

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA FLORESTAL**

**ELAINE DE FÁTIMA DUTRA PEREIRA**

**EXPLORAÇÃO MADEIREIRA E A EXPANSÃO DO BAMBU (*Guadua* spp.)  
EM FLORESTAS NO LESTE DO ACRE**

**RIO BRANCO  
ACRE – BRASIL  
MAIO – 2019**

ELAINE DE FÁTIMA DUTRA PEREIRA

EXPLORAÇÃO MADEIREIRA E A EXPANSÃO DO BAMBU (*Guadua* spp.) EM  
FLORESTAS NO LESTE DO ACRE

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Acre, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, para a obtenção do título de Mestre em Ciência Florestal.

**Área de Concentração:** Manejo Florestal

**Orientador:** Dr. Evandro José Linhares Ferreira

**Coorientadora:** Dra. Anelena Lima de Carvalho

RIO BRANCO  
ACRE – BRASIL  
MAIO – 2019

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

---

- P434e Pereira, Elaine de Fátima Dutra, 1990 -  
Exploração madeireira e a expansão do bambu (*Guadua spp*) em florestas no leste do Acre / Elaine de Fátima Dutra Pereira; orientador: Dr. Evandro José Linhares Ferreira. – 2019.  
87 f.: il. ; 30 cm.
- Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Acre, Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Mestre em Ciência Florestal, Rio Branco, 2019. Inclui referências bibliográficas.
1. Exploração madeireira - Acre. 2. Acre – Expansão do Bambu(*Guadua spp*). 3. Tipologias florestais - Acre. I. Ferreira, Evandro José Linhares. II. Título.

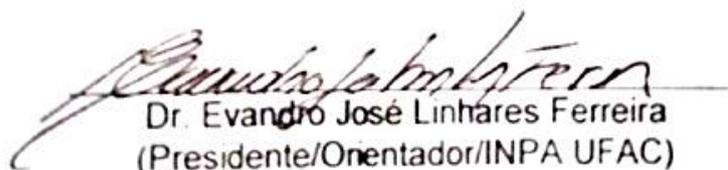
CDD: 634



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE  
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Centro de Ciências Biológicas e da Natureza  
Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal

ATA DE SESSÃO DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO  
DO MESTRANDO, DISCENTE DO PROGRAMA DE  
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA FLORESTAL  
ELAINE DE FÁTIMA DUTRA PEREIRA,  
REALIZADA NO DIA VINTE E OITO DE MARÇO DE  
2019.

Às quinze horas do dia vinte e oito do mês de março de 2019, na sala de videoconferência da Universidade Federal do Acre, realizou-se a Defesa de Dissertação intitulada "Exploração madeireira e a expansão do bambu (*Guadua* spp.) em florestas no leste do Acre", de autoria da mestranda: **Elaine de Fátima Dutra Pereira**, discente do Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, em nível de Mestrado (UFAC). Na ocasião, a Comissão Examinadora esteve constituída pelos membros **Dr. Evandro José Linhares Ferreira (Presidente/INPA)**, **Dra. Anelena Lima de Carvalho (Consultora BID/SEMA)**, **Dr. Eufan Ferreira do Amaral (Embrapa Acre)**, **Dra. Sonaira Souza da Silva (Suplente/UFAC/Campus Floresta)**. Após a exposição oral, houve arguição pelos examinadores e ao final da arguição, reaberta a sessão pública, a discente foi considerada aprovada pela Comissão Examinadora. Para constar, foi lavrada a presente ata, que será assinada pelos membros da Comissão.

  
Dr. Evandro José Linhares Ferreira  
(Presidente/Orientador/INPA UFAC)

  
Dra. Anelena Lima de Carvalho  
(Membro Externo/SEMA)

  
Eufan Ferreira do Amaral  
(Membro Externo/Embrapa Acre)

À minha avó Maria do Livramento (*in memoriam*).

Dedico.

*“Todos nós desejamos ter superpoderes.  
Todos desejamos que pudéssemos fazer  
mais do que podemos fazer. ”*

Stan Lee (1922 - 2018)

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Acre (UFAC) e ao Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal (CIFLOR), pelos conhecimentos adquiridos nos últimos dois anos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão de bolsa de estudo durante os últimos 24 meses.

Ao meu orientador Dr. Evandro Ferreira e à minha coorientadora Dra. Anelena Carvalho, por todas as orientações, instruções, “puxões de orelha” e outros ensinamentos que apenas eles poderiam me proporcionar nesta jornada.

Ao MSc. Saine Fortes, por todo o conhecimento oferecido que foi aplicado à dissertação. Mesmo nos horários mais incômodos, sem dúvidas foi um importante preceptor deste trabalho, assim como meus orientadores.

À Prof.<sup>a</sup> Dra. Keiti Roseane, pela oportunidade oferecida de realizar a docência orientada e pela amizade que será levada para toda a vida.

À Prof.<sup>a</sup> Dra. Sonaira Silva, pelas orientações e materiais importantíssimos ao desenvolvimento do estudo e participação na banca avaliadora da defesa.

Ao Dr. Eufraan Amaral, por meio da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) por sua participação na banca avaliadora da defesa.

Aos companheiros de trabalho Suelem Pontes, Daniel Lima, Dixon Afonso e Antônio Bezerra, por estarem presentes em minha primeira oportunidade de emprego como profissional formada e incentivarem o ingresso no mestrado.

Aos colegas de curso: Ana Paula, Arnaldo, Cleverson, Diogo, Jamila, Jamile, José Renato e Israel pelos bons momentos juntos ao longo destes últimos dois anos.

Aos novos amigos Ana Pâmela, Alice, Alexandra, Égon, Gabriel e Marcelo, colegas de mestrado que conheci nos últimos meses e que se tornaram especiais nesta jornada.

Ao Erick e sua mãe Veraleuda, meu companheiro de vida e sua mãe que me acolheu como filha, sempre presentes e cheios de amor nesta jornada longa e difícil que foi para os dois nos últimos anos.

À Raimunda Possidônio e ao Marciano Ricardo (*in memoriam*), avó e pai do Erick, os quais também apoiaram meu ingresso no mestrado e infelizmente não estão mais presentes entre nós para presenciar essa conquista.

Por fim, agradecimentos imensos à minha família: João (pai), Lena (mãe), Aline (irmã), Mateus (irmão), Chico (cunhado), Nanci (avó) e Elis (sobrinha) por todo o apoio e incentivo para tornar esse sonho realidade.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAR-AC	Escritório do Cadastro Ambiental – Acre
CBERS	China-Brazil Earth Resources Satellite
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DAP	Diâmetro à altura do Peito
EG	Exatidão Global
FEA	Floresta Estadual do Antimary
FPNE	Floresta Primária Não Explorada
FUNTAC	Fundação de Tecnologia do Estado do Acre
GeoTIFF	Georeferenced Tagged Image File Format
ha	Hectares
IDL	Interactive Data Language
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
GPL	General Public License
K	Índice Kappa
LABGAMA	Laboratório de Geoprocessamento Aplicado ao Meio Ambiente
LANDSAT	Land Remote Sensing Satellite
MAXVER	Maximum Likelihood
MINDIS	Minimum Distance
OLI	Operational Land Images
OSGeo	Open Source Geospatial Foundation
PDI	Processamento Digital de Imagens
PMFS	Plano de Manejo Florestal Sustentável
ROI	Region of Interest
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SPOT	Système Pour l'Observation de la Terre
SR	Sensoriamento Remoto
t	Toneladas
TM	Thematic Mapper
UCEGEO	Unidade Central de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto
UTM	Universal Transversa de Mercator
WGS	World Geodetic System

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Diferentes tipos de rizoma em bambus. Fonte: adaptado de Souza (2010).  
..... 4
- Figura 2** - Mapa de localização e distribuição da ocorrência de florestas com bambu (manchas escuras) no Sudoeste da Amazônia. Fonte: Bianchini (2005). ..... 6
- Figura 3** - Localização das propriedades em estudo (ponto central amostral dentro de cada propriedade). Fonte: elaborado pela autora. .... 19
- Figura 4** - Imagens de alta resolução das tipologias florestais com dominância de bambu do tipo FAB + FAP (a) e FAB + FAP + FD (b) encontradas nas propriedades em estudo. Fonte: adaptado de Google Satélite (2019). ..... 20
- Figura 5** - Imagens de alta resolução das tipologias florestais sem dominância de bambu, sendo: (a) FAP, (a) FAP + FAB, (c) FAP + FD e (d) FAP - Aluvial. Fonte: adaptado de Google Satélite (2019). ..... 20
- Figura 6** - Localização das grades 167, 266 e 267 do satélite Landsat e polígono referente ao recorte do mosaico *raster* formado pelas três grades citadas. Fonte: elaborado pela autora. .... 22
- Figura 7** - Fluxograma explicativo da metodologia empregada para as classificações temáticas. Fonte: elaborado pela autora. .... 28
- Figura 8** - Resumo temporal da distribuição de classes (feições) resultante da aplicação dos métodos de Distância Mínima (MINDIS) e Máxima Verossimilhança (MAXVER) na avaliação da expansão do bambu utilizando recorte *raster* das cenas Landsat 167, 266 e 267 da região leste do Estado do Acre. .... 30
- Figura 9** - Evolução temporal da ocupação das classes determinadas na chave de identificação por meio do método da classificação temática de Distância Mínima (MINDIS) utilizando recorte *raster* das cenas Landsat 167, 266 e 267 da região leste do Estado do Acre. Fonte: elaborado pela autora. .... 31
- Figura 10** - Evolução temporal da ocupação das classes determinadas na chave de identificação por meio do método da classificação temática de Máxima Verossimilhança (MAXVER) utilizando recorte *raster* das cenas Landsat 167, 266 e 267 da região leste do Estado do Acre. Fonte: elaborado pela autora. ... 31
- Figura 11** - Evolução da área de ocupação do bambu (ha) após a exploração madeireira realizada no ano de 2010 estimada mediante o uso do método de Distância Mínima (MINDIS) nas propriedades estudadas. .... 32
- Figura 12** - Evolução da área de ocupação do bambu (ha) após a exploração madeireira realizada no ano de 2010 estimada mediante o uso do método de Máxima Verossimilhança (MAXVER) nas propriedades estudadas. .... 33

<b>Figura 13</b> - Propriedade nº3 (tipologia florestal sem dominância de bambu), com presença de nuvem e as respectivas feições geradas pelos algoritmos de classificação supervisionada utilizados no estudo.....	34
<b>Figura 14</b> - Índices de Exatidão Global e Kappa gerados por meio das classificações temáticas, segundo o método MINDIS (a) e MAXVER (b). .....	35

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Informações sobre a área (km <sup>2</sup> ), PIB, área desmatada (em km <sup>2</sup> e %) e população dos municípios onde se localizam as propriedades avaliadas no presente estudo.....	18
<b>Tabela 2</b> - Dados sobre as propriedades localizadas em tipologias florestais com bambu dominante.....	18
<b>Tabela 3</b> - Dados sobre as propriedades localizadas em tipologias florestais onde o bambu não era o elemento florístico dominante.....	19
<b>Tabela 4</b> - Informações referentes ao sensor, resolução espacial, número da cena e respectiva data de geração das grades <i>raster</i> utilizadas no presente estudo.....	22
<b>Tabela 5</b> - Chave de identificação das classes/feições utilizadas nas cenas Landsat-5 (sensor TM) e Landsat-8 (sensor OLI).....	24
<b>Tabela 6</b> - Desempenho do Índice Kappa.....	26
<b>Tabela 7</b> - Matrizes de confusão geradas por meio das classificações temáticas para cada ano estudado, segundo o método MINDIS, em porcentagem.....	37
<b>Tabela 8</b> - Matrizes de confusão geradas por meio das classificações temáticas para cada ano estudado, segundo o método MAXVER, em porcentagem.....	38
<b>Tabela 9</b> - Índices de Acurácia das matrizes de confusão gerados por meio das classificações temáticas, segundo o método MINDIS.....	39
<b>Tabela 10</b> - Índices de Acurácia e Erro das matrizes de confusão gerados por meio das classificações temáticas, segundo o método MAXVER.....	41
<b>Tabela 11</b> - Grau de separabilidade da classificação entre as classes criadas na chave de identificação, segundo a Distância de Bhattacharyya, para as imagens classificadas.....	43
<b>Tabela 12</b> - Grau de separabilidade de validação entre as classes criadas na chave de identificação, segundo a Distância de Bhattacharyya, para as imagens classificadas.....	44
<b>Tabela 13</b> - Matrizes de Correlação dos métodos de classificação MINDIS e MAXVER.....	46

## RESUMO

PEREIRA, Elaine de Fátima Dutra. Universidade Federal do Acre, março de 2019. **Exploração madeireira e a expansão do bambu (*Guadua* spp.) em tipologias florestais no leste do Acre.** Orientador: Dr. Evandro José Linhares Ferreira. Coorientadora: Dra. Anelena Lima de Carvalho. A exploração madeireira intensiva e não planejada pode proporcionar condições que favorecem o crescimento e a expansão não controlada de plantas invasoras, como o bambu no sub-bosque florestal, resultando em alterações florísticas e fitossociológicas, com implicações no processo de sucessão florestal e quantidade de biomassa das florestas afetadas, o que dificulta a regeneração e o crescimento das espécies madeireiras. Neste contexto, o presente estudo teve por objetivo determinar se a realização de atividades de exploração madeireira favorece a expansão do bambu (*Guadua* spp.) em remanescentes florestais localizados na região Leste do Acre. Para determinar essa expansão foram utilizados dois métodos de classificação supervisionada, respectivamente Distância Mínima (MINDIS) e Máxima Verossimilhança (MAXVER) a partir do recorte de um mosaico gerado por arquivos *raster* das grades 167, 266 e 267 do satélite Landsat para os anos de 2009, 2011, 2013, 2015 e 2017 utilizando o *software* ENVI 4.7. Em cada cena *raster* foram analisadas 17 propriedades com registro de atividades de exploração madeireira no ano de 2010, das quais oito estavam localizadas em tipologias florestais com dominância do bambu e nove onde o bambu não era dominante. A classificação e a validação dos dados foram realizadas no *software* ENVI 4.7 por pontos de controle coletados com o auxílio do *software* Google Earth Pro (verdade de campo) para cada ano analisado. O estudo determinou que nas tipologias florestais dominadas pelo bambu a expansão da área ocupada pelo mesmo, considerando a situação pré-exploratória, foi 50% superior no ano imediatamente posterior à exploração e onde o bambu não era dominante, essa expansão foi 98,9% para o mesmo período. Sete anos após a exploração madeireira, comparando-se a ocupação do bambu nas tipologias florestais avaliadas, observou-se que o seu percentual de expansão nas florestas onde ele já era dominante foi 65% superior ao observado na floresta onde ele não era dominante. O método MAXVER gerou menos erros e refletiu melhor a situação *in loco* quando da validação dos dados usando-se imagens de média resolução, sendo o mais indicado para monitorar a dinâmica da expansão do bambu em florestas submetidas à exploração madeireira.

**Palavras-chave:** Antropização, Classificação supervisionada, Sensoriamento remoto, Sudoeste da Amazônia.

## ABSTRACT

PEREIRA, Elaine de Fátima Dutra. Universidade Federal do Acre, March 2019. **Logging and expansion of bamboo (*Guadua* spp.) in forest types in eastern Acre.** Advisor: Dr. Evandro José Linhares Ferreira. Co-advisor: Anelena de Lima Carvalho. Intensive and unplanned logging can provide conditions that favor the growth and uncontrolled expansion of invasive plants, such as bamboo in the forest understory, resulting in floristic and phytosociological changes, with implications for the process of forest succession and amount of biomass of the affected forests, which can hinder the regeneration and growth of timber species. In this context, the present study had the objective of determining if logging activities favor the expansion of bamboo (*Guadua* spp.) in forest remnants in the eastern region of Acre. In order to determine this expansion, two methods of supervised classification were used, respectively Minimum Distance (MINDIS) and Maximum Likelihood (MAXVER) from the cut of a mosaic generated from *raster* files of Landsat satellite scenes 167, 266 and 267 for the years 2009, 2011, 2013, 2015 and 2017 using the ENVI 4.7 *software*. In each *raster* scene, 17 properties with logging activities in 2010 were analyzed, of which eight were located in forest types with bamboo dominance and nine where bamboo was not dominant. The classification and validation of the data were performed in the ENVI 4.7 *software* by control points collected with the aid of the Google Earth Pro *software* (field truth) for each analyzed year. Considering the pre-exploitation situation, the study determined that in the bamboo dominated forest the expansion of the area occupied by bamboo was 50% higher in the year immediately after the exploitation, and 98.9% in the forest types not dominated by the bamboo for the same period. Comparing the occupation of bamboo in the evaluated forest types, seven years after logging it was observed a 65% higher bamboo expansion in forests where it was already dominant. The MAXVER method generated less errors and better reflected the *in loco* situation when validating the data using medium resolution images, being the most suitable to monitor the dynamics of the bamboo expansion in forests subjected to logging.

**Keywords:** Anthropization, Remote sensing, Southwest Amazon, Supervised classification.

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABELAS	
RESUMO	
ABSTRACT	
1 INTRODUÇÃO .....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA .....	3
2.1 ASPECTOS GERAIS DOS BAMBUS .....	3
2.2 AS FLORESTAS COM BAMBU DO SUDOESTE DA AMAZÔNIA.....	6
2.3 A EXPLORAÇÃO MADEIREIRA E SEUS IMPACTOS NA FLORESTA ....	9
2.4 GEOTECNOLOGIAS E MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO TEMÁTICA DE IMAGENS .....	12
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	17
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	17
3.2 PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS .....	21
3.3 CLASSIFICAÇÃO TEMÁTICA .....	23
3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	29
4.1 DINÂMICA DO BAMBU APÓS A EXPLORAÇÃO FLORESTAL.....	29
4.1.1 EXPANSÃO DO BAMBU <i>GUADUA</i> SPP. EM ÁREAS EXPLORADAS .....	32
4.2 ÍNDICE KAPPA E EXATIDÃO GLOBAL DAS CLASSIFICAÇÕES TEMÁTICAS .....	34
4.3 SEPARABILIDADE ENTRE AS FEIÇÕES ANALISADAS .....	42
4.4 CORRELAÇÃO ENTRE BANDAS LANDSAT UTILIZADAS NA CLASSIFICAÇÃO TEMÁTICA .....	45
5 CONCLUSÕES .....	48
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	52
APÊNDICES .....	59

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o país com a maior diversidade e percentual de bambus lenhosos endêmicos da América Latina, com 17 gêneros e 141 espécies, que representam 85% dos gêneros e 32% das espécies latino-americanas. A maior diversidade de bambus lenhosos no país encontra-se na Mata Atlântica, nos Estados de São Paulo, Minas Gerais, Santa Catarina, Bahia e Paraná (Londoño, 2001a).

No Sudoeste da Amazônia, florestas dominadas por bambu ocupam mais de 161,5 mil km<sup>2</sup>. Nesta região, as duas espécies de bambu mais comuns são *Guadua sarcocarpa* Londoño & P.M. Peterson e *Guadua weberbaueri* Pilg. Ambas são espécies arborescentes e sarmentosas que alcançam mais de 20 metros de altura, apoiando-se em árvores adjacentes disponíveis. As florestas com bambu dominante tendem a ocorrer em manchas que podem variar de 330 a 2.750 km<sup>2</sup> (Londoño e Peterson, 1991; Griscom e Ashton, 2006; Carvalho *et al.*, 2013).

A presença do bambu pode promover alterações florísticas e fitossociológicas, com implicações no processo de sucessão florestal e na quantidade de biomassa das florestas afetadas (Griscom e Ashton, 2003; Nelson e Bianchini, 2005; Silveira, 2005; Griscom *et al.*, 2007; Lima *et al.*, 2012; Rockwell *et al.*, 2014). Além disso, áreas nas quais o bambu ocorre como elemento florístico secundário podem ser invadidas pelo mesmo na medida em que as mesmas são alteradas, como por exemplo pela ação antrópica (exploração madeireira e queimadas agrícolas) ou eventos naturais decorrentes das mudanças climáticas em curso (incêndios florestais) (Rockwell *et al.*, 2014; Silva, 2017).

Uma das formas de observar esse comportamento do bambu ao longo do tempo é realizando estudos utilizando-se o Sensoriamento Remoto (SR). A aplicação destas ferramentas permite coletar, processar, analisar e disponibilizar informações geográficas com qualidade e acurácia a respeito do globo terrestre. Além disso,

também é possível classificar digitalmente as imagens e distinguir as várias feições presentes (vegetação, hidrografia, antropização, agricultura, pecuária, etc.) de acordo com seus comportamentos espectrais específicos. Utilizar essas ferramentas para estudos de dinâmica do bambu justifica-se pela grande dificuldade logística de realizar estudos *in loco* nas florestas nas quais ele domina, tanto pela localização remota das áreas de interesse como pela dificuldade de locomoção no interior das extensas áreas de florestas dominadas por ele.

Com o foco nas florestas com bambu do Sudoeste da Amazônia, há indícios de que a atividade madeireira pode proporcionar condições que favorecem o crescimento e a expansão não controlada dessa gramínea no sub-bosque florestal, tanto nas clareiras abertas para a extração das toras, como nas estradas e outras infraestruras utilizadas durante a exploração. Isso pode resultar em dificuldades para a regeneração das espécies madeireiras exploradas em um hipotético segundo ciclo de corte, resultando na depreciação do valor econômico da propriedade. Ainda não há uma resposta clara sobre a sustentabilidade da atividade madeireira em florestas com bambu dominante no Sudoeste da Amazônia, muito menos se esta exploração deveria ser evitada, principalmente em florestas de pequenos proprietários e/ou em área onde o manejo é feito de forma comunitária (Rockwell *et al.*, 2014; Rockwell e Kainer, 2015).

Dentro deste contexto, a presente dissertação tem por objetivo geral determinar se a realização de atividades de exploração madeireira (atividade antrópica) favorece a expansão do bambu (*Guadua* spp.) em remanescentes florestais localizados na região Leste do Acre.

Os objetivos específicos do estudo compreendem:

- Determinar a distribuição e quantificar a expansão do bambu em áreas alteradas pela exploração madeireira; e
- Comparar dois métodos de classificação automática supervisionadas e indicar o método mais adequado para identificar a expansão do bambu nas áreas alteradas pela exploração madeireira.

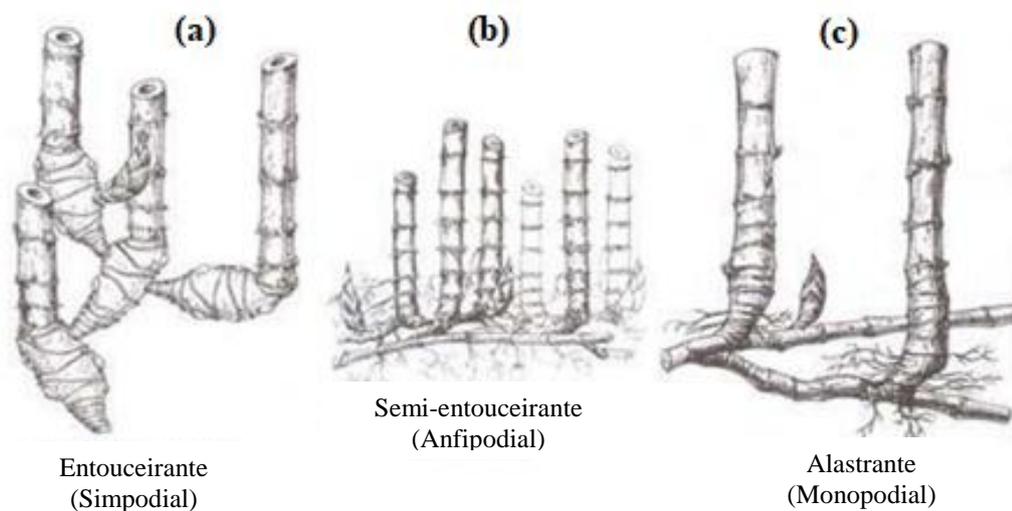
## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 ASPECTOS GERAIS DOS BAMBUS

Os bambus são angiospermas monocotiledôneas integrantes da família *Poacea*, subfamília *Bambusoideae*, classificados em três tribos: *Arundinarieae* (bambus lenhosos de clima temperado, embora alguns ocorram nos trópicos em altas altitudes), *Bambuseae* (bambus tropicais lenhosos, embora alguns ocorram fora dos trópicos) e *Olyreae* (bambus herbáceos) (Clark *et al.*, 2015).

Em nível mundial, são reconhecidas cerca de 1.400 espécies de bambus distribuídas em 90 gêneros (Lobovikov *et al.*, 2007; Das *et al.*, 2008) e sua ocorrência já foi registrada em todo o planeta - com exceção da Europa e dos polos -, geralmente em áreas florestais localizadas em altitudes que vão do nível do mar até 4.000 metros de altitude. Dentre os países do continente americano, o Brasil apresenta a maior riqueza de bambus, com 258 espécies e 35 gêneros, dentre eles há 17 gêneros e 93 espécies de bambus herbáceos e 18 gêneros e 165 espécies de bambus lenhosos (Filgueiras e Viana, 2017).

Com relação aos seus componentes morfológicos, os bambus são compostos peça parte aérea, representada pelo colmo, folhas e a inflorescência. A parte subterrânea do colmo (raiz) é chamada de rizoma e pode ser de dois tipos: paquimorfo e leptomorfo. Espécies com o primeiro tipo de rizoma geralmente crescem de forma simpodial (Figura 1a), formando touceiras, enquanto aquelas com rizomas leptomorfos apresentam crescimento monopodial ou alastrante (Figura 1c) (Filgueiras e Viana, 2017). Há autores que sugerem uma terceira classificação, a semi-entouceirante ou anfipodial (Figura 1b) (Souza, 2010; Pereira e Beraldo, 2016).



**Figura 1** - Diferentes tipos de rizoma em bambus. Fonte: adaptado de Souza (2010).

Na parte aérea, os colmos podem ser cilíndricos, sulcados ou achatados, com o interior sólido, oco (fistuloso) ou meduloso (esponjoso), sendo subdivididos em septos (nós) de onde gemas caulinares produzem ramos foliares ou espinhos. Os colmos apresentam grande variação em sua coloração externa, diâmetro e comprimento, assim como na espessura de suas paredes. A forma de crescimento dos colmos é também muito variada: ereta, arqueada, sarmentosa ou escandente. O comprimento dos entrenós, a morfologia da região dos nós e os padrões de ramificação são características muito usadas no reconhecimento de gêneros e espécies de bambus (Filgueiras e Viana, 2017). Seu crescimento se completa meses após o surgimento, alcançando sua altura máxima em 30 dias, para espécies de pequeno porte, e 180 dias, para espécies gigantes (Maciel *et al.*, 2016).

Um aspecto que distingue os bambus das demais angiospermas monocotiledôneas é a monocarpia ou floração simultânea em massa que acontece em todos os indivíduos da população de uma espécie em uma determinada região, seguida da frutificação e morte de todos os indivíduos (Janzen, 1976; Nadgouda *et al.*, 1990). Este tipo de floração, entretanto, não é comum na maioria das espécies de bambus herbáceos (tribo *Olyrae*). No Brasil, eventos de floração, frutificação e morte em massa de espécies de bambus nativos ocorrem entre 15 e 35 anos (Filgueiras e Viana, 2017).

Muitas espécies lenhosas de bambu são reconhecidas como invasoras em função de algumas características peculiares a este grupo. A floração e a frutificação sincrônica de todos os indivíduos adultos que integram uma população antes da morte

em massa que afeta a maioria dessas espécies, resulta na produção de milhões de sementes pequenas com pouca ou nenhuma dormência, condição que favorece uma rápida germinação e colonização eficiente de novos sítios de ocupação (Veldman e Putz, 2011), especialmente naqueles em que a floresta foi alterada (Silveira, 2005).

O rápido crescimento dos bambus (algumas espécies chegam a crescer 1 m por dia), aliado à sua expansão local por meio vegetativo (rizomas subterrâneos) facilitam o seu estabelecimento e aumentam a sua capacidade de ocupar rapidamente novos espaços no interior de áreas florestais, onde podem formar populações adensadas que alteram a dinâmica da floresta ocupada, comprometendo o recrutamento e a regeneração de outras espécies, e diminuindo a densidade e diversidade arbórea local (Silveira, 2005; Griscom e Ashton, 2006; Rother *et al.*, 2009). Além disso, alterações antrópicas, como no caso da exploração madeireira que resulta na abertura de numerosas clareiras no interior da floresta, podem favorecer a invasão do bambu caso o mesmo esteja presente nesta floresta (Rockwell e Kainer, 2015; d'Oliveira *et al.*, 2017). Da mesma forma, eventos naturais, como incêndios florestais, também podem favorecer a expansão do bambu para áreas florestais nas quais eles não estavam presentes ou não eram o elemento florístico dominante (Silva, 2017).

