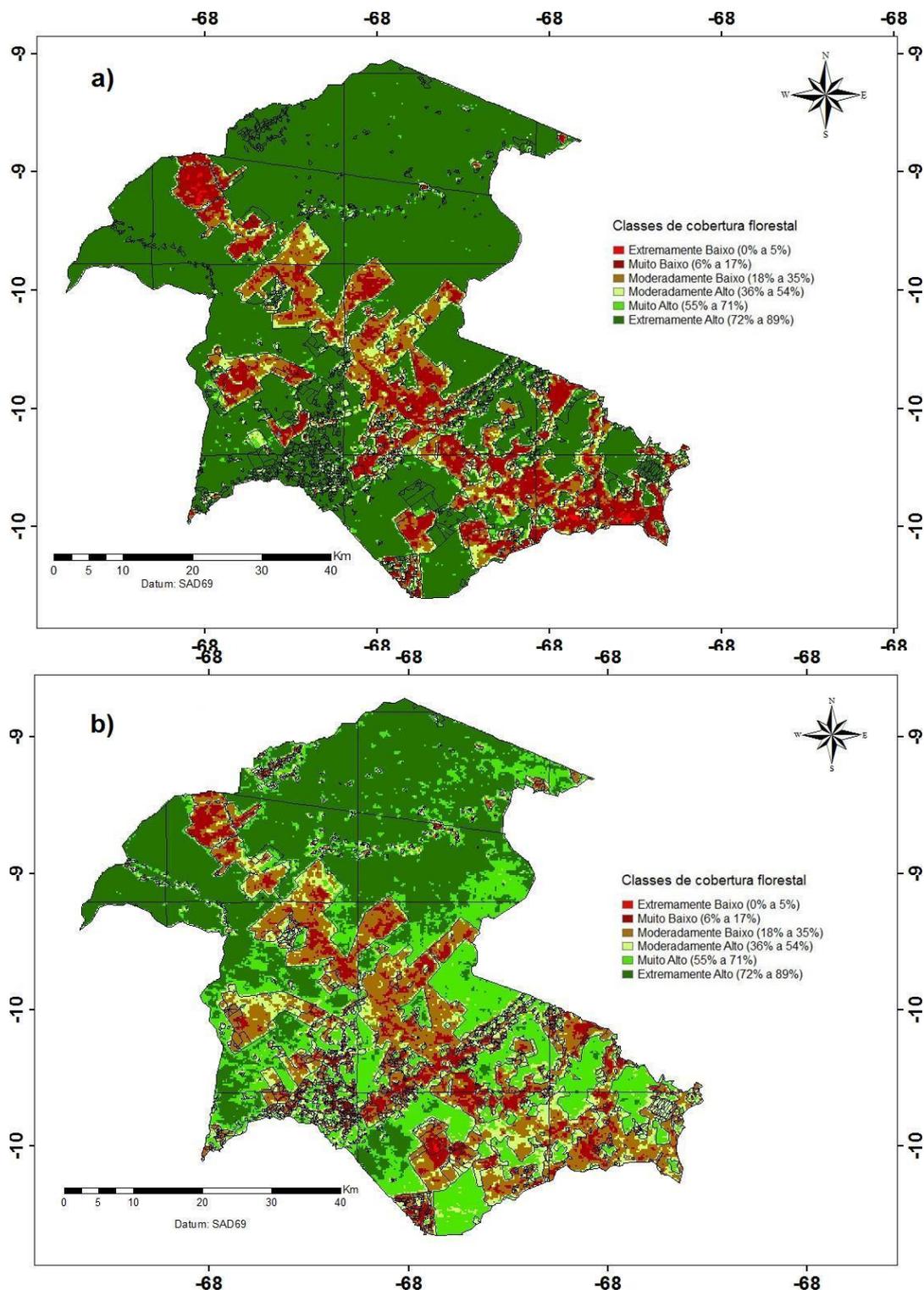


Figura 9. Dinâmica da vegetação em Bujari em 2001 (a) e 2010 (b).