A alta taxa de crescimento do bambu não é impulsionada por sua alta capacidade fotossintética, mas é derivada da energia produzida por colmos mais antigos. Devido a esse fato, o carbono armazenado nos colmos maduros terá liberação relativamente rápida na atmosfera, em comparação com as espécies arbóreas de crescimento lento e vida longa, tendo em vista que o bambu tem um ciclo médio relativamente curto (Carvalho, 2009; Yuen *et al.*, 2015).

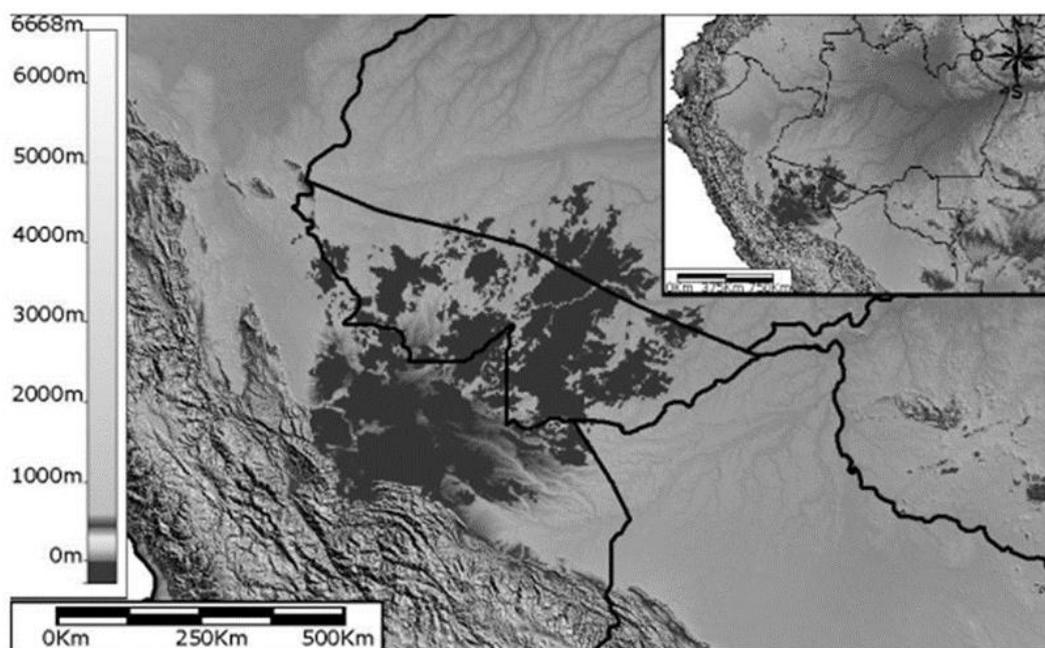
A presença de brácteas ou bainhas no bambu tem a função de proteção dos tecidos delicados nos nós recém-formados, até alcançarem seu máximo crescimento, caírem e se formarem os ramos e folhas. A partir deste momento, ocorre a fase de amadurecimento do bambu, que leva em torno de quatro anos. Neste momento, as propriedades físicas e mecânicas dos colmos se estabilizam e podem ser comparadas às propriedades do aço (Pereira e Beraldo, 2016), sendo esse o momento que se recomenda a retirada dos colmos para o uso em geral.

O bambu apresenta propriedades físicas e mecânicas excepcionais. Sua resistência à tração é alta, podendo atingir até 370 MPa, o que o torna uma alternativa sustentável ao uso do aço para aplicação de cargas de tração (Ghavami, 2005) e essas propriedades são influenciadas de acordo com a seção do colmo que se deseja utilizar

(base, meio ou topo). Ghavami e Marinho (2005) estudaram essas características no bambu *Guadua angustifolia* e inferiram que sua resistência é maior a esforços de tração, quando comparado a esforços de compressão (superior a 50%), e sua resistência média à tração chega a valores de até 95,8 MPa na região internodal. Apesar dessas características, sua resistência é inferior à da espécie *Dendrocalamus giganteus*, que apesar de apresentar dimensões semelhantes ao *G. angustifolia*, possui valores de resistência à tração superior a 43,8%, resistência à compressão superior a 41,6% e resistência ao cisalhamento superior a 60%.

## 2.2 AS FLORESTAS COM BAMBU DO SUDOESTE DA AMAZÔNIA

As florestas com bambu do Sudoeste da Amazônia ocupam uma área estimada em mais de 161,5 mil km<sup>2</sup> no território brasileiro (Carvalho *et al.*, 2013), que abrangem os Estados do Acre e Amazonas, norte da Amazônia boliviana, no Departamento de Pando, e quase toda a Amazônia central do Peru, nos Departamentos de Madre de Dios e Ucayali, como mostrado na Figura 2 (Bianchini, 2005), dos quais 69% dessa área localiza-se no Estado do Acre.



**Figura 2** - Mapa de localização e distribuição da ocorrência de florestas com bambu (manchas escuras) no Sudoeste da Amazônia. Fonte: Bianchini (2005).

Localmente conhecidas como “tabocais” no Brasil e “pacaes” no Peru, as florestas com bambu do Sudoeste da Amazônia tem como elemento florístico principal ou secundário de seu sub-bosque algumas espécies do gênero *Guadua*, cuja longevidade foi estimada entre 27 e 28 anos (Acre, 2010; Carvalho *et al.*, 2013). Estas florestas estão distribuídas de forma contínua ou em grandes manchas (representando uma única população) que ocupam em média 330 km<sup>2</sup>, mas em pelo um caso a área ocupada foi de 2.570 km<sup>2</sup> (Carvalho *et al.*, 2013).

No Acre, segundo o Zoneamento Ecológico Econômico – fase II (Acre, 2010), dentre as 18 tipologias florestais identificadas no Estado, oito apresentam o bambu no sub-bosque como elemento florístico principal ou secundário. Em termos de cobertura florestal no Estado, as tipologias vegetais nas quais o bambu está presente recobrem cerca de 138.188 km<sup>2</sup> (83,9%) dos 164.629 km<sup>2</sup> da área do Estado. Desconsiderando a área desmatada no Estado (10,4% do território), o bambu está inserido em 147.418 km<sup>2</sup>, ou seja, em 93,7% das áreas de floresta no Acre.

As florestas com bambu do Sudoeste da Amazônia geralmente apresentam menor riqueza florística, densidade e diversidade de espécies arbóreas (Oliveira, 2000; Silveira, 2005) e nelas é possível observar um predomínio de espécies pioneiras em relação às secundárias tardias de alto valor comercial (Griscom *et al.*, 2007). Os indivíduos arbóreos mais prejudicados são os com altura inferior a 100 cm (Gusson *et al.*, 2017), o que pode induzir a reduções das variáveis área basal arbórea em até 50% (Oliveira, 2000; Smith, 2000; Griscom e Ashton, 2003; Griscom *et al.*, 2007), da biomassa aérea entre 29 e 39% (Nelson *et al.*, 2001; Nogueira *et al.*, 2008) e do potencial de armazenamento de carbono entre 30 e 50% (Silveira, 2005). As florestas com bambu dessa região também apresentam baixos volumes de madeira e sua estrutura é mais sensível aos danos causados pela extração das árvores e passagem das máquinas pesadas usadas na abertura de estradas e no arrasto das toras (d’Oliveira *et al.*, 2004; Veldman *et al.*, 2009).

As espécies do gênero *Guadua* mais comuns nas florestas com bambu do Sudoeste da Amazônia são *G. sarcocarpa* Londoño & P.M. Peterson e *G. weberbaueri* Pilg. Ambas são espécies de bambus lenhosos de hábito arborescente, sarmentosas e que podem crescer até 20 m de altura e 10 cm diâmetro (Londoño e Peterson, 1991). Inicialmente os colmos dessas espécies crescem de forma ereta, mas depois necessitam se apoiar em árvores escoras para atingir o dossel florestal. Havendo condições de luz e espaço físico, um grande número de colmos pode crescer simultaneamente,

exercendo uma carga de peso excessiva sobre as árvores escora, danificando seus galhos ou provocando a sua queda, ou, na ausência destas, os colmos maiores se envergam e eventualmente se quebram, caindo sobre a camada arbustiva abaixo, formando uma barreira física que bloqueia a passagem da luz e suprime fisicamente o recrutamento e o crescimento de indivíduos regenerantes de outras espécies (Ferreira, 2014; Felker *et al.*, 2017). Em um processo contínuo e relativamente rápido, a clareira volta a ser ocupada por novos colmos de bambu (Griscom e Ashton, 2003), que estabelecem no local um ciclo perene de distúrbios do dossel florestal que garante a perenidade das espécies de bambu durante todo o seu ciclo de vida (Silveira, 2005; Griscom e Ashton, 2006).

A rápida expansão do bambu no sub-bosque das florestas do Sudoeste da Amazônia é atribuída à abertura de clareiras no dossel florestal, ao seu rápido crescimento, combinado com a presença de espinhos em seus colmos e ramos que facilitam seu apoio em árvores escoras, e ao seu crescimento vegetativo (estrutura clonal) suportado por uma extensa rede de rizomas subterrâneos interconectados (Silveira, 2005; Ferreira, 2014; Rockwell *et al.*, 2014; Silva, 2017).

Além de favorecer modificações na composição florística, o crescimento agressivo do bambu pode promover alterações fitofisionômicas na floresta de tal forma que em alguns casos verificam-se mudanças na classificação das tipologias florestais prevalentes, com a nova fisionomia florestal passando a apresentar o bambu como elemento florístico dominante (Silva, 2017). Devido a essas alterações, geralmente as florestas com bambu do Sudoeste da Amazônia têm menor potencial para a atividade de manejo madeireiro, devendo-se, para garantir que a exploração seja sustentável, usar ciclos de cortes menos intensos e mais curtos, e promover a rotação das espécies exploradas para limitar o impacto negativo que a frequência e a escala da atividade possam causar à floresta (d'Oliveira *et al.*, 2004; d'Oliveira *et al.*, 2013; Rockwell *et al.*, 2014). Outra recomendação é restringir a exploração madeireira ao período posterior à mortalidade em massa das populações de bambu, quando suas plântulas estão frágeis e seus sistemas radiculares (rizomas) não está completamente desenvolvido (Griscom, 2003; d'Oliveira *et al.*, 2013).

Outro aspecto que pode estar favorecendo a persistência do bambu no sub-bosque em algumas áreas florestais do Sudoeste da Amazônia é o comportamento caducifólio das árvores que integram o dossel das mesmas em razão da forte sazonalidade na distribuição das chuvas que ocorrem na região (Ferreira, 2014). A

pluviosidade anual média é de aproximadamente 1.900 mm em anos normais, mas pode atingir menos de 1.500 mm em anos muito secos. O período seco se estende por cerca de cinco meses (meados de abril a meados de setembro) em anos considerados climaticamente normais e concentra aproximadamente apenas cerca de 25% da precipitação anual (Duarte, 2006). Nessa condição, este longo período de estiagem induz à perda das folhas na maioria dos indivíduos do dossel florestal, condição que aumenta sobremaneira a penetração de luz no sub-bosque das florestas e permite que o bambu, independente de outras estratégias de crescimento e expansão que possa apresentar, se perpetue nas florestas da região.

### 2.3 A EXPLORAÇÃO MADEIREIRA E SEUS IMPACTOS NA FLORESTA

A exploração madeireira, segundo Pinto *et al.* (2002), é caracterizada pela máxima retirada de madeira por unidade de área oriunda de espécies de valor comercial. Quando realizada de forma intensiva, seletiva e não planejada (ou seja, não realizada na forma de manejo florestal sustentável), ela induz à perda do valor comercial da floresta por meio de sua alteração na mesma, promove danos irreversíveis à floresta remanescente, e, conseqüentemente, dificuldades de recuperação da área, além de aumentar os custos da atividade e induzir ao desperdício de matéria-prima e aumento da produção de resíduos florestais (Homma *et al.*, 1998; Pinto *et al.*, 2002). Quando a atividade exploratória não é planejada, podem ocorrer danos às árvores vizinhas, comprometendo futuros ciclos de corte. Em Paragominas, Pará, a exploração intensiva gerou danos em 30 árvores com DAP  $\geq$  10 cm para cada árvore extraída (Veríssimo *et al.*, 1992).

Na região de Cláudia, Mato Grosso, Monteiro *et al.* (2004) estudaram áreas exploradas e queimadas e registraram que a biomassa viva acima do solo chega a ser 15% menor do que nas florestas nativas. Em áreas que foram intensamente exploradas e afetadas pelo fogo, a biomassa viva acima do solo foi 49% inferior do que na floresta nativa. Nessa área, foi registrado ainda um maior número de indivíduos pioneiros, aumento no número de cipós, redução de 69% do dossel e aumento de 39% dos resíduos gerados pela exploração. Conseqüentemente, as áreas perturbadas apresentaram um estoque de madeira de espécies comerciais significativamente menor do que o das florestas intactas.

Para evitar essas adversidades, a exploração madeireira requer um minucioso planejamento, desde o inventário florestal até o transporte da madeira que será beneficiada nas serrarias, afim de que a mesma possa ser considerada sustentável. Essa forma de exploração, também conhecida como manejo florestal sustentável, tem o potencial de promover simultaneamente a produtividade e a conservação das características de biodiversidade das áreas exploradas de forma que elas possam fornecer aproximadamente os mesmos estoques de madeira depois de 30 ou 35 anos da exploração (Homma *et al.*, 1998; Barroso *et al.*, 2011). Pinto *et al.* (2002) monitoraram as atividades de uma exploração florestal planejada em uma Floresta Primária Não Explorada (FPNE) e em uma Floresta Primária Explorada (FPE) em Manicoré, Amazonas. Na FPNE, os autores verificaram a ocorrência de danos em 10% das árvores com DAP  $\geq$  15 cm assim distribuídos: 3% nos troncos, 4% na copa, 1% no tronco e na copa simultaneamente e 2% em árvores mortas. Na FPE, foi observado que os danos causados pela atividade exploratória afetaram 29% das árvores remanescentes, o que influenciou a estrutura diamétrica, área basal e o volume das árvores remanescentes.

Apesar de a abertura de clareiras na floresta, durante as etapas de realização da atividade exploratória, favorecer a expansão do bambu na Amazônia, Carvalho *et al.* (2017) em estudos na Floresta Estadual do Antimary (FEA), observaram que a abertura de clareiras no dossel foi maior um ano após a atividade de extração madeireira (média de 45,4% de abertura). Por outro lado, entre quatro a oito anos após a exploração, a abertura do dossel não ultrapassou valores de 10% de área aberta e as características da área, após oito anos da extração madeireira, assemelhavam-se a uma floresta que não sofreu o mesmo tipo de intervenção. O estudo reforça a ideia de que a rápida capacidade de regeneração das florestas no Acre, mesmo que apresentem o bambu como elemento invasor na área e que a atividade de exploração seja sustentável devido a essa capacidade de resiliência.

Para determinar o melhor momento para a realização de novos tratos silviculturais e o início de uma nova exploração da área manejada, a metodologia de exploração florestal empregada deve envolver a seleção criteriosa das espécies de maior interesse, aplicação de tratos silviculturais que induzam as melhores condições de crescimento das árvores remanescentes, e o monitoramento da floresta antes e após a exploração para observar o processo de regeneração (Homma *et al.*, 1998).

A ação antrópica, tanto por meio da atividade de exploração madeireira (promove a abertura de milhares de clareiras na floresta) como por meio dos incêndios florestais (queimadas em campos agrícolas adjacentes à floresta) são fatores que podem contribuir para a expansão do bambu no Sudoeste da Amazônia. As clareiras resultantes da exploração madeireira ampliam a abertura do dossel florestal (Rockwell *et al.*, 2007), aumentando a suscetibilidade das áreas florestais exploradas ao fogo (Felker *et al.*, 2009; Larpkern *et al.*, 2011), pois alteram o microclima no interior das florestas abertas (maior temperatura e menor umidade relativa do ar), que podem levar a um maior acúmulo de serapilheira ressecada (propícia ao fogo) sobre o solo florestal. Os incêndios florestais promovem uma drástica redução da densidade arbórea (até 73%) nas florestas afetadas na região Leste do Acre (Silva, 2017) que pode, além de alterar o microclima do interior da floresta em função do raleamento do dossel, promover um aumento acentuado da luminosidade que penetra o sub-bosque da floresta e favorecer o rápido crescimento e a perenidade do bambu.

A respeito da legislação vigente para a exploração no Bioma Amazônia, a normativa que estabelece os parâmetros técnicos a serem adotados nos Planos de Manejo Florestal Sustentável (PMFS) é a Resolução N° 406 do Conama (Brasil, 2009). Segundo esta resolução, se forem utilizadas máquinas de arraste de toras, o ciclo de corte inicial deve ser de no mínimo 25 a 35 anos e a intensidade máxima de corte permitida de 30 m<sup>3</sup>/ha. Para PFMS que não preveem o uso de máquinas de arraste, o ciclo de corte recomendado é de 10 anos e a intensidade máxima de corte de 10 m<sup>3</sup>/ha. No entanto, Araujo (2016) estimou que o ciclo de corte ótimo para florestas no Acre é de 40,8 anos (para o conjunto de espécies de interesse comercial) e 46,6 anos (médias das espécies), refutando o ciclo de corte recomendado pela atual resolução do CONAMA. O autor enfatiza que o modo de como o manejo vem sendo praticado pode induzir ao empobrecimento e à degradação da floresta, havendo a necessidade de se rever a legislação a respeito de planos de manejo na Amazônia.

Sob o ponto de vista das florestas com bambu, não existe legislação específica com diretrizes que orientem as práticas da atividade exploratória madeireira nesse tipo de vegetação seja em caráter nacional ou estadual (Estado do Acre). Em florestas com bambu dominante, a exploração madeireira impacta ainda mais a densidade arbórea presente na vegetação, bem como diminui o número de indivíduos aptos a um futuro ciclo de corte (Rockwell *et al.*, 2014). Diante do exposto, fica clara a urgente

necessidade de se estabelecer normas específicas para planos de manejo florestais sustentáveis em florestas nas quais o bambu é dominante.

Apesar de o bambu se apresentar como uma planta invasora por parte da exploração madeireira em áreas de interesse, deve-se levar em consideração o potencial de uso econômico que pode trazer ao proprietário. O manejo do bambu nessas áreas para uso econômico funcionaria como trato silvicultural e melhoria das áreas voltadas à produção de madeira. O bambu extraído no momento da realização dos tratos silviculturais podem ser destinados aos mais variados usos, como por exemplo: brotos para alimentação, artesanal, carvão ou na forma de varas e ripas para a construção civil.

Com este intuito, em 2017, o Governo do Estado do Acre publicou o decreto nº 5.809, de 5 de janeiro de 2017, intitulado “Plano Estadual de Desenvolvimento do Bambu” (Acre, 2017). O referido plano foi elaborado com o objetivo de estabelecer o gerenciamento estratégico de ações voltadas à cadeia produtiva do bambu nativo do Acre e construir mecanismos de gestão (compartilhada e participativa) de entidades (públicas e privadas) e produtores rurais, no intuito de estabelecer as técnicas de extração, plantio, manejo, produção, transporte beneficiamento e outras necessidades específicas ao desenvolvimento econômico dessa matéria-prima (Maciel, 2016).

## 2.4 GEOTECNOLOGIAS E MÉTODOS DE CLASSIFICAÇÃO TEMÁTICA DE IMAGENS

Os conhecimentos sobre os diferentes espaços terrestres foram enriquecidos com o surgimento da geotecnologia. Ela é conceituada como o conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e oferta de informações com referência geográfica. Neste contexto, enquadra-se o SIG, a cartografia digital, o sensoriamento remoto, o sistema de posicionamento global e a topografia (Rosa, 2005). Para a obtenção de informações para uso em SIG são utilizados satélite e sensores remotos, ferramentas essenciais que permitem realizar o levantamento dos recursos naturais e otimizar trabalhos de campo, além de embasar as diretrizes para políticas públicas e tomadas de decisão quanto ao meio ambiente (Araujo e Santos, 2011).

Rosa e Brito (1996, *apud* Rosa, 2005) citam quatro categorias de técnicas associadas ao tratamento de informações espaciais: coleta, armazenamento, tratamento e análise e uso integrado da informação espacial. É neste último que se insere o SIG,

o qual é conceituado como o conjunto de ferramentas computacionais (equipamentos e programas) e técnicas de integração de dados, pessoas e instituições. Essa integração torna possível a coleta, armazenamento, processamento, análise e oferta de informações georreferenciadas produzidas por *software* específicos (Rosa, 2005). Dentre os mais utilizados para o processamento e análise de imagens de satélite podem ser citados: QGIS, ENVI, Spring, gvSIG, ArcGIS, MapInfo, entre outros.

Os produtos gerados pelo SIG se enquadram na ciência denominada Cartografia, responsável por representar a realidade através de informações espaciais, coordenadas geográficas, recursos matemáticos, símbolos e textos, todos unidos de forma organizada e padronizada (Cunha e Brito, 2008).

Dentre exemplos de aplicação de técnicas de sensoriamento remoto, podem ser citados os estudos de Freitas Junior e Ribeiro (2014), que observaram o processo de ocupação humana por documentos cartográficos gerados por imagens dos satélites Landsat, CBERS, SPOT e IKONOS no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, na região serrana do Rio de Janeiro. Lopes *et al.* (2011), que estimaram a perda do solo de forma laminar em uma microbacia no Estado do Ceará por imagens Landsat-5. Oliveira *et al.* (2015), que se utilizaram dos satélites Landsat-5 e RapidEye no mapeamento de áreas com dominância da espécie arbórea *Myracrodruon urundeuva* no município de Tumiritinga, Minas Gerais. Pereira *et al.* (2017) utilizaram avaliaram o comportamento espectral de plantações de bambu e os indicadores da vegetação (estado e características) na agricultura de precisão e cultivo da gramínea em Jacutinga, Minas Gerais.

Outro recurso vinculado às geociências é o Processamento Digital de Imagens (PDI), o qual se utiliza do sensoriamento remoto para a obtenção das informações de interesse. O sensoriamento remoto conceitua-se como a forma de obter informações de um objeto ou alvo sem que haja o contato físico entre eles. Essas informações são obtidas por meio da radiação eletromagnética refletida e/ou emitida pelos alvos das mais diversas manifestações, classificados como de natureza natural (como o Sol e a Terra) ou artificial (Radar), permitindo o estudo dos fenômenos e processos que ocorrem na Terra por meio do registro e análise das interações entre a radiação eletromagnética e as substâncias que a compõem em suas mais diversas manifestações (Rosa, 2005; Novo, 2010; Fernandes *et al.*, 2017; Vale *et al.*, 2018). Rosa (2005) complementa que há duas fases envolvidas nesse processo: (1) a aquisição de imagens, momento em que há a coleta dos dados referentes à radiação eletromagnética, à

atmosfera, aos sistemas de sensores, ao comportamento espectral dos alvos, etc.; e (2) a fase de utilização, que abrange as áreas de Geografia, Agronomia, Engenharia Civil, Geologia, e etc. Realizar o mapeamento digital auxilia e fomenta a execução de atividades relativas à análise ambiental e zoneamento da área de estudo (Freitas Junior e Ribeiro, 2014).

A radiometria é um campo do SR que identifica a intensidade de reflexão de cada nuance contida no plano terrestre por meio dos diferentes comprimentos de onda e da radiação eletromagnética (Pereira *et al.*, 2017). É por meio destas diferenças de radiação que se observa diferentes nuances contidas nas imagens. Neste contexto, a radiometria permite a coleta de dados através do método de classificação temática de imagens. As técnicas de classificação temática visam atribuir, a cada pixel, uma determinada classe pré-definida pelo operador do *software*, de acordo com a assinatura espectral que o alvo emite. A classificação pode ser do tipo supervisionada e não supervisionada e também pode ser gerada por agrupamento de pixels (classificação por regiões) ou pela análise individual dos pixels (classificação pixel a pixel) (Novo, 2010).

A classificação supervisionada permite identificar diferentes classes a partir dos comportamentos espectrais diferenciados dos alvos, por meio de algoritmos que realizam essa classificação e extração das feições de interesse (Bernardi, 2007; Vale *et al.*, 2018). Dentre os algoritmos de classificação temática supervisionada mais empregados na literatura, estão o de método da Máxima Verossimilhança (MAXVER) e o de Distância Mínima Euclidiana (MINDIS).

O algoritmo de Distância Mínima Euclidiana é um classificador que se caracteriza pela utilização dos valores espectrais pixel a pixel, a fim de classificar regiões com as mesmas respostas espectrais (Magalhães *et al.*, 2017). O algoritmo de classificação temática Máxima Verossimilhança parte da premissa de que determinado pixel pertence a uma classe, sendo que a probabilidade de o pixel ser inserido em determinada classe é igual para todos, e que as bandas de entrada têm distribuição normal (Rawat e Kumar, 2015). Porém, o método MAXVER apresenta algumas desvantagens: o tempo para processamento dos dados é mais extenso, as assinaturas espectrais geram valores muito elevados na matriz de covariância e o método depende que haja uma distribuição normal nas bandas de entrada (Rawat e Kumar, 2015).

Por ser realizada de forma automática, a classificação está sujeita a apresentar erros que se referem à mistura espectral, no momento em que há a inclusão de um

mesmo pixel em mais de uma classe espectral (membros de referência). Logo, a resposta espectral resultante se torna uma mistura de respostas espectrais das classes de referência (Freitas *et al.*, 2008). Para obter o índice de erros e acertos gerados na classificação, deve-se realizar a etapa de validação dos dados, pois apenas a interpretação visual não é suficiente para avaliar o método empregado na análise digital. A validação das informações (verdade de campo), coletadas por meio do sensoriamento remoto, pode ser feita *in loco* por meio da coleta de pontos de controle ou pela captura de imagens aéreas de alta resolução.

Para validar a classificação com a verdade de campo, os *software* que se utilizam e SIG e outras tecnologias associadas geram uma matriz de erros, chamada de matriz de confusão. Ela calcula os índices de avaliação da classificação temática, onde as linhas e colunas representam o número de pixels em cada classe com relação à sua correta identificação, de acordo com os pontos coletados na verdade de campo (Novo, 2010).

O sucesso na classificação pode ser identificado por meio de dois indicadores de concordância, gerados automaticamente pelo *software* empregado, que são o Índice Kappa (K) e de Exatidão Global (EG). O primeiro considera que tanto as imagens classificadas quanto os dados que geraram a classificação têm o mesmo grau de verdade, bem como todos os elementos da matriz de erro; enquanto que a exatidão global relaciona os elementos da diagonal principal com o total de pontos amostrados (Queiroz *et al.*, 2017). A classificação supervisionada gera dois tipos de erros: os de comissão e os de omissão. Enquanto os erros de comissão ocorrem quando há a inclusão de um pixel numa classe à qual não pertença, os erros de omissão são observados quando há a inclusão de erros de classificação em outras classes (Oliveira *et al.*, 2015).

O uso da ferramenta de classificação supervisionada de imagens para avaliar o comportamento temporal do bambu é uma prática antiga. Araujo e Santos (2011) observaram que o bambu se manifesta na forma de um dossel descontínuo, com baixa densidade de indivíduos arbóreos de médio e grande porte e cria manchas densas de folhas no estrato médio no dossel da floresta. O fato de se assemelhar à estrutura vegetal e sobrepor seus ciclos de reprodução dificulta a padronização de identificação de várias espécies em uma mesma área, como foi observado por imagens QuickBird. Porém, no caso de estudos realizados na Amazônia, essa característica favorece sua reflectância pelo infravermelho próximo e médio de imagens de sensores orbitais,

quando comparado a florestas primárias (Nelson e Bianchini, 2005). Na cordilheira de Arakan (Sudoeste asiático), Fava e Colombo (2017) utilizaram imagens Landsat GEOCOVER (2000) para classificar e interpretar mosaicos em escala 1:250.000 de florestas dominadas por bambu e obtiveram êxito na distinção de três tipologias florestais onde bambu está presente: floresta dominada por bambu, floresta perene tropical e floresta estacional decidual.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

Foram definidas dezessete (17) propriedades localizadas na região Leste do Estado do Acre, todas com registro de atividades de exploração madeireira para o ano de 2010, das quais oito (8) apresentam tipologia florestal com dominância de bambu ( $\text{Área}_T = 2.223,72$  ha) e as outras nove (9) apresentam tipologia florestal com o bambu como elemento florístico secundário ( $\text{Área}_T = 2.218,92$  ha). A seleção destas propriedades foi feita a partir de um banco de dados disponibilizado pelo Laboratório de Geoprocessamento Aplicado ao Meio Ambiente (LABGAMA) da Universidade Federal do Acre, *campus* Floresta. Com base nesse banco de dados, foram obtidos os arquivos de perímetro de cada propriedade.

As propriedades selecionadas localizam-se nos municípios de Bujari, Capixaba, Porto Acre, Rio Branco e Sena Madureira. Os municípios citados estão inseridos em duas regionais do Estado do Acre, nomeadas de acordo com cada uma das cinco principais bacias hidrográficas presentes no Estado, sendo que os municípios de Bujari, Capixaba, Porto Acre e Rio Branco localizam-se na Regional do Baixo Acre e o município de Sena Madureira na Regional do Purus.

A Tabela 1 apresenta um resumo das principais informações referentes aos municípios que abrigam as propriedades avaliadas no presente estudo.

**Tabela 1** - Informações sobre a área (km<sup>2</sup>), PIB, área desmatada (em km<sup>2</sup> e %) e população dos municípios onde se localizam as propriedades avaliadas no presente estudo.

Município	Localização	Área <sup>1</sup>	PIB <sup>2</sup>	Desmatamento <sup>3</sup>	População
Bujari	Lat. 9° 49' 22" S Long. 67° 56' 51" O	3.034,9	129.281	1258,3 (40,54%)	9.503
Capixaba	Lat. 10° 33' 39" S Long. 67° 41' 25" O	1.702,6	149.441	918,2 (52,17%)	10.820
Porto Acre	Lat. 9° 34' 35" S Long. 67° 33' 3" O	2.604,9	196.190	1336,9 (49,46%)	17.111
Rio Branco	Lat. 9° 58' 26" S Long. 67° 48' 27" O	8.835,5	8.192.366	2762,8 (30,32%)	377.057
Sena Madureira	Lat. 9° 4' 2" S Long. 68° 39' 28" O	23.753,0	478.484	1948,9 (7,92%)	42.451

<sup>1</sup> Área total do município, em km<sup>2</sup>. Fonte: adaptado de Acre (2017).

<sup>2</sup> Valor do PIB referente a R\$ 1.000,00 para o ano de 2014. Fonte: adaptado de Acre (2017)

<sup>3</sup> Valor de referência em km<sup>2</sup>, seguido do percentual de desmatamento para o ano de 2017. Fonte: adaptado de INPE (2019b).

As Tabelas 2 e 3 e a Figura 3 a seguir mostram informações referentes às propriedades avaliadas com registro de atividade de exploração madeireira em 2010, nas quais verificou-se a ocorrência de tipologias florestais dominadas por bambu (*Guadua* spp.) e sem dominância de bambu, respectivamente.

**Tabela 2** - Dados sobre as propriedades localizadas em tipologias florestais com bambu dominante.

Nº	Área *	Tipologia Florestal	Município	Localização **	Altitude (m)
1	20,4	FAB + FAP <sup>1</sup>	Sena Madureira	567067,07 X 8942030,90 Y	257
2	83,3	FAB + FAP	Bujari	561555,86 X 8974350,30 Y	202
3	184,0	FAB + FAP	Bujari	620315,26 X 8925048,55 Y	199
4	203,3	FAB + FAP	Bujari	622662,42 X 8922425,26 Y	194
5	340,6	FAB + FAP	Sena Madureira	549728,05 X 8968701,02 Y	192
6	399,4	FAB + FAP	Bujari	548807,59 X 8971865,08 Y	216
7	494,8	FAB + FAP + FD <sup>2</sup>	Porto Acre	569690,36 X 8943641,70 Y	223
8	498,0	FAB + FAP	Bujari	527050,39 X 8913036,64 Y	193
<b>Total</b>	<b>2.223,8</b>				

<sup>1</sup> FAB + FAP = Floresta Aberta com Bambu + Floresta Aberta com Palmeira; <sup>2</sup> FAB + FAP + FD = Floresta Aberta com Bambu + Floresta Aberta com Palmeira + Floresta Densa.

\* Área referente ao polígono da propriedade, em hectares.

\*\* Coordenadas X e Y em projeção UTM.

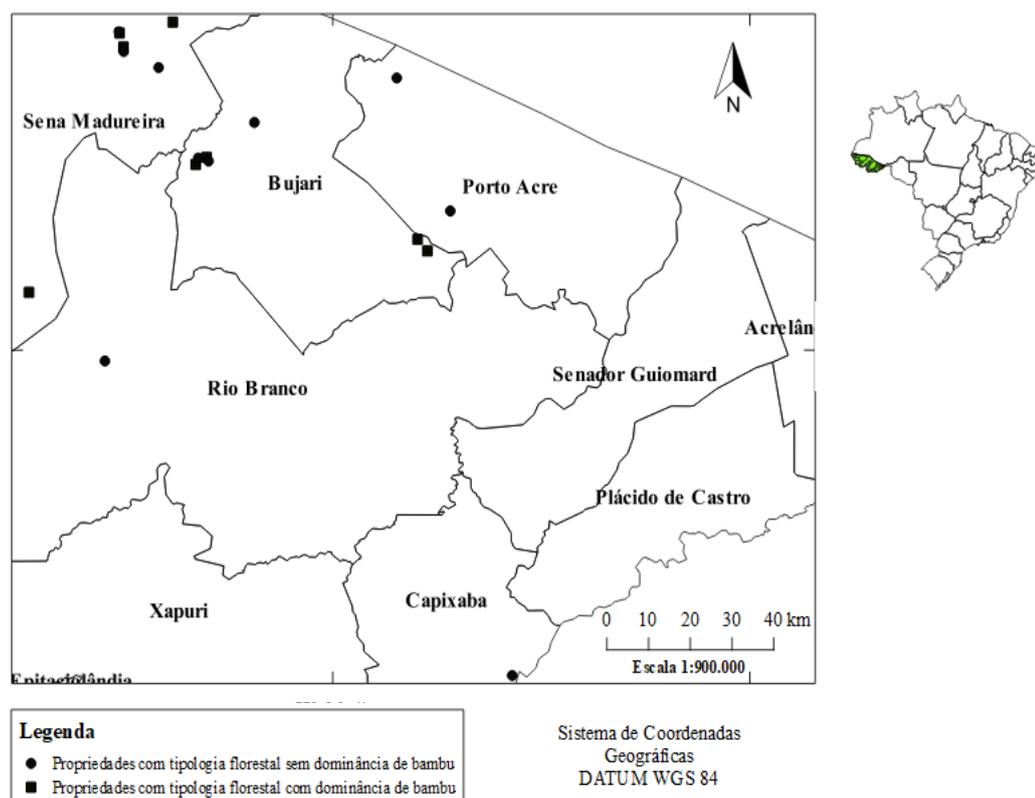
**Tabela 3** - Dados sobre as propriedades localizadas em tipologias florestais onde o bambu não era o elemento florístico dominante.

Nº	Área *	Tipologia Florestal	Município	Localização **	Altitude (m)
1	0,2	FAP + FAB <sup>1</sup>	Sena Madureira	548634,89 X 8972120,15 Y	219
2	10,5	FAP <sup>2</sup>	Bujari	615326,59 X 8961650,80 Y	178
3	53,4	FAP + FAB	Sena Madureira	545290,09 X 8897468,63 Y	188
4	90,4	FAP + FAB	Bujari	567661,44 X 8943508,33 Y	190
5	123,2	FAP + FD <sup>3</sup>	Porto Acre	570167,09 X 8942814,73 Y	200
6	185,3	FAP – Aluvial <sup>4</sup>	Rio Branco	558179,12 X 8964030,01 Y	204
7	212,6	FAP + FD	Capixaba	549788,14 X 8967665,22 Y	233
8	235,0	FAP + FD	Porto Acre	628173,14 X 8931484,89 Y	175
9	1.308,3	FAP + FAB	Sena Madureira	581156,55 X 8951576,90 Y	175
<b>Total</b>	<b>2.218,9</b>				

<sup>1</sup> FAP + FAB = Floresta Aberta com Palmeiras + Floresta Aberta com Bambu; <sup>2</sup> FAP = Floresta Aberta com Palmeiras; <sup>3</sup> FAP + FD = Floresta Aberta com Palmeiras + Floresta Densa; <sup>4</sup> FAP – Aluvial = Floresta Aluvial Aberta com Palmeiras.

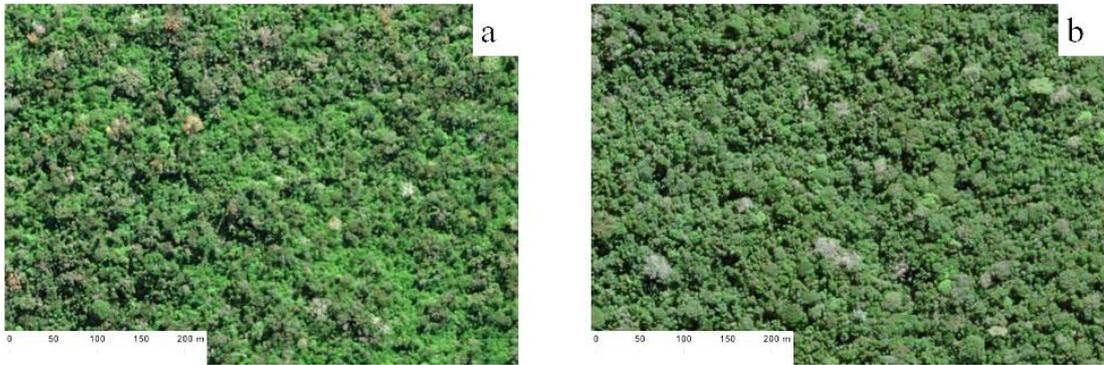
\* Área referente ao polígono da propriedade, em hectares.

\*\* Coordenadas X e Y em projeção UTM.

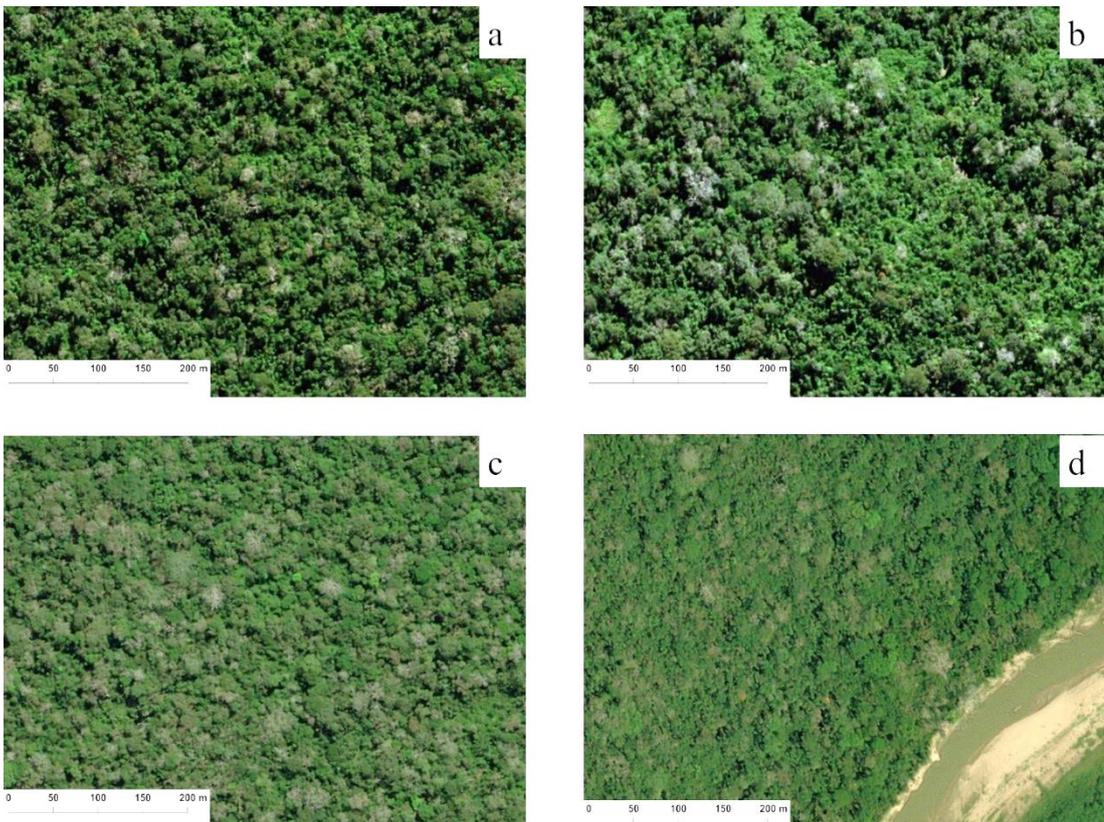


**Figura 3** - Localização das propriedades em estudo (ponto central amostral dentro de cada propriedade). Fonte: elaborado pela autora.

Com a finalidade de observar os diferentes aspectos das tipologias florestais estudadas, as Figuras 4 e 5 a seguir ilustram essas tipologias encontradas nas 13 propriedades, segundo imagens de alta resolução, disponíveis no *software* Google Earth Pro.



**Figura 4** - Imagens de alta resolução das tipologias florestais com dominância de bambu do tipo FAB + FAP (a) e FAB + FAP + FD (b) encontradas nas propriedades em estudo. Fonte: adaptado de Google Satélite (2019).



**Figura 5** - Imagens de alta resolução das tipologias florestais sem dominância de bambu, sendo: (a) FAP, (a) FAP + FAB, (c) FAP + FD e (d) FAP - Aluvial. Fonte: adaptado de Google Satélite (2019).

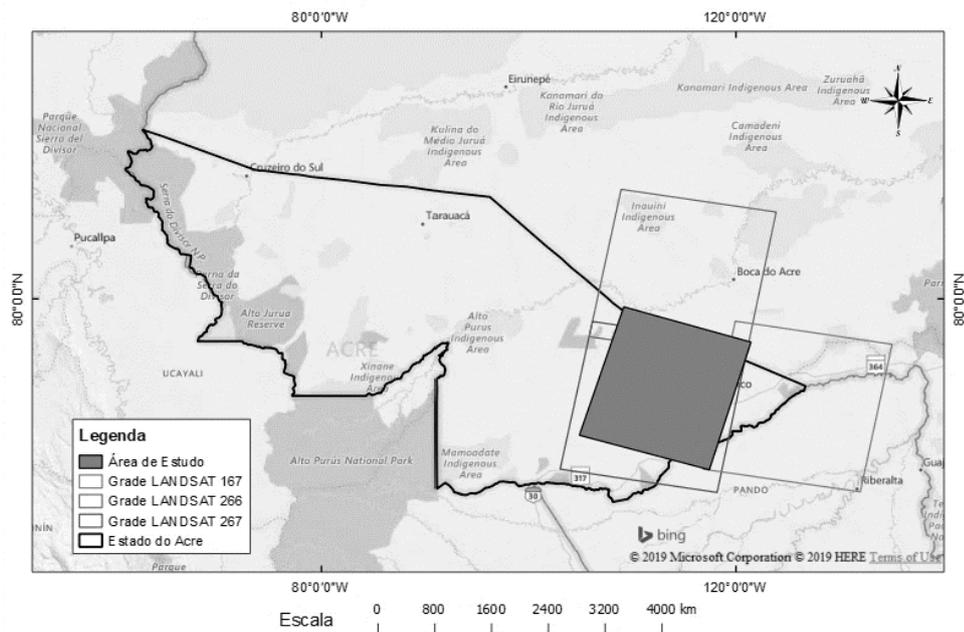
As tipologias florestais predominantes em cada uma das propriedades selecionadas foram preliminarmente classificadas utilizando-se um arquivo em formato *shapefile*, fornecido pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente (SEMA) do Governo do Estado do Acre, no qual estão delimitadas as diferentes tipologias florestais ocorrentes no Estado do Acre e as áreas antropizadas, cujo mapa foi publicado na edição impressa/digital do Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Acre – fase II (escala 1:250.000), Capítulo 2 “Meio Biótico”, Tópico “Vegetação” (Acre, 2010). A interseção do banco de dados disponibilizado pelo LABGAMA e do arquivo *shapefile* fornecido pela SEMA permitiu a elaboração das Tabelas 2 e 3, que contém as informações básicas de cada uma das propriedades incluídas no estudo.

### 3.2 PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS

Para a realização do estudo, foram obtidas imagens do satélite Landsat (sensores TM e OLI) de diferentes fontes: através do Escritório Técnico de Gestão do Cadastro Ambiental Rural (CAR-AC), da Unidade Central de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto (UCEGEO) da Fundação de Tecnologia do Estado do Acre (FUNTAC), dos catálogos de imagens digitais do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2019a) e pelo *site* do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, 2019).

Para o mapeamento do bambu em áreas de exploração madeireira, foram utilizados arquivos *raster* dos anos de 2009, 2011, 2013 e 2015 e 2017 dos satélites Landsat-5 (sensor TM) e Landsat-8 (sensor OLI). A composição de bandas escolhidas para o sensor TM foi 5 (1,55 – 1,75  $\mu\text{m}$ , infravermelho médio), 4 (0,76 – 0,90  $\mu\text{m}$ , infravermelho próximo) e 3 (0,63 – 0,69  $\mu\text{m}$ , vermelho), na composição colorida falsa cor, na resolução espacial de 30 m. Para as imagens do sensor OLI, as bandas espectrais utilizadas foram 6 (1,560 – 1,660  $\mu\text{m}$ , infravermelho médio), 5 (0,845 – 0,885  $\mu\text{m}$ , infravermelho próximo) e 4 (0,630 – 0,680  $\mu\text{m}$ , vermelho), na composição colorida falsa cor.

A classificação temática foi feita a partir de um recorte de mosaico composto pela seleção das grades 167, 266 e 267 do satélite Landsat, cobrindo uma área de 39.805,5 Km<sup>2</sup>, a qual abrangia as 17 propriedades estudadas, como pode ser observado na Figura 6.



**Figura 6** - Localização das grades 167, 266 e 267 do satélite Landsat e polígono referente ao recorte do mosaico *raster* formado pelas três grades citadas. Fonte: elaborado pela autora.

A Tabela 4 mostra as grades do satélite Landsat utilizadas na classificação temática do presente estudo.

**Tabela 4** - Informações referentes ao sensor, resolução espacial, número da cena e respectiva data de geração das grades *raster* utilizadas no presente estudo.

Satélite	Sensor	Resolução Espacial	Cena	Data
Landsat-5	TM (Thematic Mapper)	30 m	167	15/09/2009
				19/07/2011
			266	06/09/2009
				11/08/2011
			267	06/09/2009
				11/08/2011
Landsat-8	OLI (Operational Land Imager)	30 m	167	08/07/2013
				30/07/2015
			266	19/07/2017
				01/09/2013
			267	22/08/2015
				10/07/2017

De cada propriedade, foram obtidos seus arquivos de perímetro em formato *shapefile* e por meio da ferramenta de interseção, foram cruzados dados de dimensões

das propriedades com o arquivo *shapefile* das tipologias florestais do Estado do Acre, segundo o Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Acre – fase II, para em seguida ser realizada a seleção e extração das propriedades pelo *software* livre QGIS 2.18.19. Os arquivos foram utilizados no sistema de projeção UTM (Universal Transversa de Mercator) e Datum WGS (World Geodetic System) 1984.

Para corrigir distorções encontradas nas imagens, algumas das cenas passaram pelo tratamento de registro manual. Esse processo baseia-se na transformação geométrica e relaciona as coordenadas da imagem (linha e coluna) com as coordenadas geográficas (latitude e longitude) em um mapa (Pamboukian, 2013). Para a correção, foram coletados pontos no banco de dados do satélite BING no *plug-in QuickmapService*, disponível no *software* livre QGIS versão 2.18.19. Por fim, os pontos foram alocados na imagem e as imagens georreferenciadas.

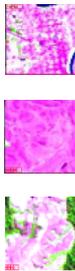
O QGIS é um *software* livre de SIG licenciado pela *General Public License* (GPL) e é um projeto oficial da *Open Source Geospatial Foundation* (OSGeo). Funciona em várias plataformas de sistemas operacionais (Linux, Unix, Mac OSX, Windows e Android), além de suportar os vários formatos e funções de vetores, *rasters* e *plugins* com os mais variados recursos (QGIS, 2013).

### 3.3 CLASSIFICAÇÃO TEMÁTICA

Antes de se realizar a classificação temática, foram utilizadas “máscaras” de arquivos em formato *shapefile* que identificaram áreas com incidência de incêndios florestais ocorridos em 2005, 2010 e 2005 e 2010 (registro de incêndios no mesmo local nestes anos), a fim de que elas fossem descartadas e o registro do fogo não afetasse o resultado da classificação.

Com a finalidade de auxiliar no processo de classificação temática, foi criada uma chave de identificação para as feições encontradas em cada arquivo *raster* recortado, segundo a Tabela 5. Em seguida, foram realizadas as classificações supervisionadas pelos algoritmos Máxima Verossimilhança (Maximum Likelihood, segundo a Equação 1) – MAXVER e Distância Mínima (Minimum Distance, segundo a Equação 2) – MINDIS de cada cena, segundo as equações a seguir.

**Tabela 5** - Chave de identificação das classes/feições utilizadas nas cenas Landsat-5 (sensor TM) e Landsat-8 (sensor OLI).

Classe	Descrição	Cor	Amostra
<b>Área Antropizada</b>	Áreas urbanas, rodovias e ramais, solo exposto, áreas de plantio e pasto	Magenta	
<b>Bambu</b>	Florestas ou áreas dominadas por bambu	Amarelo	
<b>Hidrografia</b>	Cursos d'água e açudes	Azul	
<b>Vegetação</b>	Vegetação onde o bambu não é dominante, fragmentos florestais e áreas de capoeira	Verde	

Para a classificação temática, foram selecionados, de forma aleatória, pontos representativos de cada feição (área alterada, bambu, hidrografia e vegetação), observando-se os elementos como tonalidade, cor, textura, forma e tamanho, de acordo com a chave de identificação previamente elaborada. Esses pontos coletados foram salvos em arquivos chamados ROI (*Region of Interest*) no *software* ENVI versão 4.7. Este *software* foi desenvolvido para o processamento de imagens na linguagem IDL (*Interactive Data Language*), em linguagem mais robusta, veloz e sofisticada, sem a necessidade de operá-lo em um computador de altíssimo desempenho (Rosa, 2005). Todo o recorte *raster* do mosaico, formado pelas grades Landsat 167, 266 e 267, foi classificado em cada método de classificação supervisionada para depois ser feita o cálculo de área referentes às classes previamente definidas.

Para determinar a qualidade da classificação temática, o *software* ENVI 4.7 gerou matrizes de confusão para cada ano classificado, calculadas a partir da comparação dos pontos da classificação supervisionada (ROIs) e os pontos de controle, coletados de forma aleatória, em imagens de alta resolução (4.800 pixels por imagem) em cada ano utilizado na classificação temática pelo *software* Google Earth Pro (verdade de campo).

$$-\ln[P(x_i|w_i)] = \ln|C_i| + (x_i - \mu_i)^T \cdot C_i^{-1} \cdot (x_i - \mu_i) \quad (1)$$

onde “x” e “w” são os “eventos”, “P” a probabilidade de coexistência ou interseção destes eventos, “C” é a matriz de covariância da classe “w<sub>i</sub>”, “μ<sub>i</sub>” é o vetor médio para a classe “w<sub>i</sub>” e “|C<sub>i</sub>” é o determinante da matriz de covariância (Mather e Tso, 2011).

E

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (2)$$

em que “x” é o primeiro vetor de assinatura espectral, “y” é o segundo vetor de assinatura espectral e “n” é o número de bandas da imagem (Vale *et al.*, 2018).

Cada classificação gerou índices de Exatidão Global e Kappa (Equações 3 e 4, respectivamente), os quais são calculados com base numa matriz de erros, forjada a partir da concordância entre a cena utilizada e os pontos de controle coletados em campo (verdade de campo). Esses índices são gerados segundo as equações a seguir (Fernandes *et al.*, 2017).

$$P_0 = \frac{\sum_{i=1}^m X_i}{N} \times 100 \quad (3)$$

em que “P<sub>0</sub>” é a exatidão global (%), “N” representa o número total de elementos amostrados, “X<sub>i</sub>” são os elementos da diagonal principal e “m” é o número de classes na matriz de confusão.

$$K = \frac{n \sum_{i=1}^c x_{ii} - \sum_{i=1}^c (x_{i+} + x_{+i})}{n^2 - \sum_{i=1}^c (x_{i+} + x_{+i})} \quad (4)$$

onde “n” representa o número total de pixels amostrados, “ $x_{ii}$ ” é o número de pixel da i-ésima classe classificada adequadamente, “c” é o número total de classes, “ $x_{i+}$ ” equivale à amostra (em pixels) - que compõem a i-ésima classe (linha) - e “ $x_{+i}$ ” é o número de pixels classificados como pertencentes à i-ésima classe (total da coluna).

Para conferir a eficiência das matrizes de confusão, o *software* ENVI gera os índices Kappa (K) e de Exatidão Global (EG), os quais indicam o nível de acerto dos pixels classificados. Para que fosse possível gerar os índices citados, realizou-se a coleta de pontos aleatórios em imagens de alta resolução de cada ano avaliado (2009, 2011, 2013, 2015 e 2017), por meio do *software* Google Earth Pro. Os pontos foram salvos em arquivo em formato *shapefile* e inseridos como arquivo ROIs no *software* ENVI e comparou-se os ROIs selecionados para a classificação temática com os ROIs dos pontos de controle (verdade de campo). Essa comparação permite a geração dos referidos índices. A Tabela 6 mostra os níveis de desempenho do Índice Kappa.

**Tabela 6** - Desempenho do Índice Kappa.

<b>Kappa</b>	<b>Desempenho</b>
< 0,00	Ruim
0,00 – 0,20	Fraco
0,21 – 0,40	Razoável
0,41 – 0,60	Moderado
0,61 – 0,80	Considerável
0,81 – 1,00	Excelente

Fonte: Adaptado de Landis e Koch (1977, p. 165).

Após a realização da classificação, foram utilizadas ferramentas de seleção e extração para determinar a quantidade de *pixels* referentes a cada uma das classes definidas (ver Tabela 5) nas propriedades nas quais ele era dominante e onde não era o elemento florístico dominante. Por fim, o *software* ENVI gerou a estatística referente à área total de pixels identificados de cada feição nas propriedades selecionadas para o estudo, em cada recorte *raster* classificado.

### 3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O *software* ENVI 4.7 gera, após a classificação temática e a matriz de confusão, matrizes de correlação. Esta matriz utiliza-se do índice de correlação de Pearson e

mede o grau de relação linear entre cada par de itens ou variáveis, variando entre -1 e +1. Na medida em que as duas variáveis têm aumento diretamente proporcional, o valor da correlação é positivo.

A equação 5 (a, b e c) demonstra como obter o índice de correlação de Pearson.

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5a)$$

onde “ $x_1, x_2, \dots, x_n$ ” e “ $y_1, y_2, \dots, y_n$ ” são os valores de ambas as variáveis, sendo

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (5b)$$

e

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (5c)$$

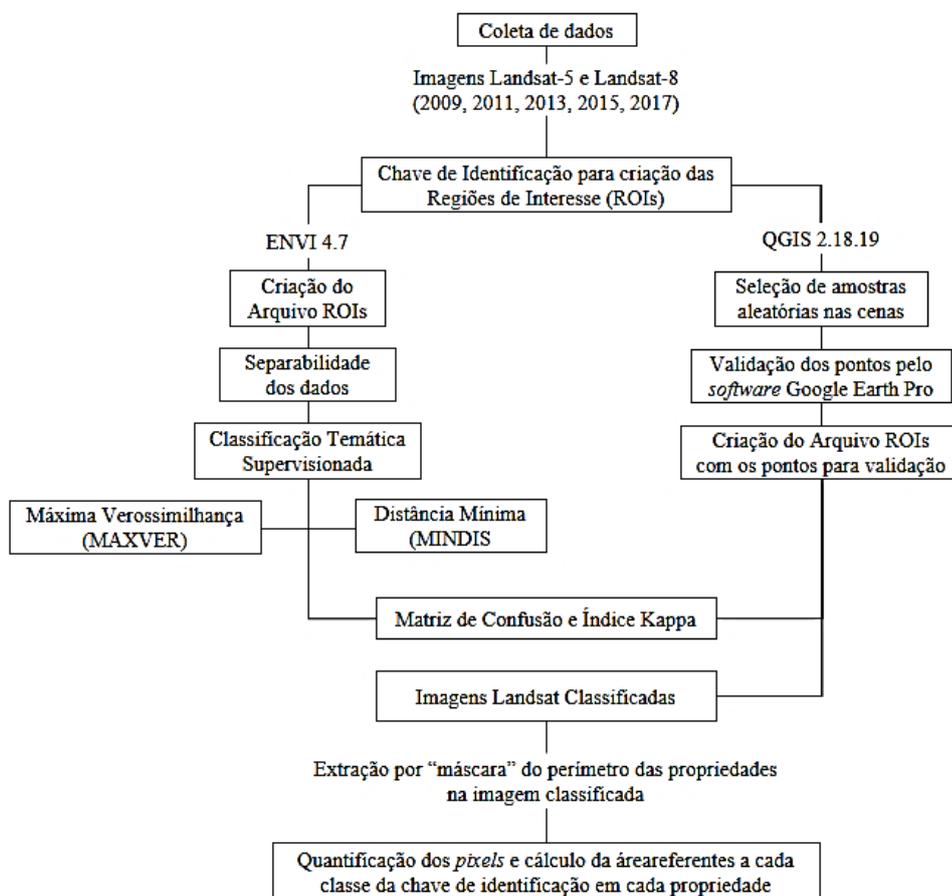
são as médias aritméticas de ambas as variáveis.