De acordo com o produto MOD44B, a frequência de pixels na classe Extremamente Alto, nos polígonos florestados foi de 90,08% em 2001 e em 2010 foi de 53,72%. No ano de 2010 houve diminuição na classe de cobertura florestal Extremamente alto e um aumento da classe Muito Alto que possui índices de cobertura florestal mais reduzidos, principalmente no entorno dos polígonos desflorestados, o que evidencia a influência das áreas desflorestadas na densidade de áreas ainda intactas (Tabela 2).

Tabela 2. Frequência de pixels (%) das classes de cobertura florestal do município de Bujari no interior dos polígonos PRODES florestados.

FLORESTA	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Extremamente baixo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Muito baixo	0,16	0,14	0,22	0,22	0,25	0,18	0,27	0,97	0,20	0,02	0,11
Moderadamente baixo	1,31	1,17	1,12	1,51	1,71	2,68	2,32	2,11	2,91	1,69	2,72
Moderadamente alto	4,10	4,86	3,45	6,31	3,23	5,56	6,91	10,16	11,84	4,34	7,98
Muito alto	20,09	3,76	15,00	23,15	11,81	14,47	25,41	22,27	29,34	21,50	35,47
Extremamente alto	74,34	90,08	80,21	68,81	83,00	77,11	65,09	64,49	55,72	72,46	53,72

O resultado da análise estatística sobre a variabilidade das classes durante os 11 anos do estudo, mostrou que nos polígonos florestados a classe Extremamente Alto possui coeficiente de variação de 18,31%, apresentando-se de forma mais homogênea em comparação com as outras. Porém a média das frequências do índices classificados como Extremamente Alto, foi a que mais se destacou em relação as outras classes com 31457,27 pixels.(Tabela 3)

Tabela 3. Análise estatística das classes de cobertura florestal entre 2000 a 2001 do município de Bujari no interior dos polígonos PRODES florestados.

FLORESTA	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Variância	CV (%)
Extremamente baixo	0,18	0,60	0	2	0,36	331,66
Muito baixo	108,18	106,58	8	416	11358,96	98,52
Moderadamente baixo	841,36	262,26	512	1239	68778,25	31,17
Moderadamente alto	2722,72	1155,43	1414	5042	1335011	42,44
Muito alto	8797,81	3656,96	1740	15031	13373352	41,57
Extremamente alto	31457,27	5761,13	22766	41711	33190614	18,31

Apesar desta classe não possuir uma alta variabilidade durante o período de 2000 a 2010, a interpretação visual da dinâmica espacial nos mapas de Bujari, foi de extrema importância para inferir sobre os resultados, principalmente no que concerne a avaliação do comportamento da estrutura florestal próxima a polígonos desflorestados (Figura 4).

De acordo com Laurence et al.(1997) em um estudo realizado na floresta Amazônica durante 35 anos, relataram que a perda de biomassa florestal é de até 36% nos primeiros 100 metros dos fragmentos de floresta intacta em um período de isolamento de 10 a 17 anos. Os cálculos sugeriam que a perda de biomassa ao redor dos limites das florestas decorrente da fragmentação, poderia produzir até 150 milhões de toneladas de emissões de carbono anualmente.

4.2 Análise dos Polígonos PRODES Desflorestados

A baixa frequência de pixels das classes de Extremamente Alto e Muito Alto nos polígonos desflorestados PRODES indica que o produto MOD44B pode estar correto no que diz respeito a áreas desflorestadas. Porém a classe de Moderadamente Alto se mantém constante e o aumento gradativo principalmente da classe de Moderadamente Baixo (18% a 35%), (Tabela 3 e Figura 10) pode indicar um possível erro de inclusão no mapeamento PRODES onde áreas regeneradas ou em processo de regeneração são identificadas como desmatamento ao se utilizar dados brutos. A inclusão de novos polígonos PRODES considera exclusivamente a perda de floresta por corte raso, desconsiderando a recomposição da cobertura florestal pela formação de vegetação secundária em áreas abandonadas após o corte.