Para determinar o índice de separabilidade entre as classes, conhecido como Jeffries-Matusita (J-M), o *software* ENVI calcula a Distância de Bhattacharyya, a qual determina o quanto as classes se confundem. Este índice varia de 0 a 2 e indica que quando a distância entre as variáveis se aproxima de 2, menos semelhantes são as classes definidas e mais satisfatória será a classificação temática, enquanto que mais próximas a 0, maior a diferença entre as classes e menor a separação estatística de um determinado par de ROIs (Ahmad e Quegan, 2012; Fortes *et al.*, 2014). A Distância de Bhattacharyya é calculada segundo a Equação 6.

$$B_{(P_i, P_j)} = \frac{1}{2} (m_1 - m_2)^T \sum (m_i - m_j) + \frac{1}{2} \ln \frac{|\sum (m_i - m_j)|}{|\sum i|^{\frac{1}{2}} |\sum j|^{\frac{1}{2}}}$$

onde “B” é a Distância de Bhattacharyya, “ $P_i$ ” e “ $p_j$ ” são os pixels nas classes “i” e “j”, “ $m_i$ ” e “ $m_j$ ” são médias das classes “i” e “j”, “T” é a matriz transposta e “i” e “j” são as classes dentro do contexto.

Por fim, o fluxograma da Figura 7 mostra um resumo de toda a metodologia empregada no processamento digital das cenas *raster* empregadas no presente estudo.



**Figura 7** - Fluxograma explicativo da metodologia empregada para as classificações temáticas. Fonte: elaborado pela autora.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 DINÂMICA DO BAMBU APÓS A EXPLORAÇÃO FLORESTAL

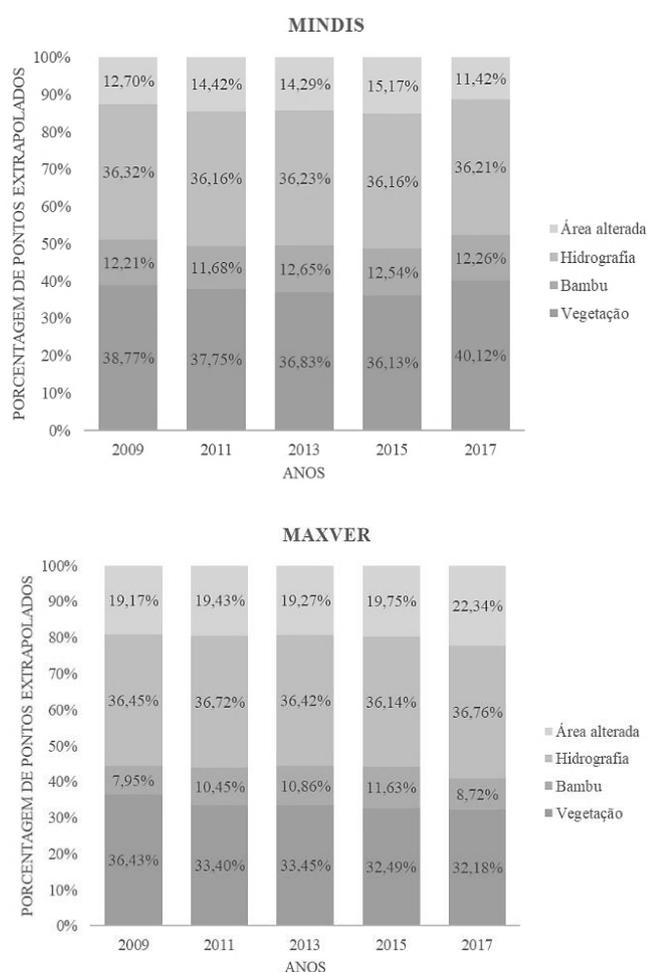
É possível observar que houve pouca variação na área referente ao bambu na cena *raster* como um todo para ambos os métodos, com valores mínimos encontrados para o ano de 2011 (ano imediatamente posterior à exploração madeireira) para o método MINDIS (11,68%) e para o método MAXVER (7,95%) no ano de 2009. O valor máximo observado em ambas as classificações para a feição “bambu” foi de 12,65% em 2013 para o método MINDIS e 11,63% para o método MAXVER no ano de 2015.

Ambas as classificações identificaram que as maiores porcentagens de *pixels* classificados no recorte *raster* referem-se às feições “hidrografia” ( $\overline{\text{MINDIS}}_{\%} = 36,22\%$  e  $\overline{\text{MAXVER}}_{\%} = 36,50\%$ ) e “vegetação” ( $\overline{\text{MINDIS}}_{\%} = 37,92\%$  e  $\overline{\text{MAXVER}}_{\%} = 33,59\%$ ). As médias referentes às feições “área alterada” representaram  $\overline{\text{MINDIS}}_{\%} = 13,60\%$  e  $\overline{\text{MAXVER}}_{\%} = 19,99\%$  e para a feição “bambu” foram equivalentes a  $\overline{\text{MINDIS}}_{\%} = 12,26\%$  e  $\overline{\text{MAXVER}}_{\%} = 9,92\%$ .

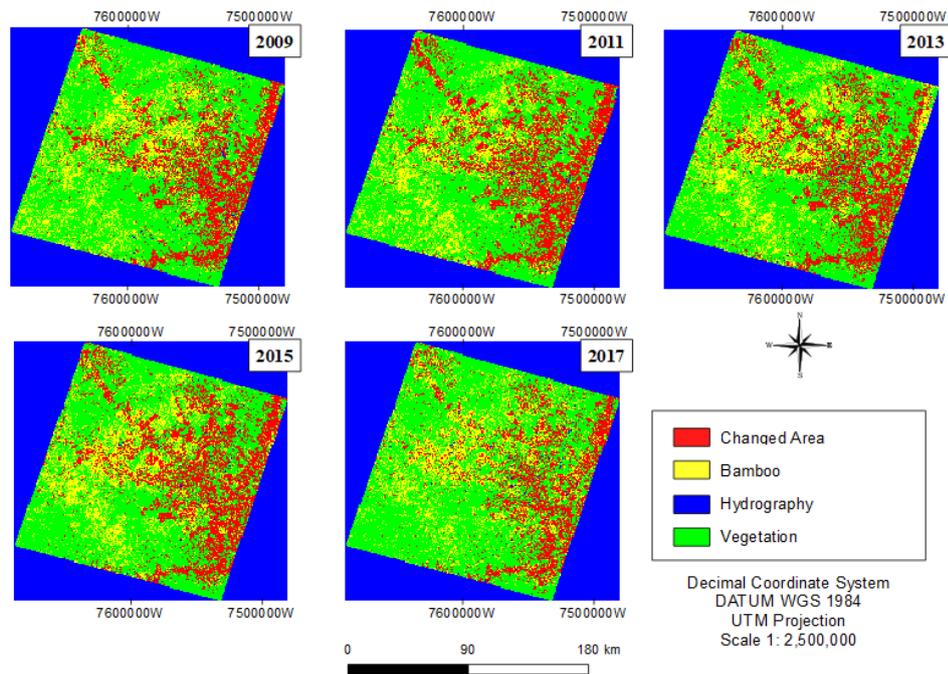
Nota-se que em 2009, um ano antes da exploração realizada em 2010, o bambu encontrava-se em manchas mais exparsas na região avaliada pelo estudo, após a avaliação feita com os dois métodos de classificação supervisionada. Com o aumento de clareiras (derivadas da abertura de estradas, trilhas de arraste, construção de pátios e pela derrubada das árvores de valor comercial que foram extraídas e etc.), observa-se um comportamento que tende ao adensamento das manchas de bambu. O que induz ao aumento de sua área. Ghosh e Joshi (2014), ao estudarem uma floresta onde o bambu é dominante em Bengala Ocidental, na Índia, observaram uma situação diferente em relação ao método MINDIS. Antes da intervenção humana e da fragmentação florestal, as manchas de bambu eram maiores, homogêneas e contínuas. Depois, elas se tornaram menores e mistas, por meio do rápido fechamento das

clareiras. No Rio Grande do Sul, Budke *et al.* (2010) relataram que nas clareiras, localizadas no Horto Florestal do município de Erechim, houve um aumento na densidade de colmos e na altura total do bambu *Merostachys multiramea* Hack., porém os autores observaram maior riqueza e diversidade de espécies nas áreas de clareira do que nas áreas de dossel fechado sem bambu.

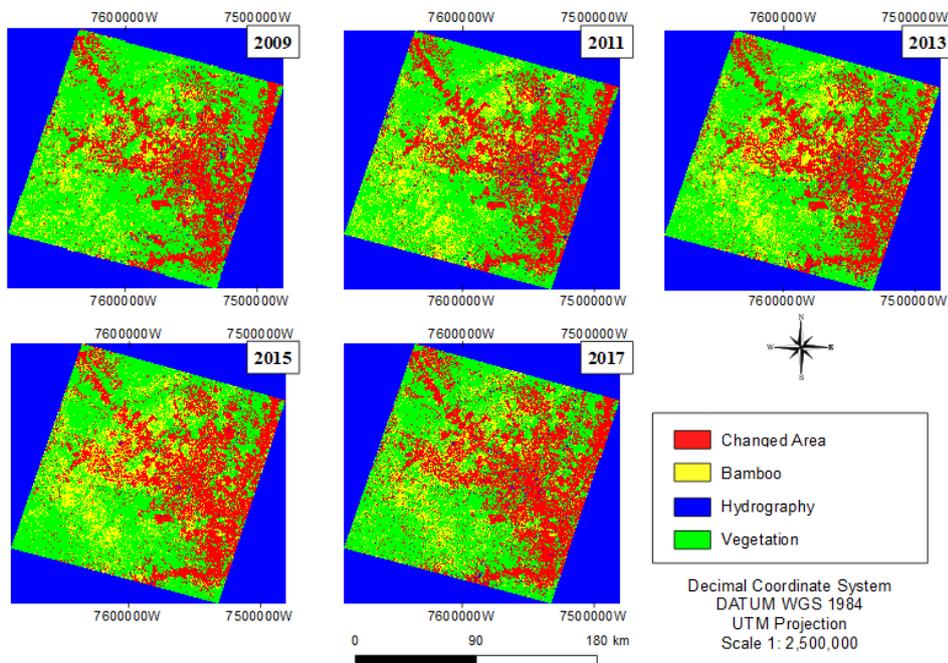
O resumo dos dados gerados a partir das classificações temáticas das cenas em cada ano classificado pode ser observado na Figura 8 a seguir, bem como a evolução da ocupação do bambu ao longo da série histórica estudada e o comportamento de expansão descrito anteriormente, segundo as classificações temáticas automáticas de Distância Mínima (Figura 9) e Máxima Verossimilhança (Figura 10). O fundo azul nos recortes das cenas das Figuras 9 e 10 não representam a feição “hidrografia”.



**Figura 8** - Resumo temporal da distribuição de classes (feições) resultante da aplicação dos métodos de Distância Mínima (MINDIS) e Máxima Verossimilhança (MAXVER) na avaliação da expansão do bambu utilizando recorte *raster* das cenas Landsat 167, 266 e 267 da região leste do Estado do Acre.



**Figura 9** - Evolução temporal da ocupação das classes determinadas na chave de identificação por meio do método da classificação temática de Distância Mínima (MINDIS) utilizando recorte *raster* das cenas Landsat 167, 266 e 267 da região leste do Estado do Acre. Fonte: elaborado pela autora.



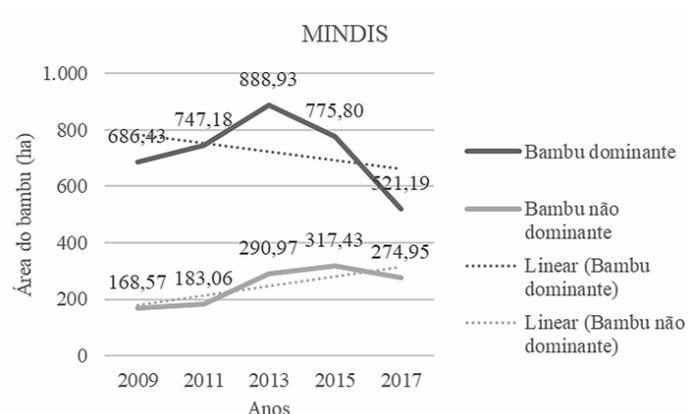
**Figura 10** - Evolução temporal da ocupação das classes determinadas na chave de identificação por meio do método da classificação temática de Máxima Verossimilhança (MAXVER) utilizando recorte *raster* das cenas Landsat 167, 266 e 267 da região leste do Estado do Acre. Fonte: elaborado pela autora.

#### 4.1.1 Expansão do bambu *Guadua* spp. em áreas exploradas

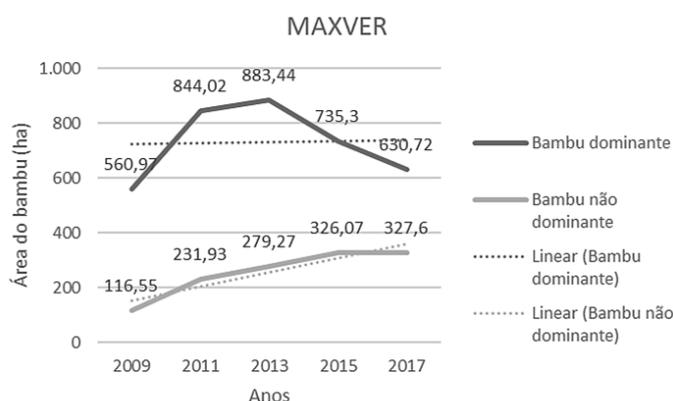
A classificação supervisionada de Distância Mínima (MINDIS) identificou que, entre os anos de 2009 e 2013, houve um aumento de 29,5% (202,5 ha) da área identificada como bambu na tipologia florestal dominada por esta gramínea nas propriedades com registro de exploração madeireira em 2010. Utilizando-se este mesmo método, observou-se que nas propriedades que não apresentavam tipologia florestal dominada pelo bambu, houve um aumento de 72,6% (122,4 ha) no mesmo período (2009 a 2013). Em valores médios, o aumento da área referente ao bambu nos oito anos do estudo representou 46,0 ha.ano<sup>-1</sup> nas propriedades com dominância de bambu e 18,6 ha.ano<sup>-1</sup> nas propriedades onde o bambu não é dominante na tipologia.

Aplicando-se o método MAXVER, a expansão do bambu nas propriedades com tipologias florestais nas quais ele era dominante foi de 50,5% (283,0 ha) entre os anos de 2009 e 2011 (primeiro ano após a exploração). No período de 2009 a 2013, observou-se um aumento médio de 40,3 ha.ano<sup>-1</sup> da área ocupada pelo bambu nas propriedades com tipologias florestais nas quais ele era dominante. No período compreendido entre 2009 e 2017, nas propriedades de tipologias florestais sem bambu dominante, o aumento observado foi de 181,1% (211,0 ha), e observou-se um aumento médio da ocupação do bambu em 26,4 ha.ano<sup>-1</sup>.

As Figuras 11 e 12 mostram a área referente à somatória dos *pixels* identificados como “bambu” no perímetro das propriedades em estudo, segundo os métodos de classificação supervisionada utilizados.



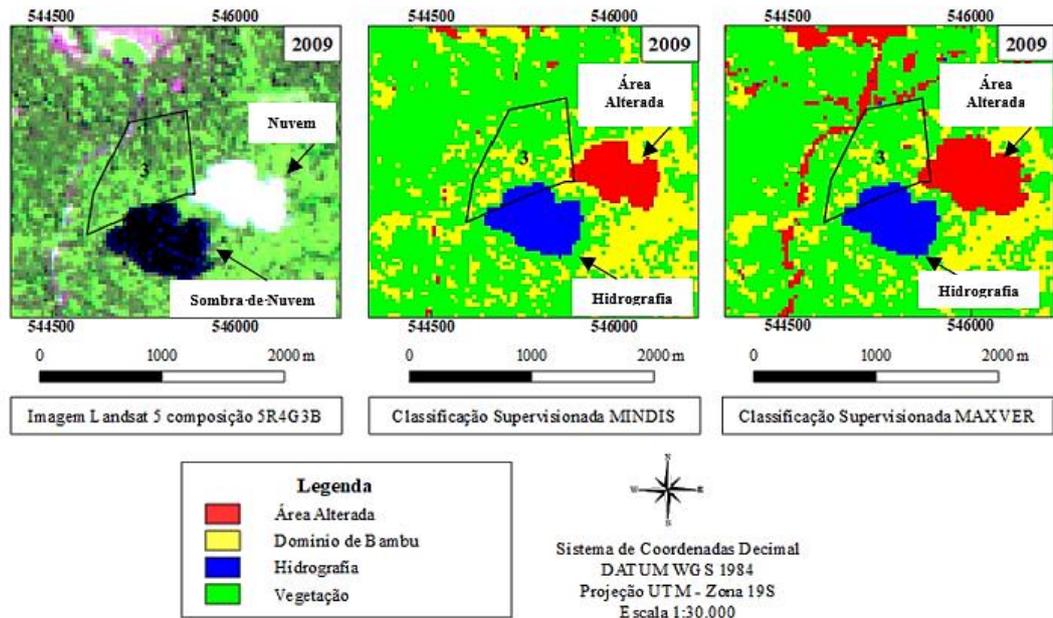
**Figura 11** - Evolução da área de ocupação do bambu (ha) após a exploração madeireira realizada no ano de 2010 estimada mediante o uso do método de Distância Mínima (MINDIS) nas propriedades estudadas.



**Figura 12** - Evolução da área de ocupação do bambu (ha) após a exploração madeireira realizada no ano de 2010 estimada mediante o uso do método de Máxima Verossimilhança (MAXVER) nas propriedades estudadas.

Nas propriedades nas quais o bambu não é o elemento florístico dominante, foi observado um aumento linear em ambos os métodos de classificação supervisionada, com os maiores índices gerados na classificação para os anos de 2013 para o método MINDIS (290,97 ha), enquanto que nas propriedades onde é dominante, observou-se uma redução (método MINDIS) ou constância (método MAXVER) na variação das áreas referentes ao domínio da gramínea após o processo de classificação supervisionada.

O Apêndice I (página 70) mostra um dos resultados equivocados gerados devido à automação do método classificador. Na propriedade intitulada nº 3, na imagem classificada no ano de 2009, das propriedades de tipologias sem dominância de bambu, há a presença de uma nuvem e sua sombra. A presença desses elementos induziu os algoritmos a enquadrarem-nos nas feições “área alterada” e “hidrografia”, respectivamente (Figura 13), o que induz ao erro de classificação do *pixel* na feição correspondente, interferindo nos valores de estatística das classes definidas na chave de identificação da classificação.

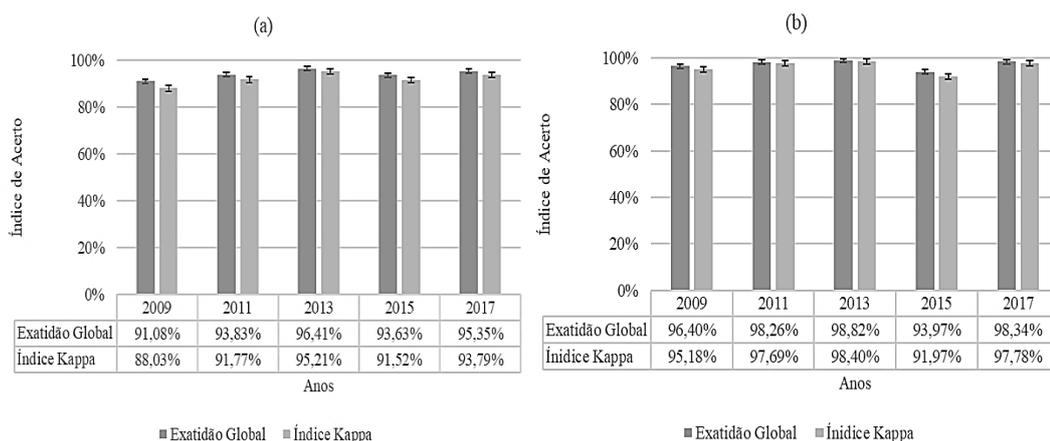


**Figura 13** - Propriedade nº3 (tipologia florestal sem dominância de bambu), com presença de nuvem e as respectivas feições geradas pelos algoritmos de classificação supervisionada utilizados no estudo.

#### 4.2 ÍNDICE KAPPA E EXATIDÃO GLOBAL DAS CLASSIFICAÇÕES TEMÁTICAS

As classificações temáticas pelos métodos da Distância Mínima (MINDIS) e Máxima Verossimilhança (MAXVER) geraram resultados satisfatórios em todas as classificações, sendo enquadrados na categoria “perfeito”, segundo a Tabela 6 (página 25). Os menores valores foram gerados na classificação para o ano de 2015 para o método de Distância Mínima ( $K_{MINDIS} = 88,03\%$  e  $EG_{MINDIS} = 91,08\%$ ) e em 2015 para o método de Máxima Verossimilhança ( $K_{MAXVER} = 91,97\%$  e  $EG_{MAXVER} = 93,97\%$ ), ainda enquadrados como excelentes índices, segundo Landis e Koch (1977).

É possível observar que os valores do Índice Kappa sempre são menores em relação aos valores da Exatidão Global (Figura 14a e 14b), pois o Índice Kappa considera todas as células da matriz de erros (Mendes *et al.*, 2015), enquanto que a Exatidão Global considera a classificação como um todo. Ao calcular a concordância casual, o Índice Kappa inclui elementos da diagonal principal nos cálculos, superestimando esta e reduzindo o valor do índice (Dessbesell *et al.*, 2015).



**Figura 14** - Índices de Exatidão Global e Kappa gerados por meio das classificações temáticas, segundo o método MINDIS (a) e MAXVER (b).

A classificação supervisionada MAXVER gerou resultados relacionados ao K e EG maiores para a mesma área que o método de classificação MINDIS, e superiores aos de outros estudos realizados em áreas de florestas tropicais na Amazônia brasileira, florestas temperadas na China, florestas secas na Índia, florestas subtropicais no Brasil e regiões de Cerrado brasileiro (Wang *et al.*, 2009; Ghosh e Joshi, 2014; Gonçalves *et al.*, 2015; Oliveira *et al.*, 2015; Vasconcellos *et al.*, 2016; Grecchi *et al.*, 2016; Sothe *et al.*, 2017; Vale *et al.*, 2018).

Freitas Junior e Ribeiro (2014) compararam as funcionalidades das ferramentas SPRING e DEFINIENS para classificar imagens LANDSAT, CBERS, SPOT e IKONOS do Parque Nacional da Serra dos Órgãos. As classes temáticas que tiveram maior concordância com o documento de referência foram “área urbana”, “sombra” e “vegetação”, enquanto houve maiores índices de confusão entre “afloramento rochoso” e “agricultura”. Apesar de os Índices Kappa gerados terem sido semelhantes entre os *software*, os autores apontaram que houve melhores resultados do Índice Kappa, observados no *software* SPRING, para imagens de média resolução (LANDSAT e CBERS) e no sistema DEFINIENS, em imagens de alta resolução (SPOT e IKONOS).

Rodrigues *et al.* (2014) observaram um índice Kappa de 0,24 na bacia hidrográfica do ribeirão Paraíso em São Manuel e Areiópolis, Estado de São Paulo, em imagens Landsat-5 (sensor TM). As características de uso na bacia – cultivo de cana em variados estágios de desenvolvimento e produção e áreas de solo para manejo da cana – emitiram diferentes respostas espectrais de um mesmo uso, o que gerou um

alto grau de confusão na separação das classes estudadas na classificação temática MAXVER.

Sothe *et al.* (2017), em seu estudo sobre a classificação do estágio sucessional da vegetação do Parque Nacional de São Joaquim, Santa Catarina, encontraram índices mínimos abaixo dos valores obtidos no presente estudo para o método MAXVER, em imagens Landsat-8 e RapidEye, porém obtiveram índices semelhantes aos de Nery *et al.* (2013) no estudo realizado na bacia do rio Vieira, Minas Gerais, utilizando imagens dos mesmos satélites. Em ambos os estudos foi constatado que imagens de média resolução são mais adequadas para observar o comportamento do bambu. Nery *et al.* (2013) frisam que utilizar o método MAXVER permite a interferência do usuário, fato que pode resultar na obtenção de melhores resultados quando comparado ao método MINDIS. Vale *et al.* (2018), em seu estudo para realizar o mapeamento da cobertura do solo em Medicilândia, Pará, compararam os métodos de classificação supervisionada MINDIS, MAXVER e Distância de Mahalanobis, e obtiveram melhores resultados utilizando o método MAXVER. Os autores mostraram que é possível obter parâmetros que subsidiem estudos prospectivos dos fatores de interesse, trazendo subsídios aos órgãos de planejamento ambiental e territorial, mesmo que se utilizem recursos limitados, imagens de baixo custo, baixa resolução espacial, e processamento por meio de *software* livres de SIG.

Dentre os fatores que influenciam os resultados da classificação supervisionada, citam-se o índice pluviométrico e o período do ano em que se escolheu a cena para análise. Devido ao comportamento de senescência foliar da vegetação em algumas regiões durante o período mais seco do ano, os valores de reflectância gerados não representam a amostra em estudo de forma adequada devido ao baixo índice de radiação solar captado pelo reduzido número de folhas que persiste na vegetação. Wang *et al.* (2009), em seu estudo realizado em floresta temperada da China, constataram que imagens obtidas em período de inverno melhoram a precisão do mapeamento do bambu contido no sub-bosque destas florestas, independentemente do método classificador.

A classificação automática, mesmo que gere excelentes índices, ainda pode informar resultados equivocados, superestimando ou subestimando as áreas das classes definidas. O método MAXVER apresentou valores próximos ao do método MINDIS, que, apesar disso, não foi capaz de exibir em dados quantitativos a expansão do bambu nas cenas de satélite avaliadas no presente estudo. Visualmente, as imagens

classificadas por ambos os métodos mostram que o bambu tem potencial de se expandir para áreas que apresentam condições (*e.g.*: clareiras, bordas, estradas).

As Tabelas 7 e 8 mostram as matrizes de confusão geradas pelo *software* ENVI em (%) de pixels por classe definida.

**Tabela 7** - Matrizes de confusão geradas por meio das classificações temáticas para cada ano estudado, segundo o método MINDIS, em porcentagem.

Ano	Verdade de Campo (%)					
	Classe	Área Alterada	Bambu	Hidrografia	Vegetação	Total (%)
2009	Área Alterada	93,02	0,00	0,00	0,00	22,77
	Bambu	3,88	100,00	0,00	0,00	25,62
	Hidrografia	0,00	0,00	68,85	0,00	15,94
	Vegetação	3,10	0,00	31,15	100,00	35,67
	Total (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Ano	Verdade de Campo (%)					
	Classe	Área Alterada	Bambu	Hidrografia	Vegetação	Total (%)
2011	Área Alterada	99,22	0,00	2,36	0,00	25,24
	Bambu	0,00	92,13	0,00	0,00	22,54
	Hidrografia	0,00	0,00	83,46	0,00	20,43
	Vegetação	0,78	7,87	14,18	100,00	31,79
	Total (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Ano	Verdade de Campo (%)					
	Classe	Área Alterada	Bambu	Hidrografia	Vegetação	Total (%)
2013	Área Alterada	100,00	0,00	0,00	0,00	24,95
	Bambu	0,00	100,00	0,00	4,84	26,35
	Hidrografia	0,00	0,00	90,48	0,00	22,75
	Vegetação	0,00	0,00	9,52	95,16	25,95
	Total (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Ano	Verdade de Campo (%)					
	Classe	Área Alterada	Bambu	Hidrografia	Vegetação	Total (%)
2015	Área Alterada	97,99	0,00	3,31	0,00	25,99
	Bambu	1,34	97,86	0,00	0,71	24,10
	Hidrografia	0,00	0,00	80,13	0,00	20,82
	Vegetação	0,67	2,14	16,56	99,29	29,09
	Total (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Ano	Verdade de Campo (%)					
	Classe	Área Alterada	Bambu	Hidrografia	Vegetação	Total (%)
2017	Área Alterada	87,16	0,00	1,34	0,00	21,76
	Bambu	9,46	95,04	0,00	0,00	24,58
	Hidrografia	0,00	0,00	98,66	0,00	24,42
	Vegetação	3,38	4,96	0,00	100,00	29,24
	Total (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

**Tabela 8** - Matrizes de confusão geradas por meio das classificações temáticas para cada ano estudado, segundo o método MAXVER, em porcentagem.