Tabela 4. Frequência de pixels (%) das classes de cobertura florestal do município de Bujari no interior dos polígonos PRODES desflorestados.

Desflorestamento ano a ano	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Extremamente baixo	0,92	0,59	0,03	0,78	0,05	0,06	0,05	0,06	0,03	0,00	0,13
Muito baixo	47,03	36,25	41,18	42,99	43,21	30,80	35,42	35,53	31,09	5,20	18,86
Moderadamente baixo	33,06	37,89	32,61	32,81	34,27	46,39	45,03	42,11	48,15	60,01	53,32
Moderadamente alto	12,20	19,10	15,94	17,84	12,83	16,45	13,96	19,03	17,91	21,72	22,48
Muito alto	5,66	2,78	7,37	4,47	6,88	5,40	4,65	2,65	2,29	10,91	4,85
Extremamente alto	1,12	3,39	2,87	1,12	2,76	0,90	0,89	0,62	0,54	2,17	0,36

A análise estatística dos polígonos desflorestados mostrou que a classe Moderadamente Baixo apresentou um coeficiente de variação relativamente baixo com 27,77% indicando homogeneidade entre os anos de estudo. Porém apresentou a maior média em relação as outras classes com 9018,46 pixels (Tabela 5). Como já citado anteriormente, foi necessária a análise conjunta da interpretação visual da dinâmica espacial das classes nos mapas de Bujari, além das informações contidas nos dados tabelados PRODES (Figura 4).

O aumento da classe Moderadamente Baixo que em 2004 passou de 34,27% para 46,39% em 2005 e a redução da classe de Muito Baixo de 43,21% para 30,8% no mesmo período (Tabela 3), pode ser justificado pela diminuição do incremento de desmatamento calculado pelo sistema PRODES, que em 2004 era de 58,2 km² e reduziu para 54,6 km² em 2005. A após o ano de 2004, houve a diminuição relativa dos incrementos de desmatamento segundo PRODES (Figura 7), acompanhando a substituição da frequência de pixels da classe de Muito Baixo para Moderadamente Baixo nos anos posteriores a 2005 nas imagens MODIS (Figura 10)

Tabela 5. Análise estatística das classes de cobertura florestal entre 2000 a 2001 do município de Bujari no interior dos polígonos PRODES desflorestados.

Desflorestamento ano a ano	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	Variância	CV (%)
Extremamente baixo	48	64,88	1	169	4209,6	135,17
Muito baixo	6924	2334,27	1170	9191	5448823	33,71
Moderadamente baixo	9018,36	2505,06	6043	13509	6275341	27,78
Moderadamente alto	3649,81	870,17	2230	5089	757195	23,84
Muito alto	1111	554,47	513	2455	307440	49,91
Extremamente alto	312,09	209,39	82	635	43846,09	67,09

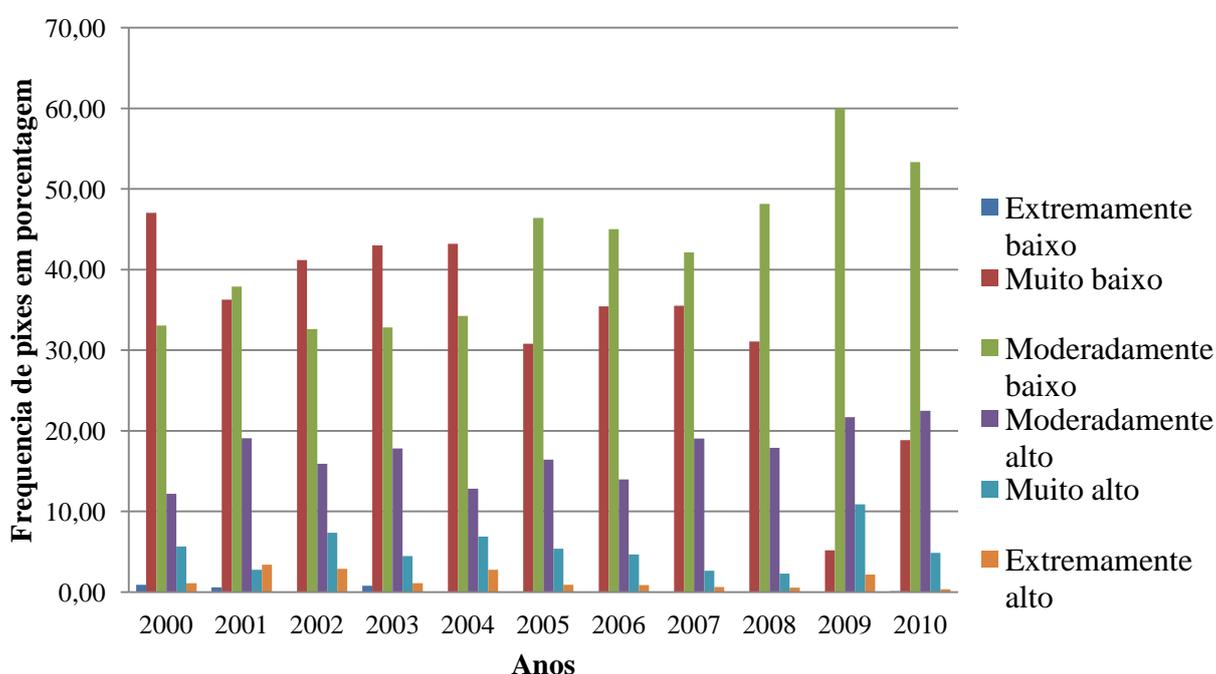


Figura 10. Classes de cobertura florestal no interior dos polígonos PRODES desflorestados.

5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo, ainda que em caráter preliminar, indicam relevante alteração da paisagem ao longo dos 11 anos analisados. A análise espacial e temporal da distribuição de pixels divididos em classes de porcentagem de cobertura florestal nas imagens, pode explicar a dinâmica de desmatamento e regeneração da área de estudo, pois acompanha o resultado dos dados brutos calculados pelo sistema PRODES. Além disso, a redução da frequência de pixels classificados como Extremamente Alto entre os anos de 2001 a 2010, também pode inferir sobre possíveis alterações não facilmente perceptíveis em áreas ainda intactas compatíveis com dados da literatura onde os impactos causados por fragmentos ocasionam perda da biomassa florestal nas áreas de entorno.

A redução do tamanho dos incrementos desflorestados PRODES na região, ao ser comparados com as imagens MODIS, mostram que pode haver uma possível regeneração. O dados brutos do sistema PRODES não inferem sobre áreas regeneradas o que pode superestimar os valores de desmatamento total.

Nas análises estatísticas, algumas classes não apresentaram variabilidade significativa entre os anos. Porém a alta frequência de pixels, juntamente com a análise espacial, dessas classes, podem revelar possível relação com os dados PRODES. É importante resaltar que as análises de frequência devem ser feitas juntamente com a classificação visual dos mapas. As validações em loco, principalmente para áreas regeneradas, deverão ser realizadas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMI, M.; FREITAS, R. M. de; PADOVANI, C. R.; SHIMABUKURO, Y. E.; MOREIRA, M. A. Estudo da dinâmica espaço-temporal do bioma Pantanal por meio de imagens MODIS. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.43, p.1371-1378, 2008.

ALVES, D. S.; PEREIRA, J. L. G.; SOUSA, C. L.; SOARES, J. V.; YAMAGUCHI, F. Characterizing landscape changes in central Rondônia using Landsat TM imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v.20, n. 14, p. 2877-2882, 1999.

ALVES, D. S. Space-times dynamics of deforestation in Brazilian Amazon. **International Journal of Remote Sensing**, v. 23, n.14, p. 2903-2908, 2002.

ALVES, D. S.; ESCADA, M. I. S.; PEREIRA, J. L. G.; LINHARES, C. A. Land use intensification and abandonment in Rondônia, Brazilian Amazonia. **International Journal of Remote Sensing**. v. 24, n.4, p. 899-903, 2003.