Ano		Verdade de Campo (%)				
	Classe	Área Alterada	Bambu	Hidrografia	Vegetação	Total (%)
2009	Área Alterada	100,00	0,00	6,56	1,37	26,38
	Bambu	0,00	100,00	0,00	0,00	24,67
	Hidrografia	0,00	0,00	86,07	0,00	19,92
	Vegetação	0,00	0,00	7,38	98,63	29,03
	Total (%)	100,00	100,00	100,01	100,00	100,00

Ano		Verdade de Campo (%)				
	Classe	Área Alterada	Bambu	Hidrografia	Vegetação	Total (%)
2011	Área Alterada	99,22	0,00	0,00	0,00	24,66
	Bambu	0,00	96,06	0,00	0,00	23,51
	Hidrografia	0,00	0,00	97,64	0,00	23,89
	Vegetação	0,78	3,94	2,36	100,00	27,94
	Total (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Ano		Verdade de Campo (%)				
	Classe	Área Alterada	Bambu	Hidrografia	Vegetação	Total (%)
2013	Área Alterada	100,00	0,00	0,00	0,00	24,95
	Bambu	0,00	100,00	0,00	4,84	26,35
	Hidrografia	0,00	0,00	100,00	0,00	25,15
	Vegetação	0,00	0,00	0,00	95,16	23,55
	Total (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Ano		Verdade de Campo (%)				
	Classe	Área Alterada	Bambu	Hidrografia	Vegetação	Total (%)
2015	Área Alterada	100,00	0,00	17,22	0,00	30,12
	Bambu	0,00	97,86	0,00	1,42	23,92
	Hidrografia	0,00	0,00	80,13	0,00	20,83
	Vegetação	0,00	2,14	2,65	98,58	25,13
	Total (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Ano		Verdade de Campo (%)				
	Classe	Área Alterada	Bambu	Hidrografia	Vegetação	Total (%)
2017	Área Alterada	99,32	2,13	0,00	0,61	25,08
	Bambu	0,00	95,74	0,00	0,61	22,59
	Hidrografia	0,68	0,00	100,00	0,61	25,08
	Vegetação	0,00	2,13	0,00	98,17	27,25
	Total (%)	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Fernandes *et al.* (2017), ao classificarem o uso da terra em Três Lagoas, Mato Grosso do Sul, concluíram que o algoritmo MAXVER mostrou melhor desempenho de classificação de acordo com o coeficiente Kappa. Não houve uma tendência no erro de classificação nas classes mapeadas entre os algoritmos testados pelos autores, entretanto, o maior erro para a classificação por Rede Neural Artificial foi observado na classe “eucalipto” ( $P_0 = 31,25\%$ ), que foi confundida com as classes “pastagem” e

“solo exposto” (índice de confusão de 21,87% e 9,38%, respectivamente). Ao realizarem a classificação MAXVER, os autores observaram que foram gerados erros maiores para a classe “solo exposto”, que foi confundida com a classe “mato-competição” (23,08%).

A Tabela 9 mostra os índices de acurácia e erro gerados pela classificação supervisionada MINDIS.

**Tabela 9** - Índices de Acurácia das matrizes de confusão gerados por meio das classificações temáticas, segundo o método MINDIS.

Ano	Classe	Produtor	Usuário	Classe	Comissão	Omissão
2009	Área Alterada	93,0	100,0	Área Alterada	0,0	7,0
	Bambu	100,0	96,3	Bambu	3,7	0,0
	Hidrografia	68,9	100,0	Hidrografia	0,0	31,2
	Vegetação	100,0	77,7	Vegetação	22,3	0,0
2011	Área Alterada	99,2	97,7	Área Alterada	2,3	0,8
	Bambu	92,1	100,0	Bambu	0,0	7,9
	Hidrografia	83,5	100,0	Hidrografia	0,0	16,5
	Vegetação	100,0	82,4	Vegetação	17,6	0,0
2013	Área Alterada	100,0	100,0	Área Alterada	0,0	0,0
	Bambu	100,0	95,5	Bambu	4,6	0,0
	Hidrografia	90,5	100,0	Hidrografia	0,0	9,5
	Vegetação	95,2	90,8	Vegetação	9,2	4,8
2015	Área Alterada	98,0	96,7	Área Alterada	3,3	2,0
	Bambu	97,9	97,9	Bambu	2,1	2,1
	Hidrografia	80,1	100,0	Hidrografia	0,0	19,9
	Vegetação	99,3	82,8	Vegetação	17,2	0,7
2017	Área Alterada	87,2	98,5	Área Alterada	1,5	12,8
	Bambu	95,0	90,5	Bambu	9,5	5,0
	Hidrografia	98,7	100,0	Hidrografia	0,0	1,3
	Vegetação	100,0	93,2	Vegetação	6,8	0,0

Com relação a acurácia e erro da classificação do presente estudo, o menor erro registrado pelo usuário e produtor foi 77,7% (classe “vegetação”) e 68,9% (classe “hidrografia”) para o ano de 2009, respectivamente, enquanto que o maior índice de acurácia foi equivalente de 100% em várias classes nos variados anos estudados, como pode ser observado na Tabela 9 na classificação MINDIS. Com relação aos erros, quando o algoritmo classificador gera esses índices, tanto para comissão e omissão, iguais a zero significa que não houve pixels agrupados de forma equivocada, padrão observado por Fonseca *et al.* (2016) com a classe “bananais” de sua classificação temática no mapeamento do uso da terra nos municípios de Janaúba e Nova Porteirinha, Minas Gerais.

Grecchi *et al.* (2016), em estudo avaliando o uso da terra em área de Cerrado em Sapezal, Mato Grosso, observaram erros de comissão mais expressivos gerados para a classe “terras agrícolas” e de omissão para a classe “vegetação natural”, no ano de 2011, enquanto que no ano de 2001 ocorreu situação oposta entre as mesmas classes citadas. Zhao *et al.* (2018) realizaram o primeiro mapeamento do bambu na África Oriental, na Etiópia, Quênia e Uganda utilizando imagens Landsat e técnicas de sensoriamento remoto. Os índices de precisão do produtor e usuários foram iguais a 79,2% e 84,0%, respectivamente.

No presente estudo, a redução da área efetiva referente à feição “bambu” para o método MINDIS pode ser justificada pelos erros de omissão e comissão gerados pela classificação da imagem, do próprio algoritmo e também do fator “mortalidade do bambu”, o qual não foi avaliado, devido a indisponibilidade da informação. O algoritmo citado baseia-se na similaridade entre os pixels, enquadrando na mesma classe aqueles que apresentam menor diferença entre os valores dos pixels. É possível observar que a metodologia MINDIS não foi eficaz, gerando falsos resultados sobre o comportamento do bambu nativo no que se refere à sua expansão por toda a área de estudo. Recomendam-se outros métodos, como o MAXVER, que é o mais utilizado para a classificação automática de imagens. Rodrigues *et al.* (2014), em seu estudo sobre o mapeamento do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Paraíso, em São Manuel, São Paulo, observaram um alto grau de confusão na classificação de plantios de cana em seus estágios de desenvolvimento, devido aos mais variados índices de reflectância, o que gerou resultados razoáveis para o método MAXVER e insatisfatórios no método CLUSTER, um método de classificação não supervisionada.

A Tabela 10 mostra os índices de acurácia e erro gerados pela classificação supervisionada MAXVER.

**Tabela 10** - Índices de Acurácia e Erro das matrizes de confusão gerados por meio das classificações temáticas, segundo o método MAXVER.

Ano	Classe	Produtor	Usuário	Classe	Comissão	Omissão
2009	Área Alterada	100,0	92,8	Área Alterada	7,2	0,0
	Bambu	100,0	100,0	Bambu	0,0	0,0
	Hidrografia	86,1	100,0	Hidrografia	0,0	13,9
	Vegetação	98,6	94,1	Vegetação	5,9	1,4
2011	Área Alterada	99,2	100,0	Área Alterada	0,0	0,8
	Bambu	96,1	100,0	Bambu	0,0	3,9
	Hidrografia	97,6	100,0	Hidrografia	0,0	2,4
	Vegetação	100,0	93,8	Vegetação	6,2	0,0
2013	Área Alterada	100,0	100,0	Área Alterada	0,0	0,0
	Bambu	100,0	95,5	Bambu	4,6	0,0
	Hidrografia	100,0	100,0	Hidrografia	0,0	0,0
	Vegetação	95,2	100,0	Vegetação	0,0	4,8
2015	Área Alterada	100,0	85,1	Área Alterada	14,9	0,0
	Bambu	97,9	98,6	Bambu	1,4	2,1
	Hidrografia	80,1	100,0	Hidrografia	0,0	19,9
	Vegetação	98,6	95,2	Vegetação	4,8	1,4
2017	Área Alterada	99,3	97,4	Área Alterada	2,7	0,7
	Bambu	95,7	99,3	Bambu	0,7	4,3
	Hidrografia	100,0	98,7	Hidrografia	1,3	0,0
	Vegetação	98,2	98,2	Vegetação	1,8	1,8

Oliveira *et al.* (2015), mapeando a dominância da espécie arbórea *Myracrodruon urundeuva* Allemão no município de Tumiritinga, Minas Gerais, observaram maior ganho de informações ao agregarem os dados de índice de vegetação e diferença normalizada (NDVI) em imagens RapidEye, o que permitiu maior separabilidade com a classe temática “aroeira dominante”. Com relação aos erros de omissão, os autores observaram essa imprecisão em quatro classes e os de comissão, em apenas duas. Ghosh e Joshi (2014), estudando o uso da terra em Bengala Ocidental, Índia, observaram confusão entre as classes de “bambu” e “copa grande”, atribuído pelo comportamento espectral similar entre estas classes em regiões de comprimento de ondas mais longas (vermelho e infravermelho próximo). Os erros de comissão encontrados por Queiroz *et al.* (2017) no estudo sobre a classificação do uso e cobertura da terra usando imagens Landsat 8 (resolução de 30 metros) e RapidEye (resolução de 5 metros) na região central do Rio Grande do Sul, observaram que em imagens RapidEye, eles foram superiores ao das imagens do satélite Landsat-8 nas classes “agricultura” (35,3%), “solo exposto” (33,3%) e “água” (25%), enquanto que as classes “floresta nativa” e “campo” apresentaram valores inferiores a 4,1% e 17,1%,

respectivamente. A sub e superestimativa das áreas na delimitação dos polígonos das classes justifica-se pelas diferentes resoluções espaciais das imagens entre os satélites.

#### 4.3 SEPARABILIDADE ENTRE AS FEIÇÕES ANALISADAS

A Distância de Bhattacharya mede a distância média entre as distribuições de probabilidades de classes espectrais, ou em outras palavras, a separabilidade estatística entre um par de classes espectrais (Michaelson *et al.*, 2017). No presente estudo, os graus de separabilidade (Distância de Bhattacharya) entre as classes geradas pelos ROIs foram todos próximos a 2 (Tabelas 11 e 12), com o menor valor encontrado na separabilidade da validação entre as classes “Área Alterada” e “Bambu” (1,88384032), no ano de 2017.

No Projeto de Assentamento Bandeirante, localizado no município de Porto Acre, Acre, Fortes *et al.* (2014) utilizaram os métodos MINDIS e MAXVER para fazer a classificação temática de bambu (*Guadua* spp.) naquela área e observaram índices de separabilidade de aproximadamente 1,4 entre as classes “bambu” e “demais vegetações” e as demais classes acima de 1,7, o que indica que a classificação foi bem-sucedida. Ao tentarem separar as diferentes espécies de bambus em classes distintas, a separabilidade apresentou resultado de 0,4, o que inviabilizou realizar tal procedimento.

Sothe *et al.* (2017), ao classificarem o estágio sucessional da vegetação do Parque Nacional de São Joaquim, Santa Catarina, observaram resultados semelhantes ao do presente estudo, porém a separabilidade do par referente às classes “vegetação em estágio avançado” – “vegetação em estágio médio” foi igual a 1,01 (banda espectral do satélite Landsat-8) e 0,18 para a separabilidade da classificação gerada da imagem RapidEye.

As tabelas a seguir demonstram os graus de separabilidade dos ROIs coletados para entre as classes para cada ano classificado (Tabela 11) e para os ROIs de validação da classificação (Tabela 12).

**Tabela 11** - Grau de separabilidade da classificação entre as classes criadas na chave de identificação, segundo a Distância de Bhattacharyya, para as imagens classificadas.

<b>2009</b>				
	<b>Área Alterada</b>	<b>Bambu</b>	<b>Hidrografia</b>	<b>Vegetação</b>
<b>Área Alterada</b>		1,99587872	1,99255384	1,98824117
<b>Bambu</b>	1,99587872		1,99999988	1,98907666
<b>Hidrografia</b>	1,99255384	1,99999988		1,99994527
<b>Vegetação</b>	1,98824117	1,98907666	1,99994527	
<b>2011</b>				
	<b>Área Alterada</b>	<b>Bambu</b>	<b>Hidrografia</b>	<b>Vegetação</b>
<b>Área Alterada</b>		1,99784839	1,99935795	1,99627864
<b>Bambu</b>	1,99784839		1,99999495	1,99434509
<b>Hidrografia</b>	1,99935795	1,99999495		1,99644715
<b>Vegetação</b>	1,99627864	1,99434509	1,99644715	
<b>2013</b>				
	<b>Área Alterada</b>	<b>Bambu</b>	<b>Hidrografia</b>	<b>Vegetação</b>
<b>Área Alterada</b>		1,99996742	1,99925379	1,99979771
<b>Bambu</b>	1,99996742		1,99999972	1,99193738
<b>Hidrografia</b>	1,99925379	1,99999972		1,99960399
<b>Vegetação</b>	1,99979771	1,99193738	1,99960399	
<b>2015</b>				
	<b>Área Alterada</b>	<b>Bambu</b>	<b>Hidrografia</b>	<b>Vegetação</b>
<b>Área Alterada</b>		1,99968148	1,98010191	1,99139181
<b>Bambu</b>	1,99968148		2,00000000	1,99313858
<b>Hidrografia</b>	1,98010191	2,00000000		1,99999570
<b>Vegetação</b>	1,99139181	1,99313858	1,99999570	
<b>2017</b>				
	<b>Área Alterada</b>	<b>Bambu</b>	<b>Hidrografia</b>	<b>Vegetação</b>
<b>Área Alterada</b>		1,88384032	1,99598190	1,99061466
<b>Bambu</b>	1,88384032		1,99991996	1,99882479
<b>Hidrografia</b>	1,99598190	1,99991996		1,99219655
<b>Vegetação</b>	1,99061466	1,99882479	1,99219655	

**Tabela 12** - Grau de separabilidade de validação entre as classes criadas na chave de identificação, segundo a Distância de Bhattacharyya, para as imagens classificadas.

<b>2009</b>				
	<b>Área Alterada</b>	<b>Bambu</b>	<b>Hidrografia</b>	<b>Vegetação</b>
<b>Área Alterada</b>		1,97948012	1,98193360	1,97575394
<b>Bambu</b>	1,97948012		1,98685560	1,97488049
<b>Hidrografia</b>	1,98193360	1,98685560		1,86312109
<b>Vegetação</b>	1,97575394	1,97575394	1,86312109	

<b>2011</b>				
	<b>Área Alterada</b>	<b>Bambu</b>	<b>Hidrografia</b>	<b>Vegetação</b>
<b>Área Alterada</b>		1,99907026	1,98902372	1,99698966
<b>Bambu</b>	1,99907026		1,99870020	1,81268047
<b>Hidrografia</b>	1,98902372	1,99870020		1,96865735
<b>Vegetação</b>	1,99698966	1,81268047	1,96865735	

<b>2013</b>				
	<b>Área Alterada</b>	<b>Bambu</b>	<b>Hidrografia</b>	<b>Vegetação</b>
<b>Área Alterada</b>		1,99513661	1,99468245	1,98132505
<b>Bambu</b>	1,99513661		1,99970497	1,88529399
<b>Hidrografia</b>	1,99468245	1,99970497		1,98502364
<b>Vegetação</b>	1,98132505	1,88529399	1,98502364	

<b>2015</b>				
	<b>Área Alterada</b>	<b>Bambu</b>	<b>Hidrografia</b>	<b>Vegetação</b>
<b>Área Alterada</b>		1,99483605	1,92897633	1,98609508
<b>Bambu</b>	1,99483605		1,99913686	1,92277959
<b>Hidrografia</b>	1,92897633	1,99913686		1,98279718
<b>Vegetação</b>	1,98609508	1,92277959	1,98279718	

<b>2017</b>				
	<b>Área Alterada</b>	<b>Bambu</b>	<b>Hidrografia</b>	<b>Vegetação</b>
<b>Área Alterada</b>		1,86217345	1,99895753	1,93038990
<b>Bambu</b>	1,86217345		1,99999996	1,90889026
<b>Hidrografia</b>	1,99895753	1,99999996		1,99999890
<b>Vegetação</b>	1,93038990	1,90889026	1,99999890	

Ghosh e Josh (2014) discutem que a estrutura física do bambu, com suas folhas distribuídas de forma aleatória na parte superior do colmo e com sua inclinação dos ramos induz a planta a apresentar um comportamento de reflexão difusa, criando uma variação de cor e texturas de um padrão único. Os autores complementam que aliar informações texturais com informações espectrais podem melhorar a separabilidade entre o bambu e outras classes, reduzindo ainda mais a incidência de erros na classificação.

Dessbesell *et al.* (2015) determinaram classes de uso e cobertura da terra utilizando dados multiespectrais do satélite RapidEye (sensor REIS) no município de Segredo, Rio Grande do Sul, por meio do classificador de Bhattacharya. Apenas com este índice, os autores obtiveram uma classificação satisfatória, corroborando a confiabilidade do método escolhido. Segundo a classificação, o município de Segredo apresenta área total 285,18 km<sup>2</sup> distribuídos entre agricultura (110,23 km<sup>2</sup>), floresta nativa (98,29 km<sup>2</sup>), área de campo (65,09 km<sup>2</sup>), floresta plantada (7,32 km<sup>2</sup>), corpos d'água (3,51 km<sup>2</sup>) e área urbana de (0,74 km<sup>2</sup>).

Correia *et al.* (2007) estudaram aspectos ambientais relacionados à ocorrência de leishmaniose visceral no município de Teresina, Piauí, entre os anos de 1993 e 1996. A classificação temática supervisionada gerada pelos autores não obteve um bom índice segundo o método da Distância de Bhattacharya, pois classificou erroneamente a classe “residencial esparsa muito verde” como “agricultura” pelos classificadores MAXVER, K-médias e Isoseg.

Oliveira *et al.* (2013) também obtiveram resultados satisfatórios na separabilidade entre classes ao realizarem a classificação supervisionada usando imagens RapidEye na região do Médio Rio Doce, em Minas Gerais. Os valores gerados foram superiores a 1,5, com exceção dos índices referentes aos pares de classes “aroeira monodominante” – “mata nativa” e “pasto manejado” – “mata nativa” (0,8 e 1,0, respectivamente).

#### 4.4 CORRELAÇÃO ENTRE BANDAS LANDSAT UTILIZADAS NA CLASSIFICAÇÃO TEMÁTICA

Ao utilizar a composição colorida falsa cor (sensor TM 5R4G3B e sensor OLI 6R5G4B), as matrizes de correlação geradas no presente estudo apresentaram resultados positivos em todos os índices para as classificações supervisionadas MINDIS e MAXVER (Tabela 13).

O índice de correlação entre bandas infere sobre o quanto uma imagem pode ser explicada por meio de outra imagem, desta forma, altos valores de correlação implicam que há certa redundância entre as informações (Santos, 2002). Em outras palavras, quanto menor o índice de correlação gerado entre as bandas da imagem classificada, menor será a confusão gerada pelo *software* ao realizar a classificação da

imagem de interesse. Essa redundância pode ser observada na correlação entre as combinações de bandas 5 e 3 para o sensor TM e na combinação 6 e 4 do sensor OLI.

Ambos os métodos apresentaram a mesma incidência de índices de correlação baixo entre as bandas (valores abaixo de 0,7), como pode ser observado na Tabela 13. No entanto, o método MINDIS gerou a maior incidência de índices de correlação negativos, sendo os anos de 2015 e 2017 os que apresentaram a maior incidência, demonstrando que as classes se distinguiram melhor nesta classificação.

A Tabela 13 a seguir apresenta a matriz dos índices de correlação entre bandas dos anos classificados.

**Tabela 13** - Matrizes de Correlação dos métodos de classificação MINDIS e MAXVER.

<b>MINDIS</b>				<b>MAXVER</b>			
<b>2009<sup>1</sup></b>				<b>2009<sup>1</sup></b>			
<b>Correlação</b>	<b>Banda 5</b>	<b>Banda 4</b>	<b>Banda 3</b>	<b>Correlação</b>	<b>Banda 5</b>	<b>Banda 4</b>	<b>Banda 3</b>
<b>Banda 5</b>		-0,207818	0,628259	<b>Banda 5</b>		0,056183	0,547316
<b>Banda 4</b>	-0,207818		0,183853	<b>Banda 4</b>	0,056183		
<b>Banda 3</b>	0,628259	0,183853		<b>Banda 3</b>	0,547316	0,488730	0,488730
<b>2011<sup>1</sup></b>				<b>2011<sup>1</sup></b>			
<b>Correlação</b>	<b>Banda 5</b>	<b>Banda 4</b>	<b>Banda 3</b>	<b>Correlação</b>	<b>Banda 5</b>	<b>Banda 4</b>	<b>Banda 3</b>
<b>Banda 5</b>		-0,325458	0,671766	<b>Banda 5</b>		-0,136645	0,502430
<b>Banda 4</b>	-0,325458		0,023535	<b>Banda 4</b>	-0,136645		0,334230
<b>Banda 3</b>	0,671766	0,023535		<b>Banda 3</b>	0,502430	0,334230	
<b>2013<sup>2</sup></b>				<b>2013<sup>2</sup></b>			
<b>Correlação</b>	<b>Banda 6</b>	<b>Banda 5</b>	<b>Banda 4</b>	<b>Correlação</b>	<b>Banda 6</b>	<b>Banda 5</b>	<b>Banda 4</b>
<b>Banda 6</b>		0,003556	0,766961	<b>Banda 6</b>		-0,145908	0,855354
<b>Banda 5</b>	0,003556		0,013151	<b>Banda 5</b>	-0,145908		-0,079603
<b>Banda 4</b>	0,766961	0,013151		<b>Banda 4</b>	0,855354	-0,079603	
<b>2015<sup>2</sup></b>				<b>2015<sup>2</sup></b>			
<b>Correlação</b>	<b>Banda 6</b>	<b>Banda 5</b>	<b>Banda 2</b>	<b>Correlação</b>	<b>Banda 6</b>	<b>Banda 5</b>	<b>Banda 4</b>
<b>Banda 6</b>		-0,186109	0,808887	<b>Banda 6</b>		-0,175466	0,839003
<b>Banda 5</b>	-0,186109		-0,030904	<b>Banda 5</b>	-0,175466		0,040484
<b>Banda 2</b>	0,808887	-0,030904		<b>Banda 4</b>	0,839003	0,040484	
<b>2017<sup>2</sup></b>				<b>2017<sup>2</sup></b>			
<b>Correlação</b>	<b>Banda 6</b>	<b>Banda 5</b>	<b>Banda 4</b>	<b>Correlação</b>	<b>Banda 6</b>	<b>Banda 5</b>	<b>Banda 4</b>
<b>Banda 6</b>		-0,350761	0,766879	<b>Banda 6</b>		-0,357522	0,860833
<b>Banda 5</b>	-0,350761		-0,255738	<b>Banda 5</b>	-0,357522		-0,250516
<b>Banda 4</b>	0,766879	-0,255738		<b>Banda 4</b>	0,860833	-0,250516	

<sup>1</sup> Sensor TM

<sup>2</sup> Sensor OLI

Santos (2002), ao estudar a ocupação do uso do solo na bacia hidrográfica dos rios Iguaçu e Sarapuí, Rio de Janeiro, observou uma alta correlação entre os pares de

bandas 1-2, 1-7 e 2-7 e menor correlação entre os pares 3-4, 3-5 e 4-5 em imagens Landsat. A autora ressalta que o uso da composição das bandas 3-4-5 oferece melhores resultados no processo de classificação, tendo em vista que também geraram os menores índices de correlação em seu estudo, o que também foi observado no presente estudo, segundo a Tabela 13.

Du *et al.* (2010) constataram que a faixa do infravermelho próximo (banda 5) é a banda mais indicada para separar o bambu *Phyllostachys edulis* (Carrière) J. Houz de outros tipos de vegetação, seguido das bandas 7 e 4, os quais geram menores índices de correlação (0,05 e 0,01), o que evidencia que as bandas 5, 7 e 4 do sensor TM do satélite Landsat-5 estimam melhor a biomassa acima do solo em florestas com bambu na província de Zhejiang, China.

Ao utilizarem o método MAXVER para a classificação temática de uso e ocupação da terra em Selangor, na Malásia, Ahmad e Quegan (2012) observaram comportamento diferente ao do presente estudo a respeito da correlação entre as bandas de alta reflectância (4, 5, 6 e 7) do satélite Landsat. O resultado gerado foi alto devido às fortes relações de variação entre o brilho dos pixels e o brilho médio em todas as bandas utilizadas. Os autores citam que a separação entre as médias das classes no momento da classificação é um fator que leva à maior precisão desse método, comparado a outros.

## 5 CONCLUSÕES

- Segundo a metodologia empregada, observou-se uma expansão de mais de 50% da área ocupada pelo bambu no ano imediatamente posterior à exploração madeireira nas tipologias florestais onde ele era dominante, enquanto que nas tipologias onde ele não era dominante, essa expansão foi de 98,9% da área ocupada anteriormente. Passados sete anos da exploração madeireira, uma comparação da ocupação do bambu nas tipologias florestais avaliadas por este estudo indica que o seu percentual de expansão nas florestas nas quais ele já era dominante foi 65% superior ao observado na floresta onde ele não era dominante; e

- Os dois métodos de classificação supervisionada foram eficientes na detecção da expansão do bambu nas diferentes tipologias florestais submetidas à exploração madeireira. Entretanto, a classificação supervisionada MAXVER gerou menores índices de erros, corroborando que esse resultado refletiu melhor a situação *in loco* quando da validação dos dados usando-se imagens de média resolução. No presente estudo, o método MAXVER foi o mais indicado para monitorar a dinâmica da expansão do bambu em florestas submetidas à exploração madeireira. Entretanto, recomenda-se testar outros algoritmos de classificação supervisionada e não supervisionada para verificar a eficiência dos mesmos em comparação ao MAXVER.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As áreas com tipologias florestais de bambu dominante são um tipo peculiar de floresta, logo, não devem ser exploradas para atividade madeireira como qualquer outra tipologia, devido ao comportamento oportunista do bambu em se expandir de forma massiva em áreas de clareiras, bordas e áreas de infraestrutura derivadas da exploração madeireira. Como já abordado anteriormente, esse comportamento do bambu resulta na diminuição de área basal e no número de indivíduos de espécies de interesse comercial aptos ao corte e, conseqüentemente, o rendimento dos futuros ciclos de exploração a serem feitos na área poderão apresentar rendimento insatisfatório. Porém, deixar de explorar essas áreas não é uma opção viável no Acre, tendo em vista que as tipologias com presença de bambu recobrem 74,5% do território do Estado (Acre, 2017). Além disso, existem numerosos projetos de assentamentos agrícolas e florestais e unidades de conservação passíveis de exploração de seus recursos florestais localizadas em regiões com tipologias florestais dominadas pelo bambu. Essa condição impede proposições no sentido de restringir as atividades de exploração madeireira apenas para as áreas livres do bambu.

Devido à capacidade de promover alterações florísticas e fitossociológicas em áreas com a presença do bambu, bem como características próprias da área em que o mesmo se encontra, geralmente essas florestas têm um menor potencial para a atividade de manejo madeireiro. Por esse motivo, recomenda-se, para garantir que a exploração seja sustentável, usar ciclos de cortes menos intensos e mais longos e promover a rotação das espécies exploradas para limitar o impacto negativo que a frequência e a escala da atividade possam causar à floresta (d'Oliveira *et al.*, 2004; d'Oliveira *et al.*, 2013; Rockwell *et al.*, 2014; Araujo, 2016). Em áreas com dominância de bambu, sugere-se que o momento adequando à exploração madeireira é após os eventos de floração, quando há vulnerabilidade das redes de rizomas novos

(os quais ainda estão imaturos), sendo este um trato silvicultural válido para atenuar a expansão do bambu (d'Oliveira *et al.*, 2013; Rockwell *et al.*, 2014). Rockwell *et al.* (2014) sugerem a necessidade de esforços combinados entre produtores interessados na exploração com cooperativas e entidades governamentais e não-governamentais quando da realização da atividade exploratória de forma sustentável nesse tipo especial de floresta.

Carvalho *et al.* (2017), em seu estudo na Floresta Estadual do Antimary (FEA), Acre, observaram que há uma variação no impacto das perturbações da atividade exploratória no processo de regeneração florestal, mostrando-se maior quando há perturbações de intensidade intermediária, motivo que favorece a proliferação de espécies pioneiras nestas áreas. Outro problema causado pelo bambu, mais preocupante que a atividade de exploração ou manejo florestal, refere-se a eventos de incêndios florestais, os quais potencializam sua capacidade de expansão, o que ocasiona a quebra e danos em 11 a 18% dos indivíduos arbóreos de DAP  $\geq$  30 cm do local (Silva, 2017).