ALVES, D. S. Cenários de cobertura e uso da terra e dimensões humanas no LBA. 2007. In: BECKER, B.; ALVES, D. S.; COSTA, W. (Orgs.). Dimensões Humanas da Biosfera. Atmosfera na Amazônia. **EDUSP**, São Paulo. p. 39-63.

ALVES, D. S. Science and technology and sustainable development in Brazilian Amazon. 2007a In: TSCHARNTKE, T. et al. (Eds.), **The stability of tropical rainforest margins**. Berlin: Springer. p. 493-512.

ANDERSON, L. O.; LATORRE, M. L.; SHIMABUKURO, Y. E.; ARAI, E. CARVALHO, O. A. Jr. **Sensor Modis: Uma abordagem geral**. São José dos Campos: INPE, 2003. 58 p.

BARLOW, J.; PERES, C. A.; HENRIQUES, L. M. P.; STOUFFER, P. C.; WUNDERLE, J. M. The responses of understory birds to forest fragmentation, logging and wildfires: An Amazonian synthesis. **Biological Conservation**, v. 128, n. 2, p. 182-192, 2006. ISSN 0006-3207. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000236015200004 >

BARKER, J.L.; HARDEN, M.K.; ANUTA, E.A.; SMID, J.; HOUGHT, D. MODIS spectral sensitivity study: requirements and characterization. Washington: Nasa, Oct, 1992, 84p.

BATISTELLA, M.; ROBESON, S.; MORAN, E. F. Settlement design, forest fragmentation, and landscape change in Rondonia, Amazonia. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.69, p.805-812, 2003.

BATISTELLA, M.; MORAN, E. F. Dimensões humanas do uso e cobertura das terras na Amazônia: uma contribuição do LBA. **Acta Amazonica**, v.35, n.2, p.239-247, 2005.

CÂMARA, G.; VALERIANO, D.M.; SOARES, J.V. **Metodologia para o cálculo da taxa anual de desmatamento na Amazônia Legal**. São José dos Campos: INPE, 2006. 24p. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/index.html>>. Acesso em: 10 maio de 2013.

CARROLL, M., TOWNSHEND, J., HANSEN, M., DIMICELI, C., SOHLBERG, R., WURSTER, K. Vegetative Cover Conversion and Vegetation Continuous Fields. In RAMACHANDRAN, B., JUSTICE, C.O., ABRAMS, M. (eds.) *Land Remote Sensing and Global Environmental Change: NASA's Earth Observing System and the Science of ASTER and MODIS* Springer-Verlag. 2011.

CASA CIVIL. Plano de Ação para a Preservação e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal. Grupo Permanente de Trabalho Interministerial para Redução dos Índices de Desmatamento na Amazônia Legal. Decreto 3, 2003. Brasília, 2003. 156 p. <<http://www.presidencia.gov.br/casacivil/desmat.pdf>> Acesso em 5 de março 2013.

DeFRIES, R.; HOUGHTON, R. A.; HANSEN, M.; FIELD, C.; SKOLE, D. L.; TOWNSHEND, J. Carbon emissions from tropical deforestation and regrowth based on satellite observations for the 1980s and 90s. **Proc. Natl. Acad. Sci.**, v. 99, n. 22, 14 p. 256–14 261, 2002.

DUARTE, V.; SHIMABUKURO, Y. E.; SANTOS, J. R. dos.; MELLO, E. M. K.; MOREIRA, J.C.; MOREIRA, M. A.; SOUZA, R. C. M. de.; SHIMABUKURO, R. M. K.; FREITAS, U. M. de. **Metodologia Para Criação do PRODES Digital e do Banco de Dados Digitais da Amazônia - PROJETO BADDAM 1**. São José dos Campos: INPE , 2003. 41 p.

ESPINDOLA, G. M.; CRUSCO, N. A; EPIPHANIO, J. C. N. Aplicação da Metodologia do PRODES em Imagens CCD/CBERS-2. In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORAMENTO REMOTO. **Anais...** v. 2, 2005 p. 923–930

FEARNISIDE, P. M. Deforestation in Brazilian Amazonia: History, rates, and consequences. **Conservation Biology**, v.19, n. 3, p. 680-688, 2005.

FERREIRA, L. G.; SILVA, A. A.; JESUS, E. T.; SANO, E. E.; & SHIMABUKURO, Y. E. Monitoramento Sistemático da Cobertura Vegetal no Bioma Cerrado através dos Índices de Vegetação MODIS. XI SBSR. **Anais...** Belo Horizonte: INPE, 2003. p. 2729 – 2736.

FERREIRA, S. J. F.; LUIZÃO, F. J.; DALLAROSA, R. L. G. Precipitação interna e interceptação da chuva em floresta de terra firme submetida à extração seletiva de madeira na Amazônia Central. **Acta Amazonica**, v. 35, n. 1, p. 55-62, 2005.

FIDALGO, E. C. C.; CREPANI, E.; DUARTE, V.; SHIMABUKURO, Y. E.; PINTO, R. M. S.; DOUSSEAU, S. L. Mapeamento do uso e da cobertura atual da terra para indicação de áreas disponíveis para reservas legais: estudo em nove municípios da região Amazônica. **Revista Árvore**, v.27, n.6, p.871-877, 2003.

GARCIA, R. A.; SOARES-FILHO, B. S.; SAWYER, D. O. Socioeconomic dimensions, migration, and deforestation: An integrated model of territorial organization for the Brazilian Amazon. **Ecological Indicators**, v. 7, p. 719–730, 2007.

GASH, J. H.C., NOBRE, C. A., ROBERTS, J. M., VICTORIA, R. L. (EDTS), 1996. *Amazonian Deforestation and Climate*. (John Wiley and Sons, New York)

HANSEN, M. C., DeFRIES, R.S., TOWNSHEND, J.R.G.; SOHLBERG, R. Global land cover classification at 1km spatial resolution using a classification tree approach, **International Journal of Remote Sensing**, v.21, p. 1331-1364, 2000.

HANSEN, M.C., SOHLBERG, R., DIMICELI, C., CARROLL, M., DeFRIES, R.S.; TOWNSHEND, J.R.G. Towards an operational MODIS continuous field of percent tree cover algorithm: Examples using AVHRR and MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, v.83 p.303-319, 2002

HANSEN, M.C., SOHLBERG, R., DIMICELI, C., CARROLL, M., DeFRIES, R.S.; TOWNSHEND, J.R.G DIMICELI, C.; SOHLBERG, R. Global Percent Tree Cover at a Spatial Resolution of 500 Meters: First results of the MODIS Vegetation Continuous Fields Algorithm. **Earth Interactions**, v. 7, p. 1 – 15, 2003.

HANSEN, M. C., DeFRIES, R.S., TOWNSHEND, J.R.G.; CARROLL, M.. Estimation of tree cover using MODIS data at global, continental and regional/local scales. **International Journal of Remote Sensing**, v. 26, n. 19, p. 4359-4380, 2005.

HANSEN, M C.; SHIMABUKURO, Y E.; POTAPOV, P.; PITMAN, K. 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. Disponível em: <<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0034425708001727>>. Acesso em: 3 Julho. 2013.

HOUGHTON, R.A.; SKOLE, D. R.; NOBRE C. A.; HACKLER J. L.; LAWRENCE, K.T.; CHOMENTOWSK, W.H. Annual fluxes of carbon from deforestation and regrowth in the Brazilian Amazon. **Nature**, v. 403, p 301-304, 2000

HUETE, A. R.; JUSTICE, C.; LEEUWEN, W. V. 1999: MODIS vegetation index (MOD13). Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD), 122 p. Disponível em: <http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod13.pdf>

JUSTICE, C; VERMOTE, E. F.; TOWNSHEND, J. R. G.; CHARLOTTESVILLE, V.A.; VERMOTE, E. ; TOWNSHEND, J.R.G. ; DeFRIES, R. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): Land Remote Sensing for Global Change Research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, n. 4, 1998.