Dentre os bambus mais abundantes nas florestas do Acre, as espécies *G. sarcocarpa* e *G. weberbaueri* apresentam colmos com diâmetros menores e menos resistentes comparados aos da espécie *G. angustifolia*, não sendo, por estas razões, adequados para uso na construção civil (Rockwell e Kainer, 2015). Porém, ao realizar o manejo deles dentro da área de interesse comercial para a exploração madeireira, é possível dar outras utilidades a essa matéria-prima (na forma bruta ou em ripas), como por exemplo para uso artesanal e produção de carvão vegetal.

Caso haja interesse por parte do proprietário em acelerar o processo de regeneração, apesar de ter sido discutido anteriormente que a capacidade de regeneração nas florestas no Estado do Acre, aplicar técnicas como o plantio de mudas de espécies florestais de interesse comercial ou utilizar o método de chuva de sementes podem contribuir para o controle e prevenção da dominância do bambu na área. Outro trato silvicultural relevante seria a aplicação de herbicidas para a remoção completa dos colmos (Griscom, 2003 *apud* Rockwell e Kainer, 2015). O controle dos brotos por meio de sua retirada também é um trato silvicultural importante, tendo em vista que os mesmos irão gerar novos colmos e expandir o indivíduo a outras áreas.

Além de favorecer modificações na composição florística, a expansão descontrolada do bambu pode promover alterações fitofisionômicas na floresta de tal forma que, em alguns casos, verificam-se mudanças na classificação das tipologias

florestais prevalentes, com a nova fisionomia florestal passando a apresentar o bambu como elemento florístico dominante, como o presente estudo observou com relação à atividade antrópica decorrente da exploração madeireira. Esta circunstância foi exposta por Silva (2017), que enfatiza que florestas abertas com presença de bambu que sofrem a ação do fogo não retornarão ao estado anterior ao incêndio, tornando-as tipologias florestais que podem ser reclassificadas como “Floresta Aberta com Bambu Dominante”, segundo Acre (2010).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACRE. Decreto nº 5.809, de 5 de janeiro de 2017. Aprova o Plano Estadual de Desenvolvimento do Bambu, **Lex: Diário Oficial do Estado do Acre**, Acre, n. 11.970, p. 11-63, 2017.
- ACRE. Governo do Estado do Acre. **Acre em números**. Rio Branco, Acre, 92p., 2017.
- ACRE. Governo do Estado do Acre. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Acre Fase II: documento Síntese – Escala 1:250.000**. Rio Branco: SEMA, 354 p., 2010.
- AHMAD, A.; QUEGAN, S. Analysis of maximum likelihood classification on multispectral data. **Applied Mathematical Sciences**, v. 6, n. 129, p. 6425-6436, 2012.
- ARAUJO, H. J. B. de. Crescimento de espécies madeireiras em uma floresta acreana e compatibilidade com a legislação florestal. **Revista de Ciências Agrárias - Amazonian Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, v. 59, n. 2, p. 113-123, 2016.
- ARAUJO, L. S. de; SANTOS, J. R. dos. A paisagem com bambus na Floresta Atlântica brasileira: caracterização e mapeamento com imagens de alta-resolução. **Bosques del Mundo, Cambio Climático & Amazonía**, p. 87-95, 2011.
- BARROSO, J. G.; SALIMON, C. I.; SILVEIRA, M.; MORATO, H. F. Influência de fatores ambientais sobre a ocorrência e distribuição espacial de cinco espécies madeireiras exploradas no Estado do Acre, Brasil. **Scientia Forestalis**, v. 39, n. 92, p. 489-499, 2011.
- BERNARDI, H. V. F.; DZEDZEJ, M.; CARVALHO, L. M. T.; ACERBI JÚNIOR, F. W. Classificação digital do uso do solo comparando os métodos “pixel a pixel” e orientada ao objeto em imagem QuickBird. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, INPE, Florianópolis, Brasil, p. 5595-5602, 2007.
- BIANCHINI, M. C. **Florestas dominadas por bambu (gênero *Guadua*) no sudoeste da Amazônia: Extensão, comportamento espectral e associação com o relevo**. 2005. 88 p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2005.
- BRASIL. Resolução N° 406 - Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, de 02 de fevereiro de 2009. Estabelece parâmetros técnicos a serem adotados na elaboração, apresentação, avaliação técnica e execução de Plano de Manejo Florestal Sustentável- PMFS com fins madeireiros, para florestas nativas e suas formas de sucessão no bioma Amazônia. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, n. 26, 06 fev. 2009. Seção 1, p. 100.

- BUDKE, J. C.; ALBERTI, M. S.; ZANARDI, C.; BARATTO, C.; ZANIN, E. M. Bamboo dieback and tree regeneration responses in a subtropical forest of South America. **Forest Ecology and Management**, v. 260, n. 8, p. 1345-1349, 2010.
- CARVALHO, A. L. de. **Ciclo de vida de populações de bambu (*Guadua* spp.) no tempo e no espaço, no Sudoeste da Amazônia**. 2009. 66 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2009.
- CARVALHO, A. L. de; NELSON, B. W.; BIANCHINI, M. C.; PLAGNOL, D.; KUPLICH, T. M.; DALY, D. C. Bamboo-dominated forests of the southwest Amazon: detection, spatial extent, life cycle length and flowering waves. **PLoS one**, v. 8, n. 1, p. e54852, 2013.
- CARVALHO, A. L. de; d'OLIVEIRA, M. V. N.; PUTZ, F. E.; OLIVEIRA, L. C. de. Natural regeneration of trees in selectively logged forest in western Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 392, p. 36-44, 2017.
- CLARK, L. G.; LONDOÑO, X.; RUIZ-SANCHEZ, E. **Bamboo taxonomy and habitat**. In: Bamboo. Springer, Cham, p. 1-30, 2015.
- CORREIA, V. R. de M.; MONTEIRO, A. M. V.; CARVALHO, M. S.; WERNECK, G. L. Uma aplicação do sensoriamento remoto para a investigação de endemias urbanas. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 23, p. 1015-1028, 2007.
- CUNHA, D. A. I. da; BRITO, J. L. S. Utilização de imagens CBERS2 na elaboração do mapa de uso da terra e cobertura vegetal natural de 2005, do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba. **Horizonte Científico**, v. 2, n. 1, 2008.
- DAS, M.; BHATTACHARYA, S.; SINGH, P.; FILGUEIRAS, T. S.; PAL, A. Bamboo taxonomy and diversity in the era of molecular markers. **Advances in botanical research**, v. 47, p. 225-268, 2008.
- DESSBESELL, L.; PEREIRA, R. S.; FARIAS, J. A. de; VOGT, E. A.; WELTER, C. A. Classificação do uso e cobertura da terra a partir de imagens RapidEye para o município de Segredo-RS-Brasil. **Geografia**, v. 40, n. 2, 2015.
- d'OLIVEIRA, M. V. N.; RIBAS, L.; OLIVEIRA, L. C.; NEVES, J. C.; FUNTAC. Study on forest dynamics of managed and non-managed forest for sustainable timber production in the Antimary State forest, State of Acre. **Sustainable Forest Management in the Brazilian Amazon**, Rio Branco, Acre, Brazil, p. 67-76, 2004.
- d'OLIVEIRA, M. V. N.; GUARINO, E. de S.; OLIVEIRA, L. C.; RIBAS, L. A.; ACUÑA, M. H. A. Can forest management be sustainable in a bamboo dominated forest? A 12-year study of forest dynamics in western Amazon. **Forest Ecology and management**, v. 310, p. 672-679, 2013.
- DUARTE, A. F. Aspectos da climatologia do Acre, Brasil, com base no intervalo 1971-2000. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 3b, p. 308-317, 2006.
- DU, H.; CUI, R.; ZHOU, G.; SHI, Y.; XU, X.; FAN, W.; LÜ, Y. The responses of Moso bamboo (*Phyllostachys heterocycla* var. *pubescens*) forest aboveground biomass to Landsat TM spectral reflectance and NDVI. **Acta Ecologica Sinica**, v. 30, n. 5, p. 257-263, 2010.
- FAVA, F.; COLOMBO, R. Remote Sensing-Based Assessment of the 2005–2011 Bamboo Reproductive Event in the Arakan Mountain Range and Its Relation with Wildfires. **Remote Sensing**, v. 9, n. 1, p. 85, 2017.
- FELKER, R. M.; ROVEDDER, A. P. M.; LONGHI, S. J.; ARAUJO, E. F.; STEFANELLO, M. de M.; PECATTI, A. Impact of *Bambusa tuldoidea* Munro (Poaceae) on forest regeneration. **Cerne**, v. 23, n. 2, p. 275-282, 2017.

- FERNANDES, M. R. de M.; JUVANHOL, R. S.; BINOTI, D. H. B.; SILVA, G. F. da; BERNARDI, M.; BORGES, J. P. dos S. *et al.* Aplicação de classificadores convencionais e rede neural artificial para mapeamento de uma imagem VANT. **Geociências**, v. 36, n. 4, p. 785-791, 2017.
- FERREIRA, E. J. L. O bambu é um desafio para a conservação e o manejo de florestas no sudoeste da Amazônia. **Ciência e Cultura**, v. 66, n. 3, p. 46-51, 2014.
- FILGUEIRAS, T. S.; VIANA, P. L. Bambus brasileiros: morfologia, taxonomia, distribuição e conservação. In: **Bambus no Brasil: da biologia à tecnologia**. Rio de Janeiro: ICH, p. 10-27, 2017.
- FONSECA, S. F.; HERMANO, V. M.; SILVA, A. C. Mapeamento do uso da terra nos municípios de Janaúba e Nova Porteirinha (MG) usando dados de sensoriamento remoto. **Élisée-Revista de Geografia da UEG**, v. 5, p. 103-119, 2016.
- FORTES, S. L. K.; PONTES, S. M. A.; SILVA, A. G.; FERREIRA, M. A. D.; NASCIMENTO, A. B. Mapeamento de Manchas de Bambu por Meio de Classificação Automática de Imagem do Sistema de Satélites RapidEye. In: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 2014, Natal. **Anais do XIV EBRAMEM**. João Pessoa: Moura Ramos, v. 14. p. 78-89, 2014.
- FREITAS, R. M. de; HAERTEL, V.; SHIMABUKURO, Y. E. Modelo linear de mistura espectral em imagem de moderada resolução espacial. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 14, n. 1, 2008.
- FREITAS JUNIOR, R. L. de; RIBEIRO, G. P. Avaliação de classificação de imagens para mapeamento digital do Parque Nacional da Serra dos Órgãos (Parnaso). **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 6, n. 66/6, 2014.
- GHAVAMI, K. Bamboo as reinforcement in structural concrete elements. **Cement and concrete composites**, v. 27, n. 6, p. 637-649, 2005.
- GHAVAMI, K.; MARINHO, A. B. Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie do bambu da espécie *Guadua angustifolia*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 1, p. 107-114, 2005.
- GHOSH, A.; JOSHI, P. K. A comparison of selected classification algorithms for mapping bamboo patches in lower Gangetic plains using very high resolution WorldView 2 imagery. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 26, p. 298-311, 2014.
- GONÇALVES, A. K.; SILVEIRA, G. R. P. da; BARROS, Z. X. de; CAMPOS, S. Métodos de classificação supervisionada de imagens de satélite aplicadas no mapeamento do uso do solo na bacia hidrográfica do Ribeirão Santo Antônio, São Manuel, SP. **Geosaberes: Revista de Estudos Geoeducacionais**, v. 6, n. 1, p. 52-62, 2015.
- GRECCHI, R. C.; BERTANI, G.; TRABAQUINI, K.; SHIMABUKURO, Y. E.; FORMAGGIO, A. R. Análise espaço-temporal da conversão do Cerrado em áreas agrícolas na região de Sapezal, Mato Grosso, entre os anos de 1981 e 2011. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 68, n. 1, 2016.
- GRISCOM, B. W.; ASHTON, P. M. S. Bamboo control of forest succession: *Guadua sarcocarpa* in Southeastern Peru. **Forest Ecology and Management**, v. 175, n. 1-3, p. 445-454, 2003.

- GRISCOM, B. W.; ASHTON, P. M. S. A self-perpetuating bamboo disturbance cycle in a neotropical forest. **Journal of Tropical Ecology**, v. 22, n. 5, p. 587-597, 2006.
- GRISCOM, B. W.; DALY, D. C.; ASHTON, M. S. Floristics of bamboo-dominated stands in lowland terra-firma forests of southwestern Amazonia. **The Journal of the Torrey Botanical Society**, p. 108-125, 2007.
- GUSSON, A. E.; NASCIMENTO, A. R. T.; ARAÚJO, G. M.; SILVA, P. P. F. Efeitos da cobertura do bambu *Actinocladum verticillatum* (Nees) McClure ex Soderstr na regeneração de espécies lenhosas. **Unimontes Científica**, v. 19, n. 2, p. 87-95, 2017.
- HOMMA, A. K. O. CONTO, A. J.; FERREIRA, C. A. P.; CARVALHO, R. A.; WALKER, R. T. A dinâmica da extração madeireira no Estado do Pará. **Amazônia: Meio Ambiente e Desenvolvimento Agrícola**, p. 161-186, 1998.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Catálogo de Imagens**. Brasil. 2019a. Disponível em: <<https://bit.ly/2UrR6fp>>. Acesso em: 14 jan. 2019.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Projeto PRODES** - Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite. 2019b. Disponível em: <<https://bit.ly/2bOuvaG>>. Acesso em: 28 fev. 2019.
- JANZEN, D. H. Why bamboos wait so long to flower. **Annual Review of Ecology and systematics**, v. 7, n. 1, p. 347-391, 1976.
- LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, p. 159-174, 1977.
- LARPKERN, P.; MOE, S. R.; TOTLAND, Ø. Bamboo dominance reduces tree regeneration in a disturbed tropical forest. **Oecologia**, v. 165, n. 1, p. 161-168, 2011.
- LIMA, R. A. F.; ROTHER, D. C.; MULER, A. E.; LEPSCH, I. F.; RODRIGUES, R. R. Bamboo overabundance alters forest structure and dynamics in the Atlantic Forest hotspot. **Biological Conservation**, v. 147, n. 1, p. 32-39, 2012.
- LOBOVIKOV, M.; PAUDEL, S.; PIAZZA, M.; REN, H.; WU, J. **World bamboo resources: a thematic study prepared in the framework of the global forest resources assessment 2005**. Food & Agriculture Org., 2007.
- LONDOÑO, X. Evaluation of bamboo resources in Latin America. **International Network for Bamboo and Rattan. Instituto Vallecaucano de Investigaciones Científicas**. Calle, Columbia, 2001a.
- LONDOÑO, X. *Guadua Kunth*. In: Flora Fanerogâmica do Estado de São Paulo. (M.G.L. Wanderley, G.J. Shepherd & A.M. Giulietti, eds.). Editora Hucitec, São Paulo, p. 24-36. 2001b. Disponível em: <<https://bit.ly/2tzQzN8>>. Acesso em: 21 fev., 2019.
- LONDONO, X.; PETERSON, P. M. *Guadua sarcocarpa* (Poaceae: Bambuseae), a new species of Amazonian bamboo with fleshy fruits. **Systematic Botany**, p. 630-638, 1991.
- LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M. de; TEIXEIRA, A. dos S.; CAITANO, R. F.; CHAVES, L. C. G. Uso de geoprocessamento na estimativa da perda de solo em microbacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Agro@mbiente on-line**, v. 5, n. 2, p. 88-96, 2011.
- MACIEL, A. dos S.; AFONSO, D. G.; MIRANDA, E. M. de. Plano Estadual de Desenvolvimento do Bambu. **Embrapa Acre-Livro técnico (INFOTECA-E)**, 2016.
- MAGALHÃES, I. A. L.; JUNIOR, O. A. C.; S., SANTOS, A. R. dos. Análise comparativa entre técnicas de sensoriamento remoto para mensuração da

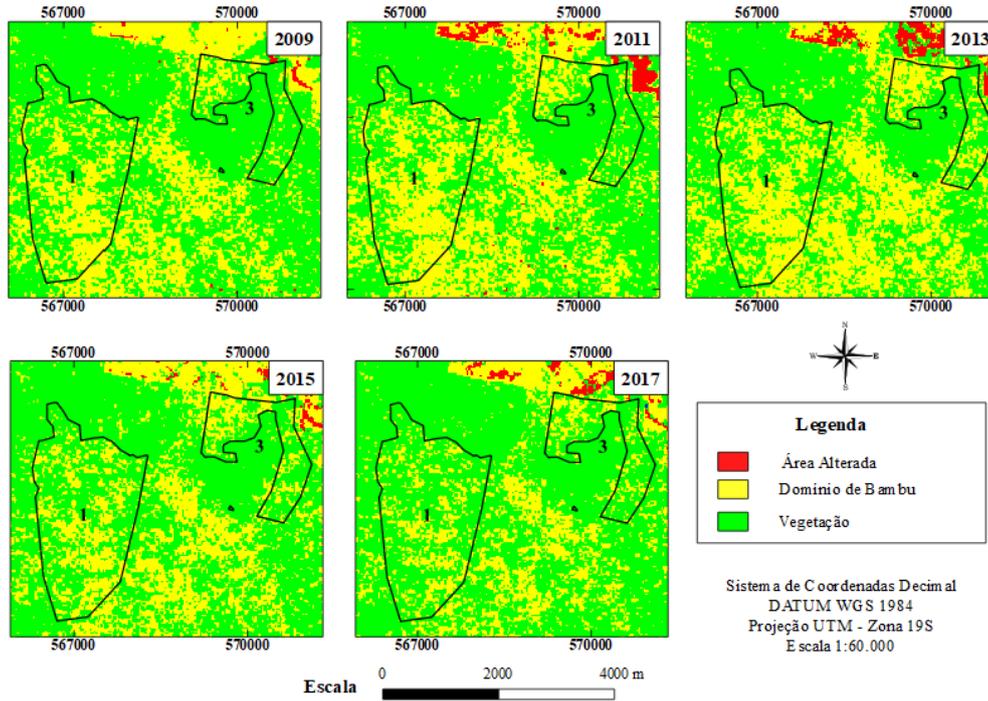
- vegetação urbana no município de Alegre, ES. **Cerrados**, v. 15, n. 1, p. 156-177, 2017.
- MATHER, Paul; TSO, Brandt. **Classification methods for remotely sensed data**. CRC press, 2016.
- MENDES, D. F.; SILVA, S. F. da; FERRARI, J. L.; SANTOS, A. R. dos; GARCIA, R. F. Acurácia temática do classificador por Máxima Verossimilhança em imagem de alta resolução espacial do Satélite GEOEYE-1. **Nucleus**, v. 12, n. 1, p. 107-118, 2015.
- MICHAELSEN, A. C.; PERZ, S. G.; BRICEÑO, L. H.; MENIS, R. F.; CHURA, N. B.; SANTILLAN, R. M. *et al.* Effects of drought on deforestation estimates from different classification methodologies: Implications for REDD+ and other payments for environmental services programs. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v. 5, p. 36-44, 2017.
- MONTEIRO, A. L. S.; SOUZA JR; C. M.; BARRETO, P. G.; PANTOJA, F. L. de S.; GERWING, J. J. Impactos da exploração madeireira e do fogo em florestas de transição da Amazônia Legal. **Scientia forestalis**, 2004.
- NADGAUDA, R. S.; PARASHARAMI, V. A.; MASCARENHAS, A. F. Precocious flowering and seeding behaviour in tissue-cultured bamboos. **Nature**, v. 344, n. 6264, p. 335, 1990.
- NELSON, B. W.; OLIVEIRA, A. C. A. de; BATISTA, G. T.; VIDALENC, D.; SILVEIRA, M. Modeling biomass of forests in the southwest Amazon by polar ordination of Landsat TM. **Anais X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. INPE, Foz de Iguaçu, Paraná, Brasil. p. 1683-1690, 2001.
- NELSON, B. W.; BIANCHINI, M. C. Complete life cycle of southwest Amazon bamboos (*Guadua* spp) detected with orbital optical sensors. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. INPE, Goiânia, Brasil, p. 1629-1636, 2005.
- NERY, C. V. M.; FERNANDES, F. H. S.; MOREIRA, A. A.; BRAGA, F. L. Avaliação das Técnicas de Classificação MAXVER, MAXVER-ICM e Distância Mínima Euclidiana de acordo com Índice Kappa. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 2, p. 320-328, 2013.
- NOGUEIRA, E. M.; FEARNside, P. M.; NELSON, B. W.; BARBOSA, R. I.; KEIZER, E. W. H. Estimates of forest biomass in the Brazilian Amazon: new allometric equations and adjustments to biomass from wood-volume inventories. **Forest Ecology and Management**, v. 256, n. 11, p. 1853-1867, 2008.
- NOVO, E. M. L. de M. Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações. **Blucher**, 2010.
- OLIVEIRA, A. C. A. **Efeitos do Bambu *Guadua weberbaueri* Pilger sobre a Fisionomia e Estrutura de uma Floresta no Sudoeste da Amazônia**. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 103 pp., 2000.
- OLIVEIRA, F. P. de; FERNANDES FILHO, E. I.; SOARES, V. P.; SOUZA, A. L. de. Mapeamento de fragmentos florestais com monodominância de aroeira a partir da classificação supervisionada de imagens RapidEye. **Revista Árvore**, v. 37, n. 1, 2013.
- OLIVEIRA, F. P. de; FERNANDES FILHO, E. I.; SOUZA, A. L. de; SOARES, V. P. Mapeamento de Florestas Monodominadas por *Myracrodruon urundeuva* com Imagens TM-Landsat 5 e RapidEye. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 3, p. 322-333, 2015.

- PAMBOUKIAN, S. V. D. **Georreferenciamento de imagens no QGIS**. Laboratório de Geotecnologias da UPM. 2013. Disponível em: <<https://bit.ly/2MeFObi>>. Acesso em: 26 dez. 2018.
- PEREIRA, L. da S.; SILVA, D. de O.; PAMBOUKIAN, S. V. D. Sensoriamento Remoto aplicado à agricultura de precisão no cultivo de bambu. **Revista Mackenzie de Engenharia e Computação**, v. 16, n. 1, 2017.
- PEREIRA, M. A. dos R.; BERALDO, A. L. **Bambu de corpo e alma**. Canal6: Bauru, 352 p., 2016.
- PINTO, A. C. M.; SOUZA, A. L. de; SOUZA, A. P. de; MACHADO, C. C.; MINETTE, L. J.; VALE, A. B. do. Análise de danos de colheita de madeira em floresta tropical úmida sob regime de manejo florestal sustentado na Amazônia Ocidental. **Revista Árvore**, v. 26, n. 4, p. 459-466, 2002.
- QGIS. **QGIS - The Leading Open Source Desktop GIS**. Open Source Geospatial Foundation Project. 2013. Disponível em: <<https://bit.ly/2HFDfka>>. Acesso em: 27 jan. 2019.
- QUEIROZ, T. B.; SOUSA, R. dos S.; BALDIN, T.; BATISTA, F. de J.; MARCHESAN, J.; PEDRALI, L. D.; PEREIRA, R. S. Avaliação do desempenho da classificação do uso e cobertura da terra a partir de imagens Landsat 8 e RapidEye na região central do Rio Grande do Sul. **Geociências**, v. 36, n. 3, p. 569-578, 2017.
- ROSA, R. **Cartografia Básica**. Universidade Federal de Uberlândia. Instituto de Geografia. Laboratório de Geoprocessamento. Uberlândia, 72 p., 2005.
- RAWAT, J. S.; KUMAR, M. Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science**, v. 18, n. 1, p. 77-84, 2015.
- ROCKWELL, C. A.; KAINER, K. A.; STAUDHAMMER, C. L.; BARALOTO, C. Future crop tree damage in a certified community forest in southwestern Amazonia. **Forest Ecology and Management**, v. 242, n. 2-3, p. 108-118, 2007.
- ROCKWELL, C. A.; KAINER, K. A.; d'OLIVEIRA, M. V. N. de; STAUDHAMMER, C. L.; BARALOTO, C. Logging in bamboo-dominated forests in southwestern Amazonia: Caveats and opportunities for smallholder forest management. **Forest Ecology and Management**, v. 315, p. 202-210, 2014.
- ROCKWELL, C. A.; KAINER, K. A. Local and scientific perspectives on the bamboo-dominated forest in Acre, Brazil: a complementary knowledge base for multiple-use forest management. **International Forestry Review**, v. 17, n. 1, p. 51-64, 2015.
- RODRIGUES, M. T.; POLLO, R. A.; RODRIGUES, B. T.; MALHEIROS, J. M.; CAMPOS, S. Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicado ao uso da terra para avaliação entre classificadores a partir do índice kappa. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**, v. 23, n. 1, p. 60-70, 2014.
- ROTHER, D. C.; RODRIGUES, R. R.; PIZO, M. A. Effects of bamboo stands on seed rain and seed limitation in a rainforest. **Forest Ecology and Management**, v. 257, n. 3, p. 885-892, 2009.
- SANTOS, R. C. **Classificação textural aplicada à cobertura do solo de uma bacia hidrográfica usando sensoriamento remoto**. 2002. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

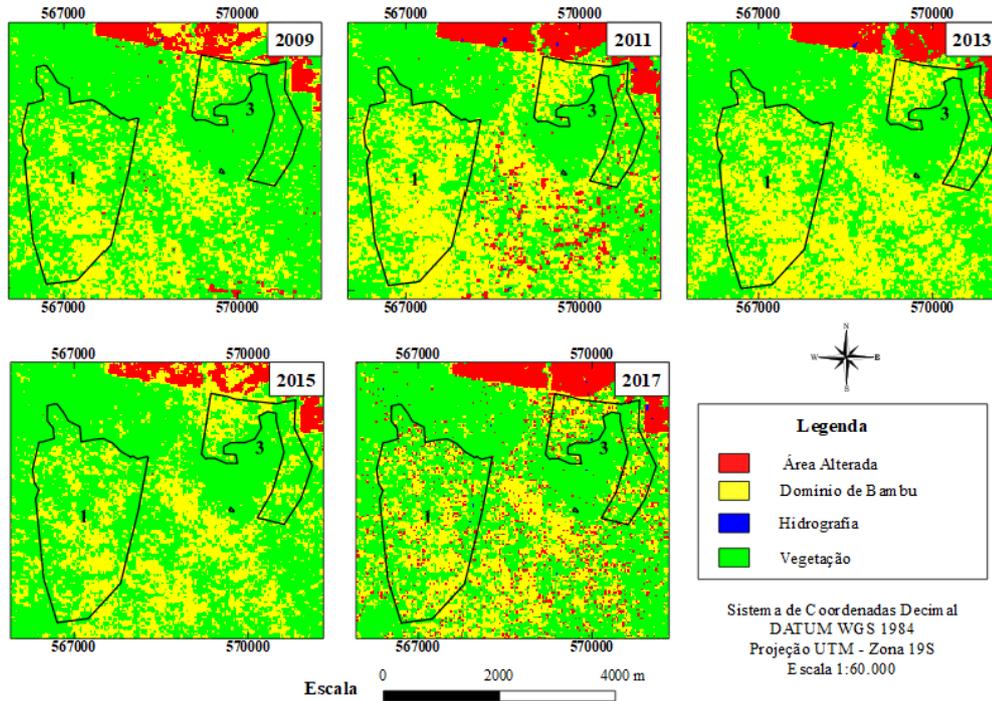
- SILVEIRA, M. **A floresta aberta com bambu no sudoeste da Amazônia: padrões e processos em múltiplas escalas**. Edufac, 2005.
- SILVA, S. S. **Dinâmica dos incêndios florestais no Estado do Acre**. 2017. 130 p. Tese (Doutorado) – Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2017.
- SMITH, M. **Efeito de perturbações sobre a abundância, biomassa e arquitetura de *Guadua weberbaueri* Pilg. (Poaceae-Bambusoideae) em uma floresta dominada por bambu no Sudoeste da Amazônia**. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Amazonas / Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, 2000.
- SOTHE, C.; LIESENBERG, V.; ALMEIDA, C. M. de; SCHIMALSKI, M. B. Abordagens para classificação do estágio sucessional da vegetação do parque nacional de São Joaquim empregando imagens Landsat-8 e RapidEye. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 23, n. 3, 2017.
- SOUZA, E. B. de. **Estudo da viabilidade técnica para cultivo de bambu gigante em Planaltina**. Distrito Federal: UPIS – Faculdades Integradas Departamento de Agronomia, Boletim técnico, 2010.
- USGS. United States Geological Survey. **Earth Explorer**, 2019. Disponível em: <<https://bit.ly/1jz1vwi>>. Acesso em: 28 jan. 2019.
- VASCONCELLOS, B. N. de; DEBASTIANI, A. B.; ANATER, M. J. do N.; CORTE, A. P. D.; SANQUETTA, C. R. Teste de algoritmos de classificação para a análise temporal de uso e ocupação do solo no município de São Gabriel – RS. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.13 n.24; p., 2016.
- VALE, J. R. B.; COSTA, J. A.; SANTOS, J. F. dos; SILVA, E. L. S. da; FACHAVO, A. T. Análise comparativa de métodos de classificação supervisionada aplicada ao mapeamento da cobertura do solo no município de Medicilândia, Pará. **InterEspaço: Revista de Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 4, n. 13, p. 26-44, 2018.
- VELDMAN, J. W.; MOSTACEDO, B.; PEÑA-CLAROS, M.; PUTZ, F. E. Selective logging and fire as drivers of alien grass invasion in a Bolivian tropical dry forest. **Forest Ecology and Management**, v. 258, n. 7, p. 1643-1649, 2009.
- VELDMAN, J. W.; PUTZ, F. E. Grass-dominated vegetation, not species-diverse natural savanna, replaces degraded tropical forests on the southern edge of the Amazon Basin. **Biological Conservation**, v. 144, n. 5, p. 1419-1429, 2011.
- VERÍSSIMO, A.; BARRETO, P.; MATTOS, M.; TARIFA, R.; UHL, C. Logging impacts and prospects for sustainable forest management in an old Amazonian frontier: the case of Paragominas. **Forest ecology and management**, v. 55, n. 1-4, p. 169-199, 1992.
- YUEN, J. Q.; FUNG, T.; ZIEGLER, A. D. Carbon stocks in bamboo ecosystems worldwide: Estimates and uncertainties. **Forest Ecology and Management**, v. 393, p. 113-138, 2017.
- WANG, T.; SKIDMORE, A. K.; TOXOPEUS, A. G.; LIU, X. Understory bamboo discrimination using a winter image. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 75, n. 1, p. 37-47, 2009.
- ZHAO, Y.; FENG, D.; JAYARAMAN, D.; BELAY, D.; SEBRALA, H.; NGUGI, J. *et al.* Bamboo mapping of Ethiopia, Kenya and Uganda for the year 2016 using multi-temporal Landsat imagery. **International journal of applied earth observation and geoinformation**, v. 66, p. 116-125, 2018.