JUSTICE, C. O.; TOWNSHEND, J. R. G.; VERMOTE, E. F.; Masouka, E.; Wolfe, R. E.; Saleous, S.; Roy, D. P.; MORISETTE, J. T. An overview of MODIS Land data processing and product status. **Remote Sensing of Environment**, v.83, p. 3–15, 2002^a.

LAMB, D.; ERSKINE, P. D.; PARROTTA, J. A. Restoration of Degraded Tropical Forest Landscapes . **Science**, v. 310, n. 5754, p. 1628 – 1632, 2005.

LAURANCE, W. F.; ALBERNAZ, A. K. M.; FEARNSSIDE, P. M.; VASCONCELOS, H. L.; FERREIRA, L.V. Deforestation in Amazonia. **Science**, v.304, n.5674, p.1109 – 1111, 2004.

MACHADO, L. A fronteira agrícola na Amazônia. In: Becker, B. K.; Christofolletti, A.; Davidoch, F. R.; Geiger, R. P. P. Ed. **Geografia e meio ambiente no Brasil**, p. 181-217. 1998.

MELLO, A. Y. I. de. **Fatores Espaciais e Temporais Relacionados ao Percentual de Vegetação Secundária em Áreas Desflorestadas na Amazônia**. 2009. 78 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). INPE, São José dos Campos, 2009

METZGER, J. P.; OLIVEIRA FILHO, F. J. B. Thresholds in landscape structure for three common deforestation patterns in the Brazilian Amazon. **Landscape Ecology**, v. 21, p. 1061–1073, 2006.

MORAN, E, F.; BRONDIZIO, E.; MAUSEL, P.; WU, Y. Integrating Amazonian vegetation, land-use, and satellite data. **BioScience**, v.44, n.5, p.329-338, 1994.

NEPSTAD, D.; MCGRATH, D.; ALENCAR, A.; BARROS, A.C.; CARVALHO, G.; SANTILLI, M.; VERA DIAZ, M. C. Frontier Governance in Amazonia. **Science**, n. 295, p. 629-631, 2002.

NOBRE, C. A.; NOBRE, A. D. O balanço de carbono da Amazônia brasileira. **Estudos avançados**, v. 16, n. 45, p. 81-90, 2002. ISSN 0103-4014. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010340142002000200006&nrm=i so>. Acesso em: junho 2013.

NOVO, E. M. L. de M.; VASCONCELOS, C. H. Mapeamento do uso e cobertura da terra a partir da segmentação e classificação de imagens – fração solo , sombra e vegetação derivadas do modelo linear de mistura aplicado a dados do sensor TM / Landsat5 , na região do reservatório de Tucuruí - PA . **Acta Amazonica**, v. 34, n. 3, p. 487–493, 2004.

PAVELSKY, T.M. & L. C. SMITH, Spatial and temporal patterns in Arctic river ice breakup observed with MODIS and AVHRR time series, **Remote Sensing of Environment**, v. 93, n. 3, p. 328-338, 2004.

PONZONI, F. J.; REZENDE, A. C. P. Caracterização espectral de estágios sucessionais de vegetação arbórea secundária arbórea em Altamira (PA), através de dados orbitais. **Revista Árvore**, v.28, n.4, p.535-545, 2004.

RUNNING, S. W.; JUSTICE, C. O.; SALOMONSON, V. V.; HALL, D.; BARKER, J.; KAUFMAN, Y. J.; STRAHLER, A. H.; HUETE, A. R.; MULLER, J.-P.; VANDERBILT, V.; WAN, Z. M.; TEILLET, P.; CARNEGGIE, D. Terrestrial remote sensing science and algorithms planned for EOS/MODIS. **International Journal of Remote Sensing**, v. 15, n.17, p. 3587– 3620, 1994.