## **APÊNDICES**

(a)

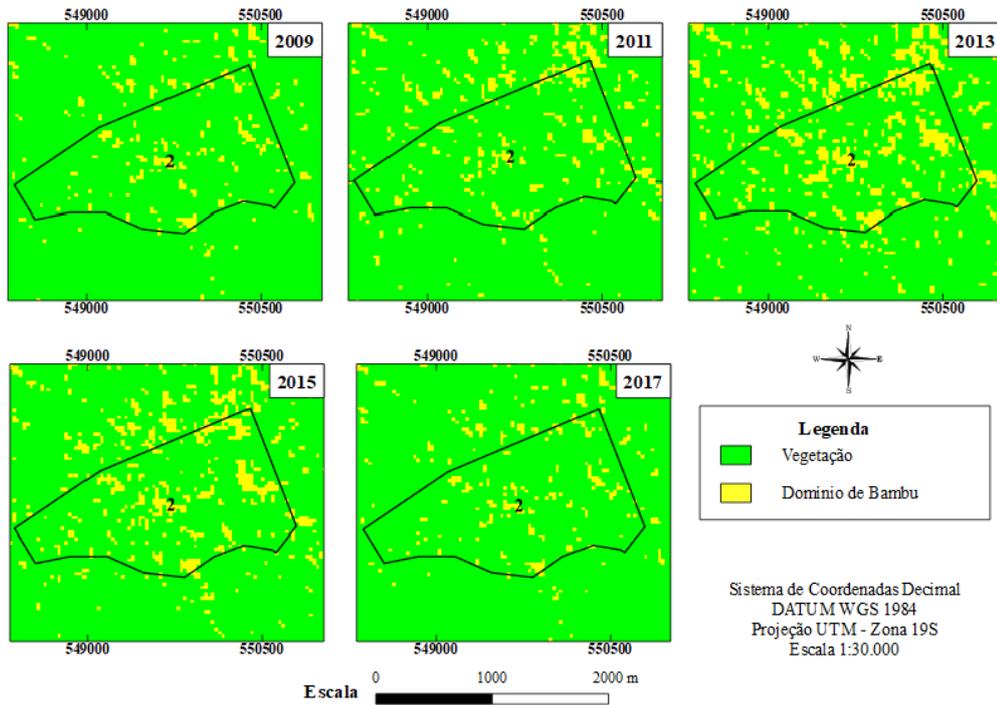


(b)

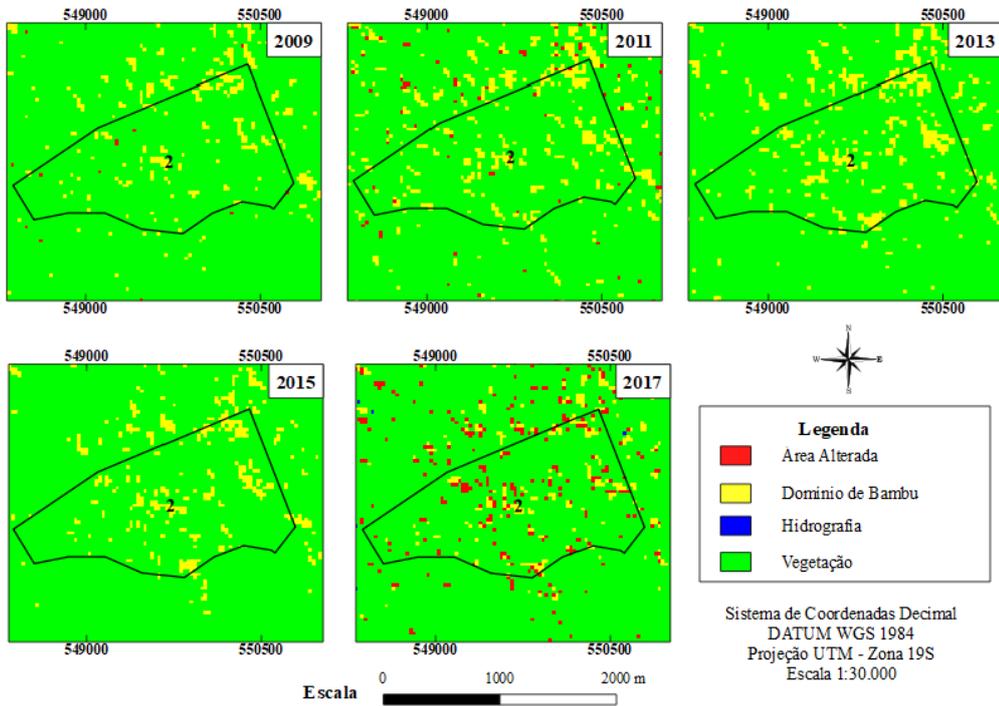


**APÊNDICE A** – Evolução temporal da ocupação do bambu revelada pelos métodos de classificações temáticas Distância Mínima (a) e Máxima Verossimilhança (b), observada nas propriedades intituladas 1 e 3 (segundo a Tabela 2), onde a tipologia florestal é dominada por bambu. Fonte: elaborado pela autora.

(a)

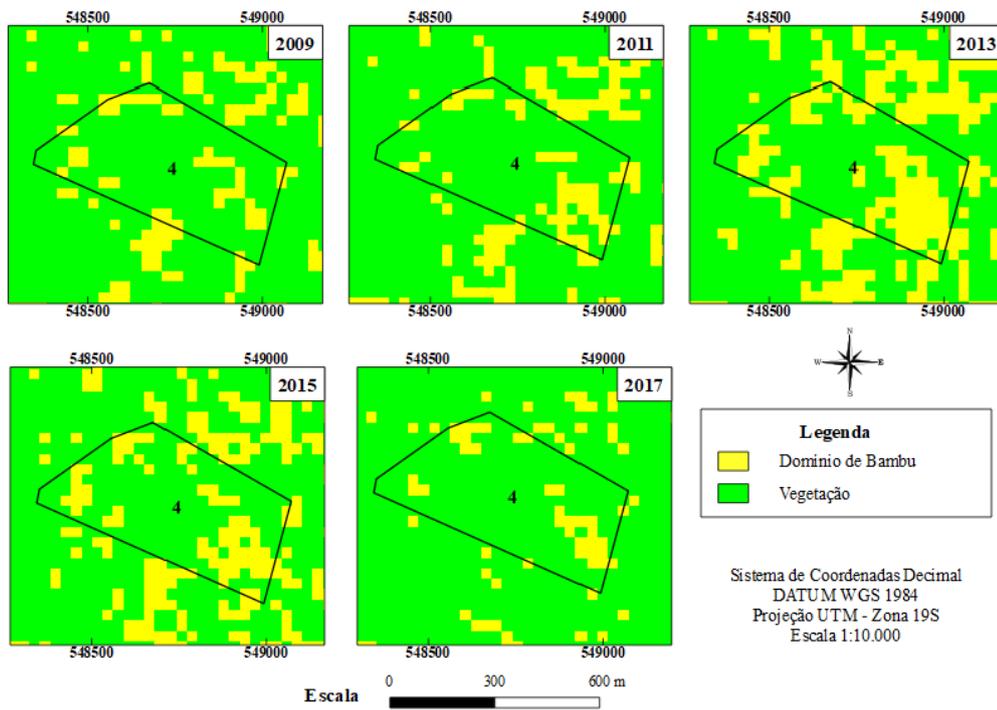


(b)

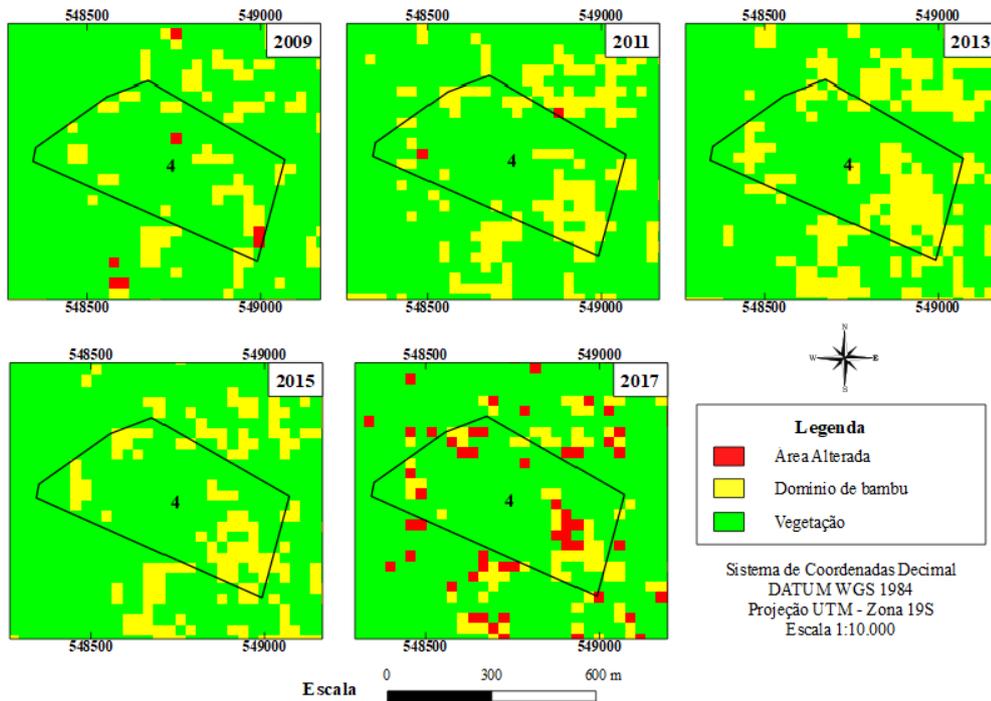


**APÊNDICE B** – Evolução temporal da ocupação do bambu revelada pelos métodos de classificações temáticas Distância Mínima (a) e Máxima Verossimilhança (b), observada na propriedade intitulada 2 (segundo a Tabela 2), onde a tipologia florestal é dominada por bambu. Fonte: elaborado pela autora.

(a)

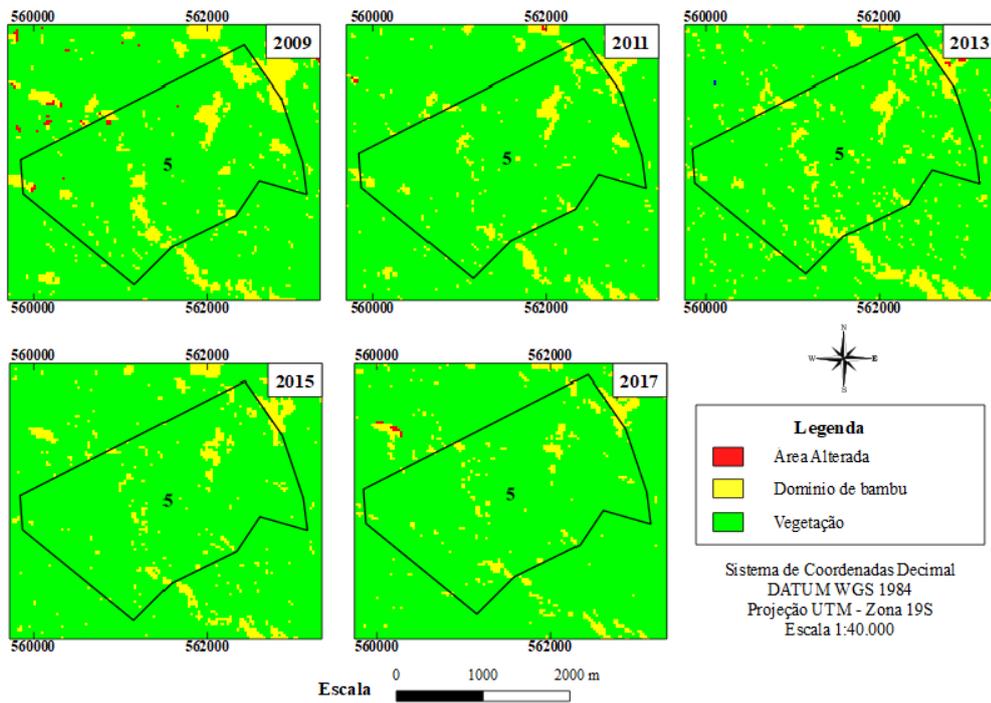


(b)

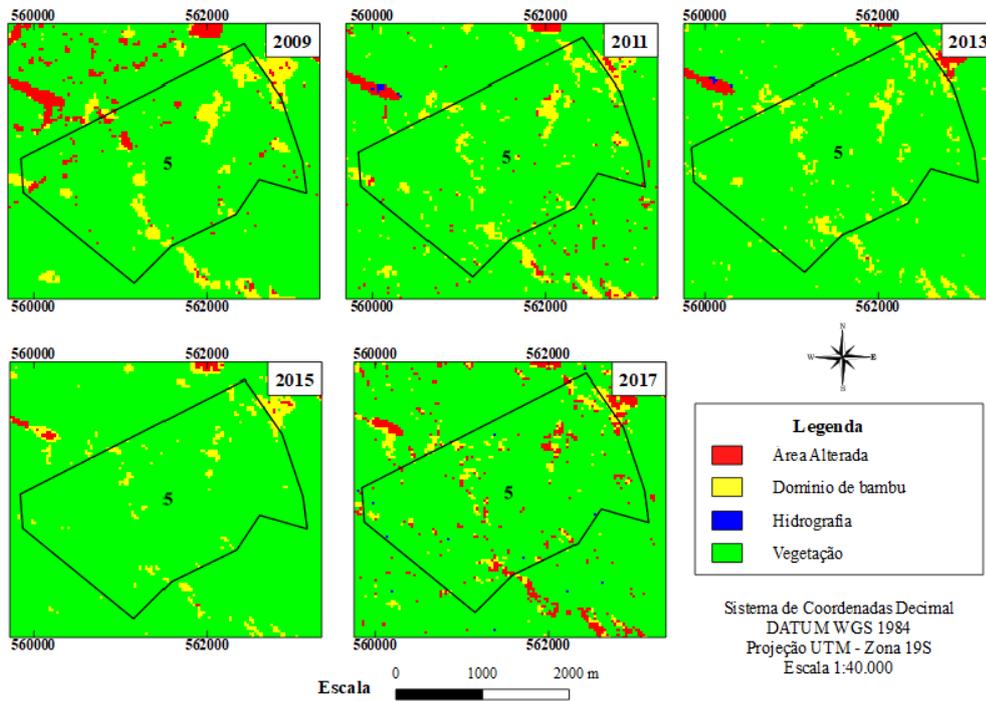


**APÊNDICE C** – Evolução temporal da ocupação do bambu revelada pelos métodos de classificações temáticas Distância Mínima (a) e Máxima Verossimilhança (b), observada na propriedade intitulada 4 (segundo a Tabela 2), onde a tipologia florestal é dominada por bambu. Fonte: elaborado pela autora.

(a)

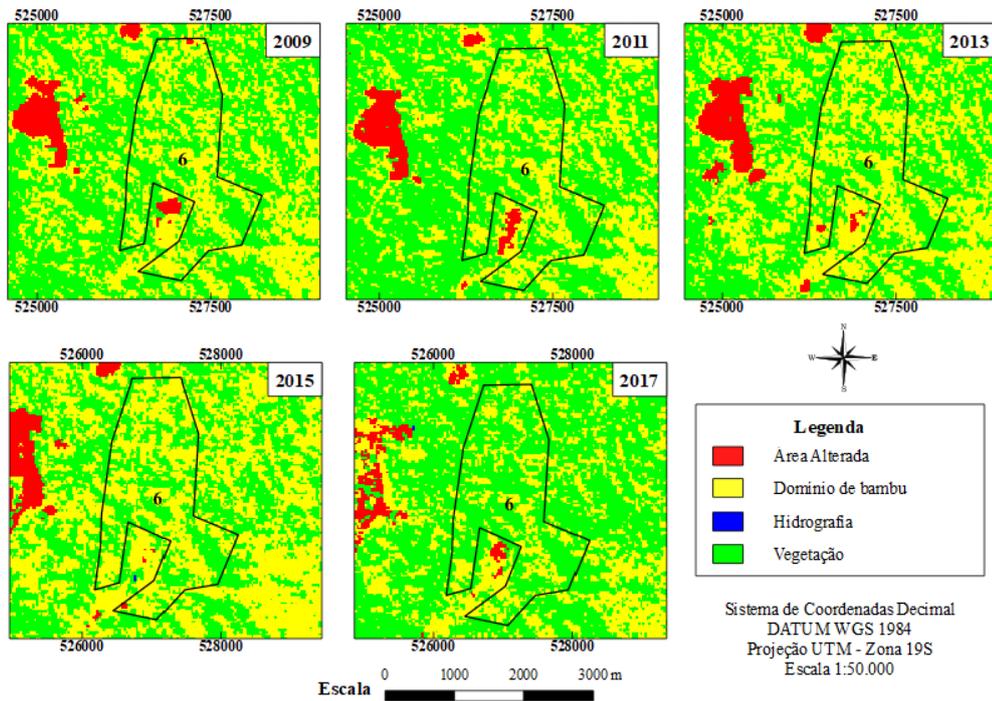


(b)

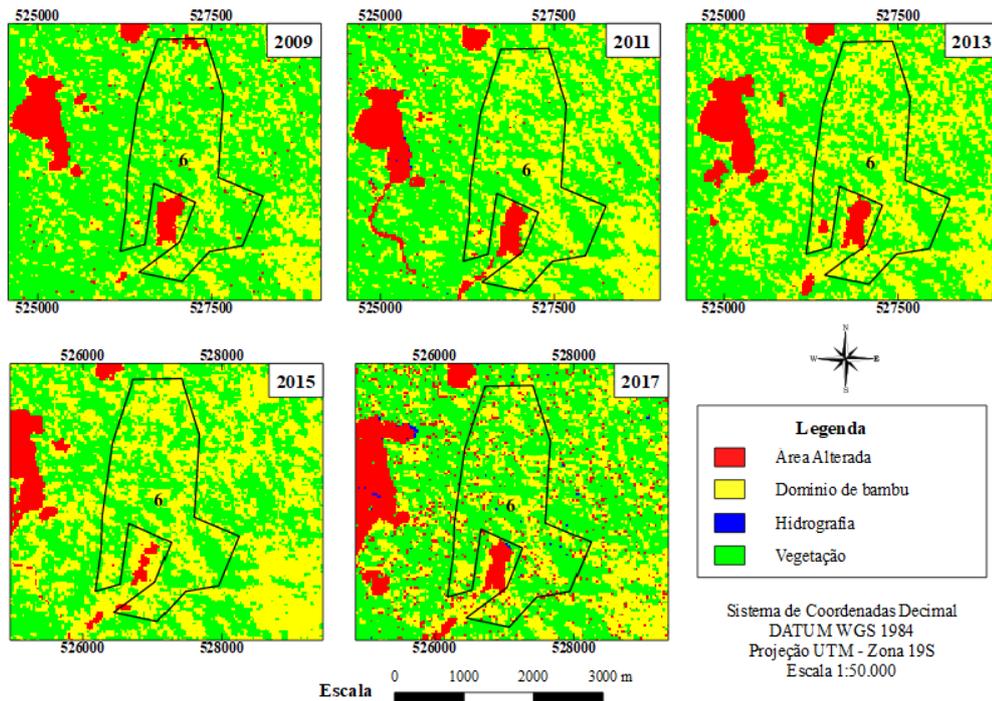


**APÊNDICE D** – Evolução temporal da ocupação do bambu revelada pelos métodos de classificações temáticas Distância Mínima (a) e Máxima Verossimilhança (b), observada na propriedade intitulada 5 (segundo a Tabela 2), onde a tipologia florestal é dominada por bambu. Fonte: elaborado pela autora.

(a)

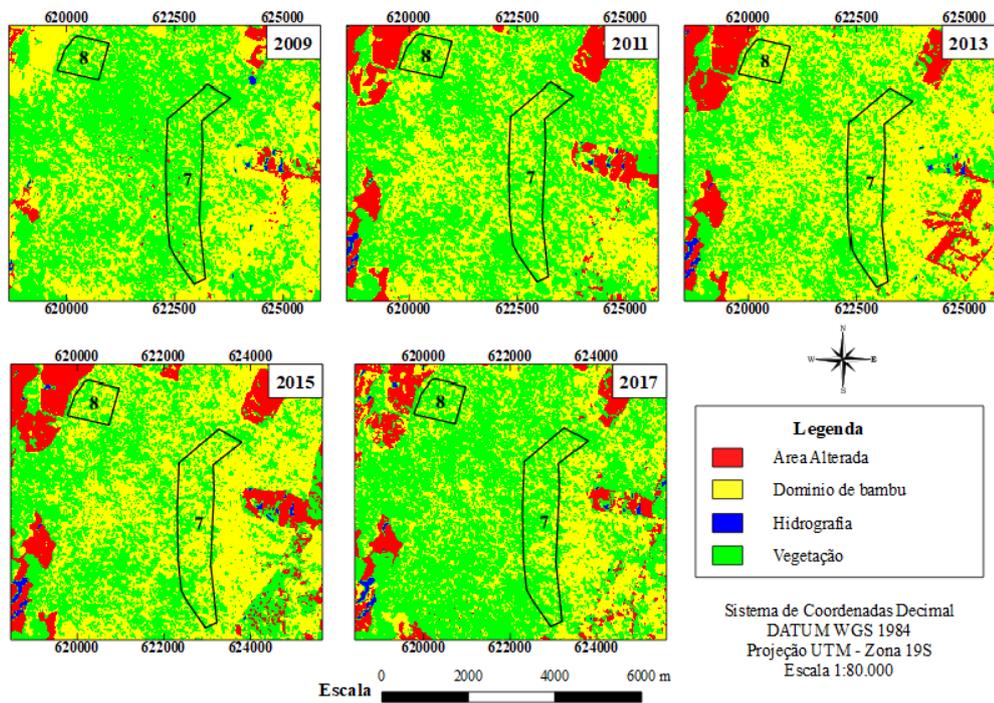


(b)

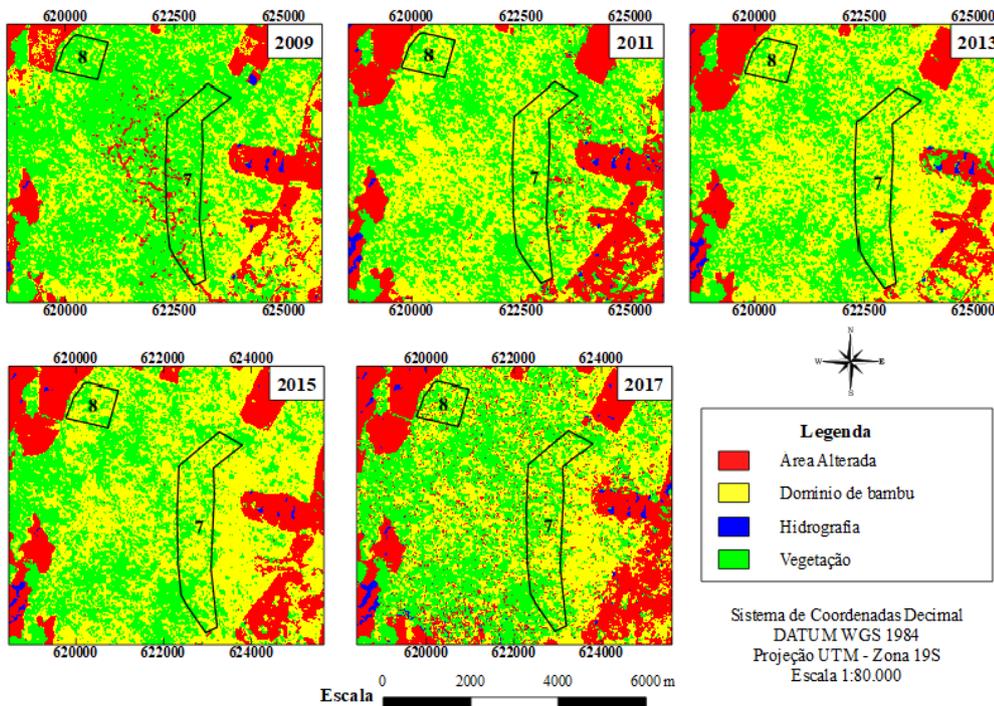


**APÊNDICE E** – Evolução temporal da ocupação do bambu revelada pelos métodos de classificações temáticas Distância Mínima (a) e Máxima Verossimilhança (b), observada na propriedade intitulada 6 (segundo a Tabela 2), onde a tipologia florestal é dominada por bambu. Fonte: elaborado pela autora.

(a)

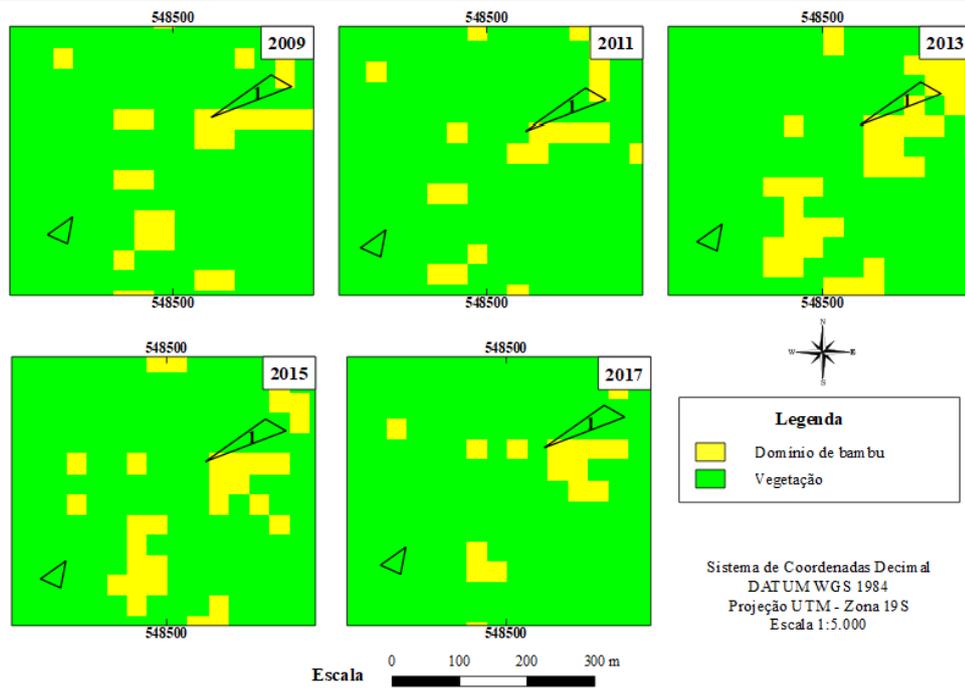


(b)

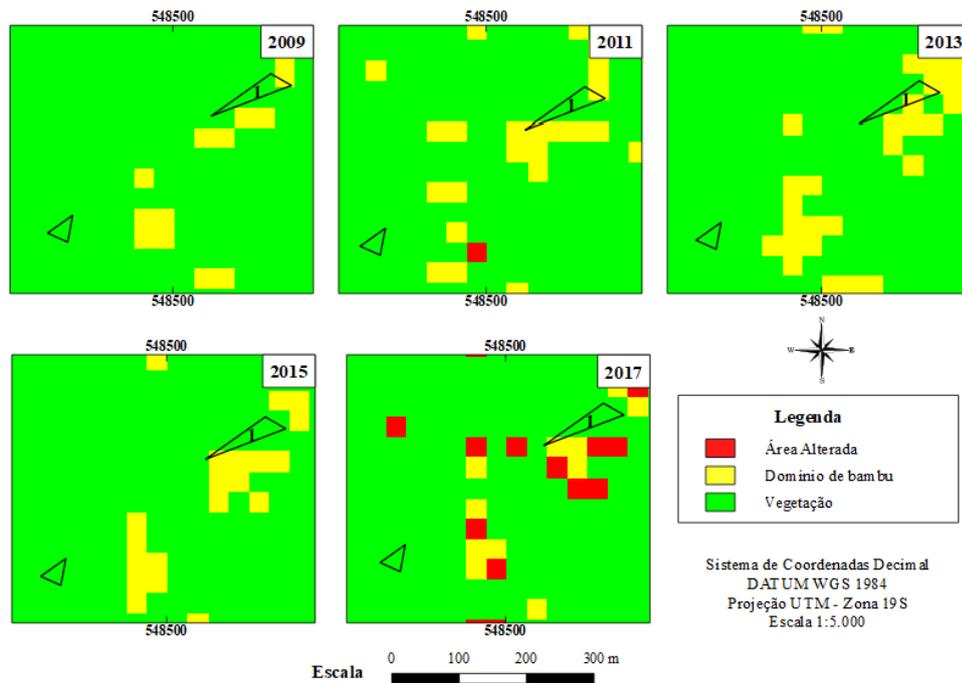


**APÊNDICE F** – Evolução temporal da ocupação do bambu revelada pelos métodos de classificações temáticas Distância Mínima (a) e Máxima Verossimilhança (b), observadas nas propriedades intituladas 7 e 8 (segundo a Tabela 2), onde a tipologia florestal é dominada por bambu. Fonte: elaborado pela autora.