SADER, S. A.; POWELL, G. V. N.; RAPPOLE, J. H. Migratory bird habitat monitoring through remote sensing. **International Journal of Remote Sensing**, v.12, p. 363–372, 1991

SALOMONSON, V. V.; BARKER, J.L. 1992. EOS Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer: phase C/D status and comments on calibration and georeferencing approaches. In: Annual AAS Guidance and Control Conference, 15., Keystone, CO **Proceedings**. Keystone: AAS. 1992.

SANO, E. E.; WATRIN, O. S.; FUNAKI, R. S.; MEDEIROS, J. S.; DIAS, R. W. Levantamento do uso atual da terra através de imagens do Landsat 5-TM na microregião de Tomé-Açu e alguns municípios das microregiões do Baixo Tocantins e Guajarina (PA). Belém: **SUDAM-CHSRA/ OEA**, 1989. 67p.

SHIMABUKURO, Y. E.; SANTOS, J. R.; AQUINO, L. C. S. **Vegetation survey in Amazonia using Landsat data**. São José dos Campos: INPE, 1982. 7p. (INPE-2409-PRE/118)

SKOLE, D.; TUCKER, C. Tropical deforestation and habitat fragmentation in the amazon – satellite data from 1978 to 1988. **Science**, v.260, p.1905-1910, 1993.

SMITH, N.J.H.; SERRÃO, E.A.S.; ALVIM, P.T.; FALESI, I.C. Amazonia: Resiliency and dynamism of the land and its people. **United Nations University Press**, Tokio, 1995.

STOUFFER, P. C.; BIERREGAARD, R. O.; STRONG, C.; LOVEJOY, T. E. Long-term landscape change and bird abundance in Amazonian rainforest fragments. **Conservation Biology**, v. 20, n. 4, p. 1212-1223, 2006. ISSN 0888-8892. Disponível em: <<Go to ISI>://WOS:000239545500032 >. Acessado em: julho 2013.

STRAHLER, A.; MUCHONEY, D.; BORAK, J.; FRIEDL, M.; GOPAL, S.; LAMBIN, E.; MOODY, A. **MODIS land cover and land-cover change products algorithm theoretical basis document (ATBD). Version 5.0**, Center for Remote Sensing, Department of Geography, Boston: University, 1999. 72p.

SZOTT, L. T.; PALM, C. A.; BURESH, R. J. Ecosystem fertility and fallow function in the humid and subhumid tropics. **Agroforestry Systems**, v.47, n. 1-3, p.163-196, 1999.

TARDIN, A. T. et al. **Subprojeto desmatamento: convênio IBDF/CNPq – INPE**. São José dos Campos: INPE, 1980. (Technical Report, INPE-1649-RPE/103)

TOWNSHEND, J.; HANSEN, M.; CARROLL, M.; DIMICELI, C.; SOHLBRG, R.; HUANG, C; **User Guide for the MODIS Vegetation Continuous Fields product Collection 5 version**, University of Maryland, 2011.

VERMOTE, E. F., VERMEULEN, A. **Atmospheric correction algorithm: spectral reflectances (MOD09)**. Maryland, Versão 4, 1999. Algorithm Theoretical Background Document. 107 p.

WESSELS, K. J.; DeFRIES, R. S.; DEMPEWOLF, J.; ANDERSON, L. O.; HANSEN, A. J.; POWELL, S. L.; MORAN, E. F. Mapping regional land cover with MODIS data for biological conservation: Examples from the Greater Yellowstone Ecosystem, USA, and Pará State, Brazil. **Remote Sensing of Environment**, v.92, p. 67–83, 2004.

ZHANG, X.; FRIEDL MARK A.; SCHAAF. B. C.; STRAHLER, H.A.; HODGES, J. C.F.; GAO, F.; REED. B. C.; HUETE, A. Monitoring vegetation phenology using MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v.84, p.471– 475, 2003.

ZHAN, X.; SOHLBERG, R.; TOWNSHEND, J. R. G.; DIMICELIX, M. L.; CARROL, M.; EASTMAN, E. C.; HANSEN, M. C.; DEFRIES, R. S. Detection of land cover changes using MODIS 250m Data. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, p. 336-350, 2002.