(a)

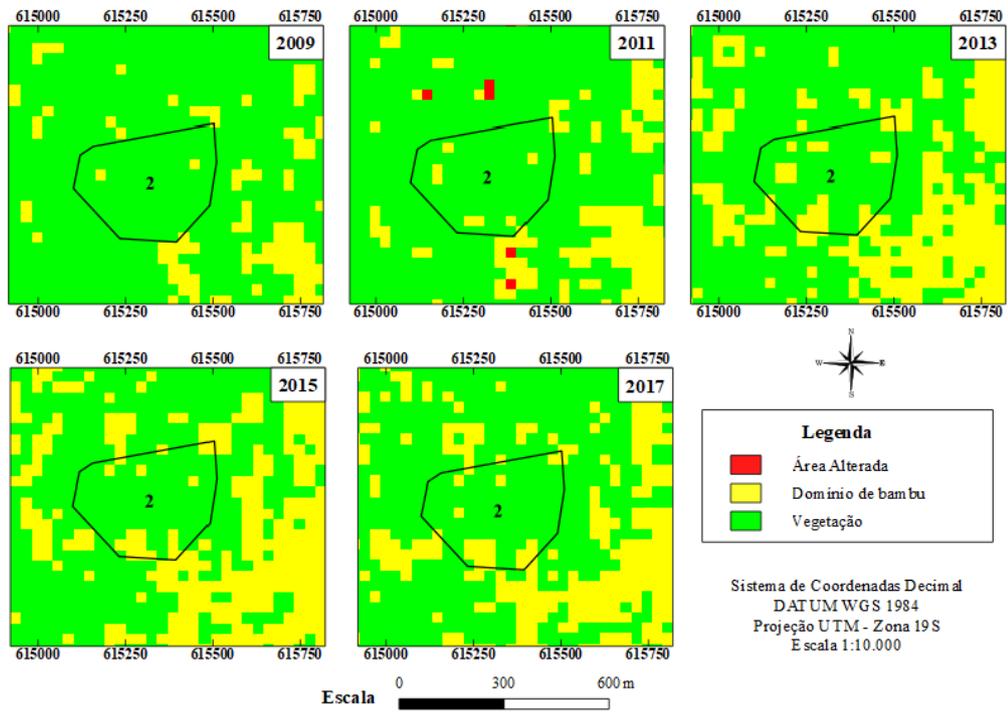


(b)

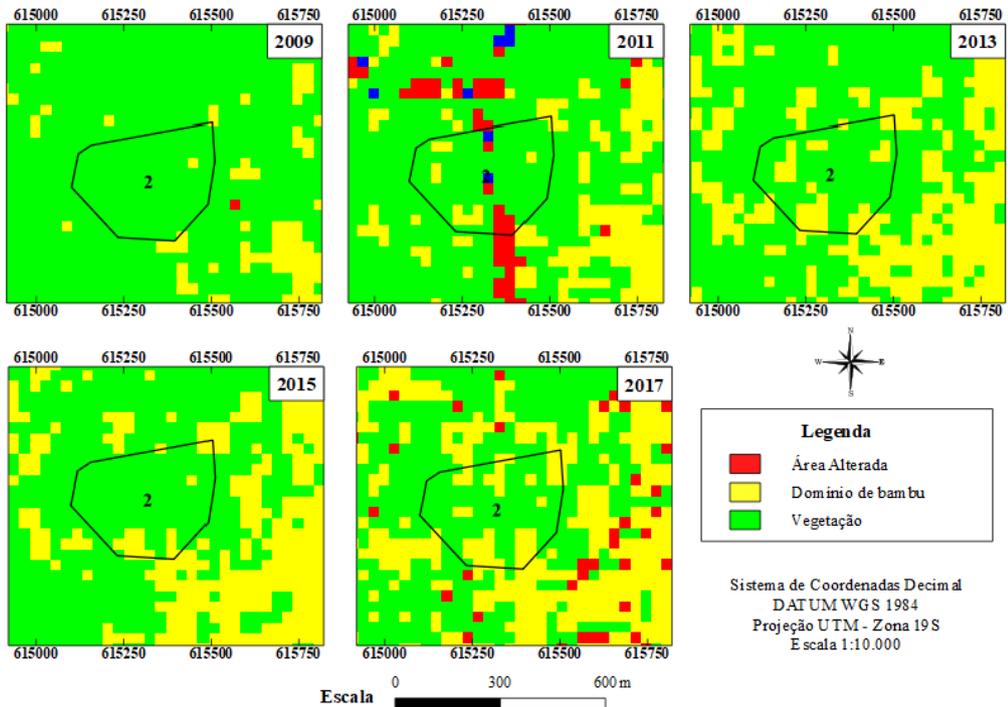


**APÊNDICE G** – Evolução temporal da ocupação do bambu revelada pelos métodos de classificações temáticas Distância Mínima (a) e Máxima Verossimilhança (b), observada na propriedade intitulada 1 (segundo a Tabela 3), onde o bambu é o elemento florístico secundário na tipologia florestal. Fonte: elaborado pela autora.

(a)

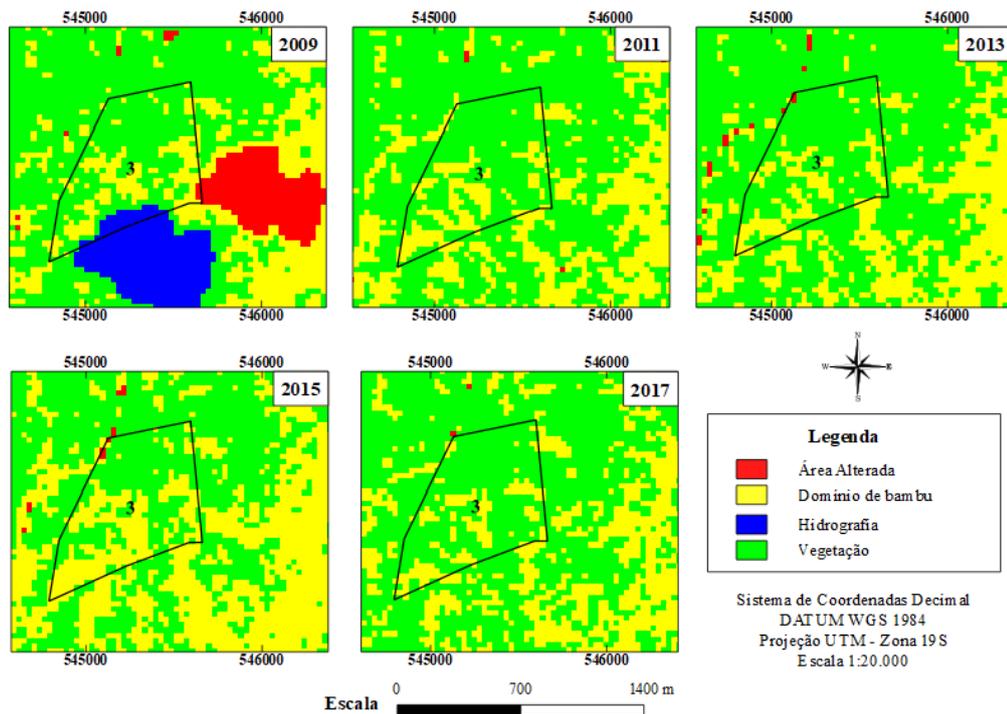


(b)

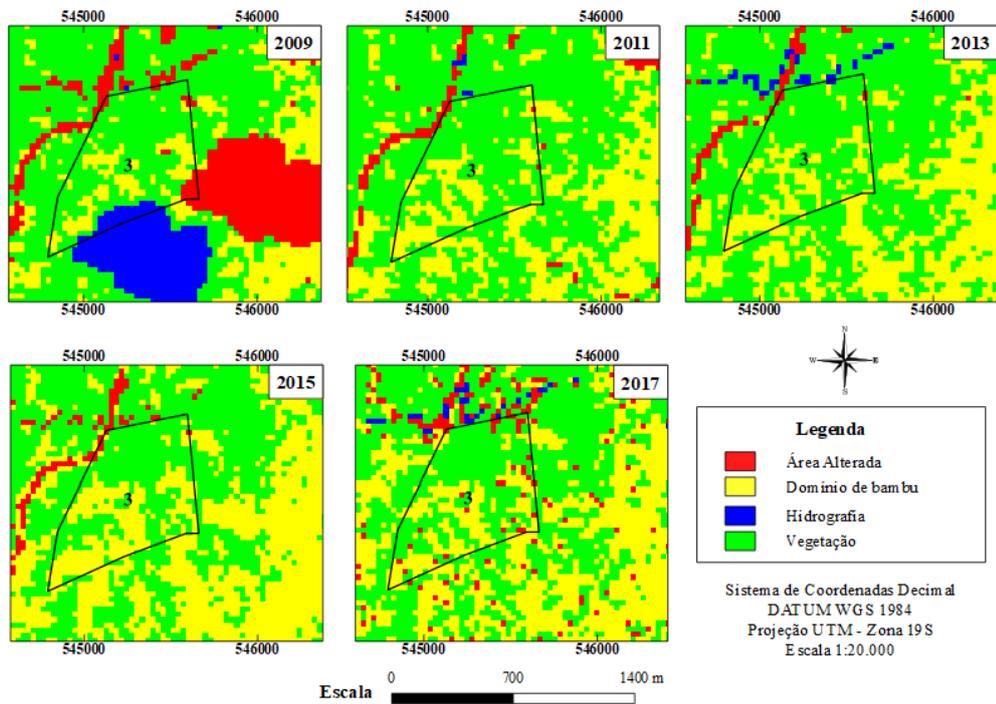


**APÊNDICE H** – Evolução temporal da ocupação do bambu revelada pelos métodos de classificações temáticas Distância Mínima (a) e Máxima Verossimilhança (b), observada na propriedade intitulada 2 (segundo a Tabela 3), onde o bambu é o elemento florístico secundário na tipologia florestal. Fonte: elaborado pela autora.

(a)

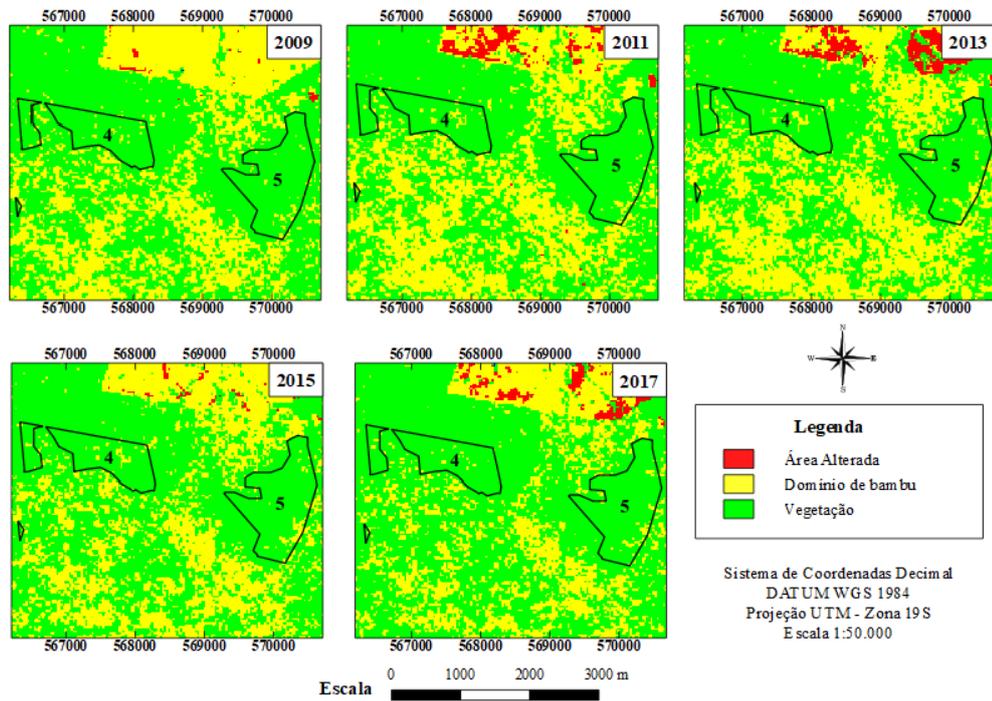


(b)

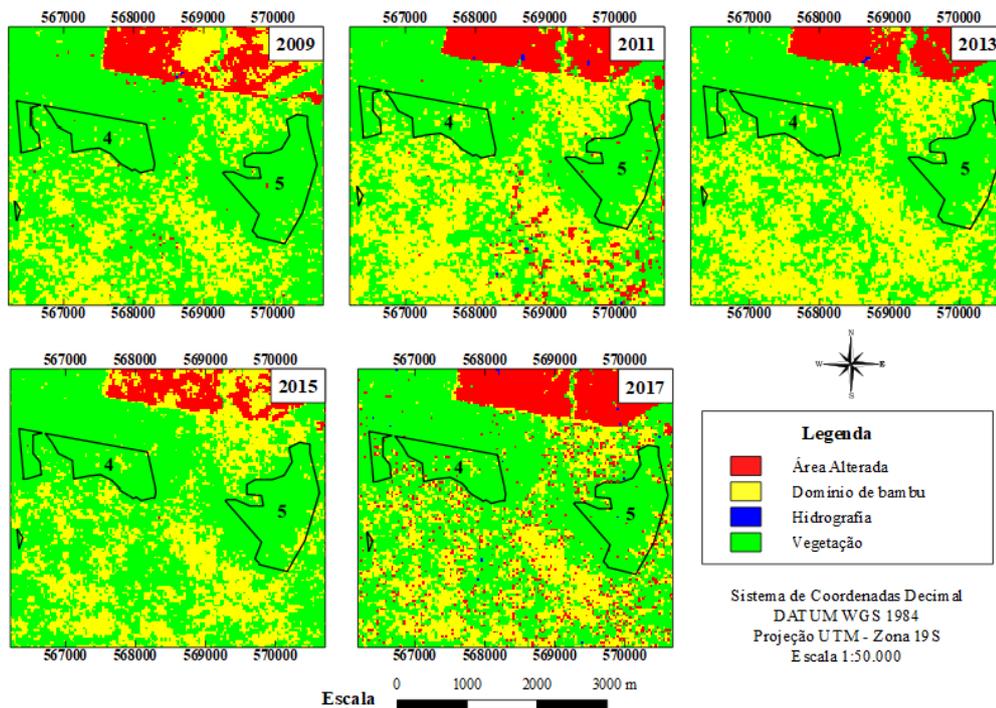


**APÊNDICE I** – Evolução temporal da ocupação do bambu revelada pelos métodos de classificações temáticas Distância Mínima (a) e Máxima Verossimilhança (b), observada na propriedade intitulada 3 (segundo a Tabela 3), onde o bambu é o elemento florístico secundário na tipologia florestal. Fonte: elaborado pela autora.

(a)

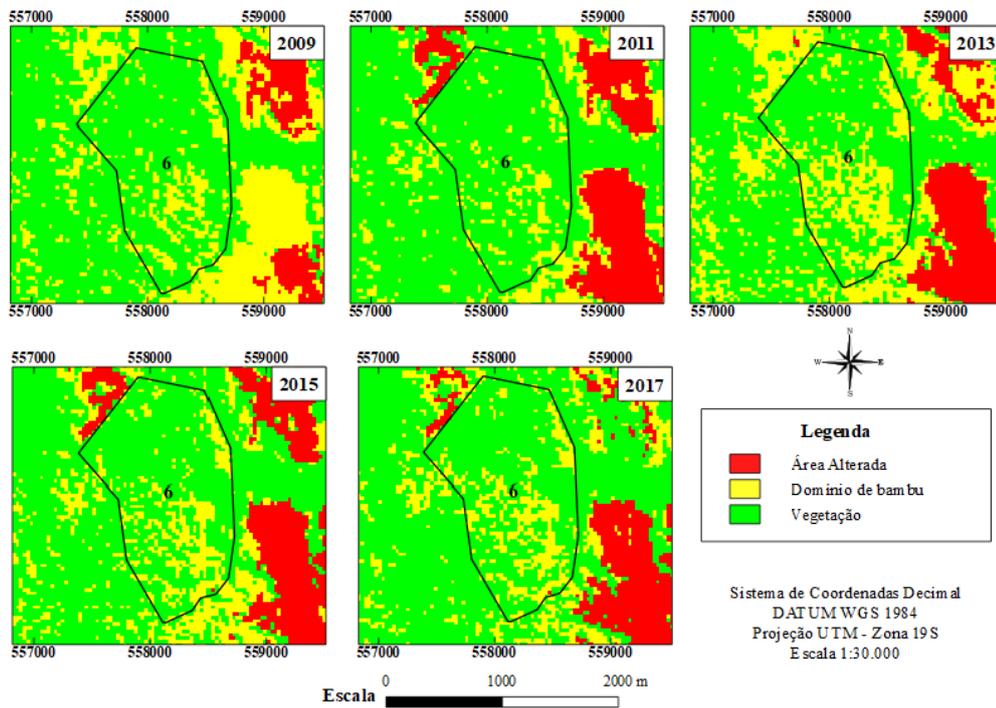


(b)

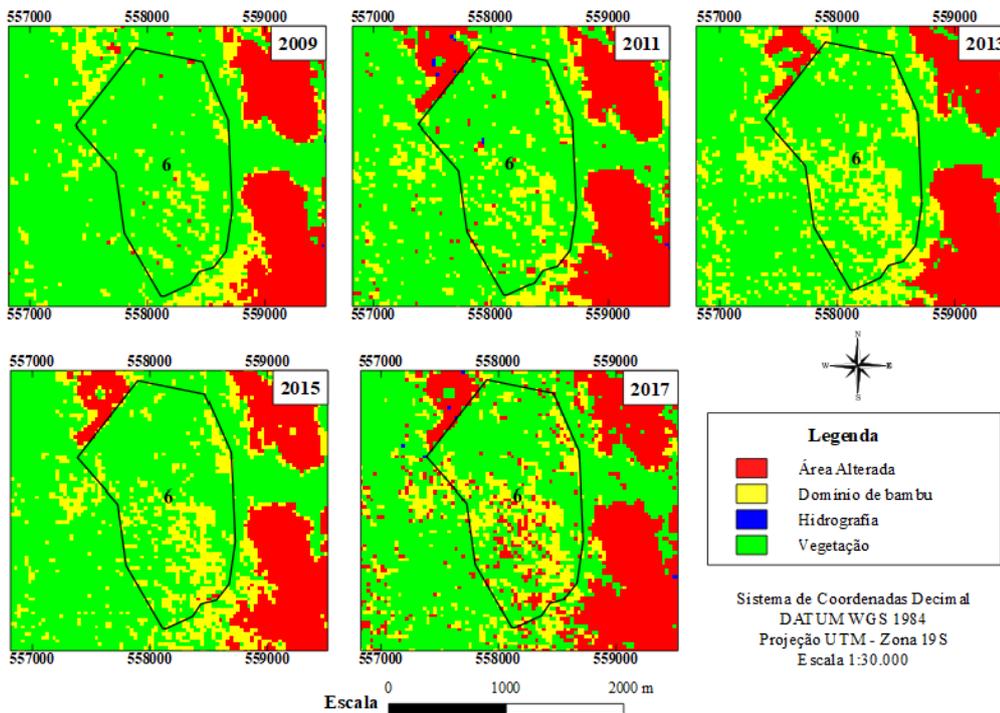


**APÊNDICE J** – Evolução temporal da ocupação do bambu revelada pelos métodos de classificações temáticas Distância Mínima (a) e Máxima Verossimilhança (b), observada nas propriedades intituladas 4 e 5 (segundo a Tabela 3), onde o bambu é o elemento florístico secundário na tipologia florestal. Fonte: elaborado pela autora.

(a)

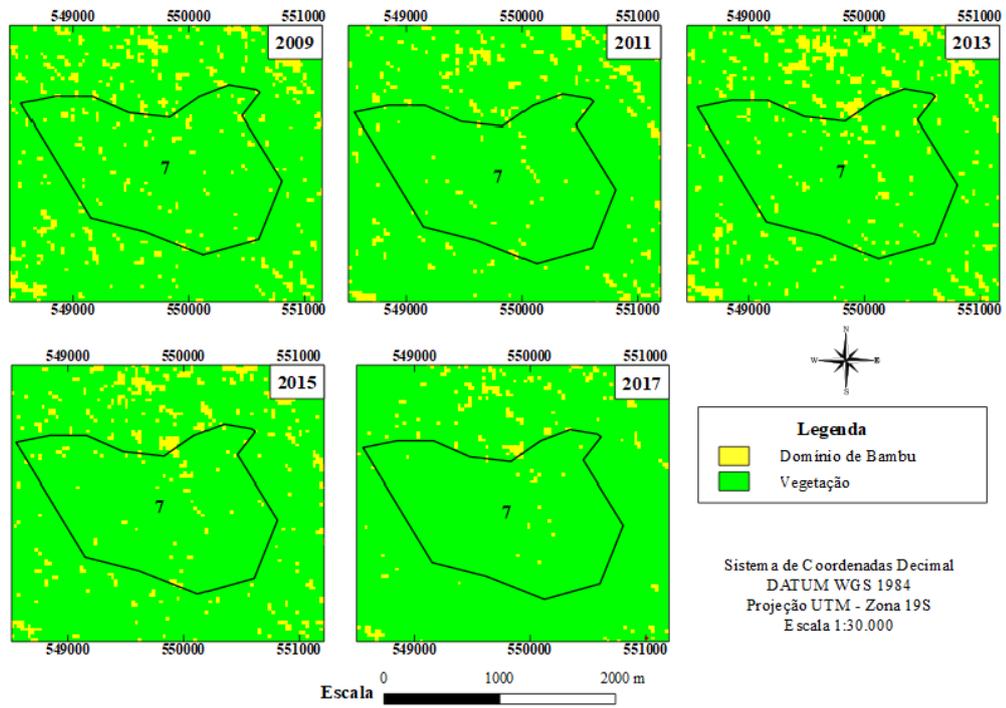


(b)

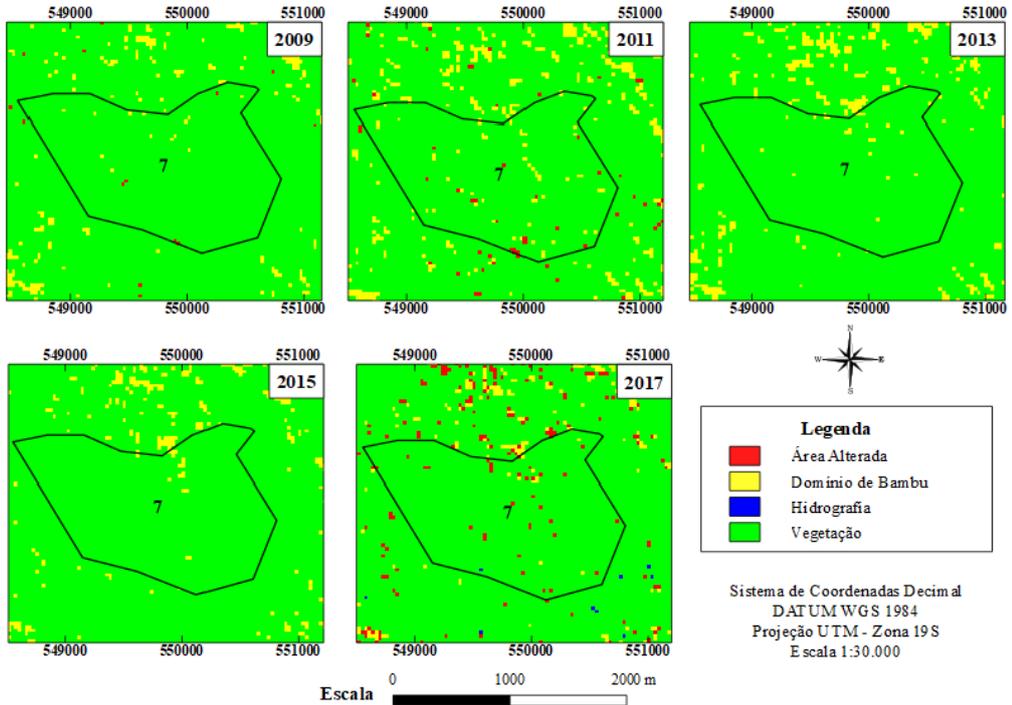


**APÊNDICE K** – Evolução temporal da ocupação do bambu revelada pelos métodos de classificações temáticas Distância Mínima (a) e Máxima Verossimilhança (b), observada na propriedade intitulada 6 (segundo a Tabela 3), onde o bambu é o elemento florístico secundário na tipologia florestal. Fonte: elaborado pela autora.

(a)

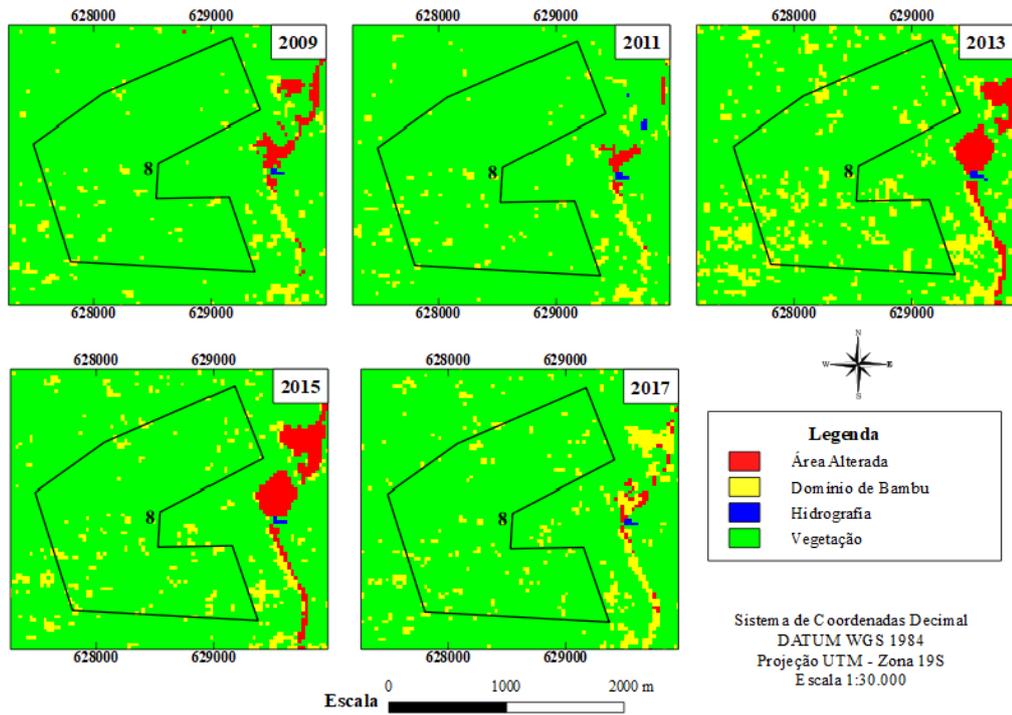


(b)

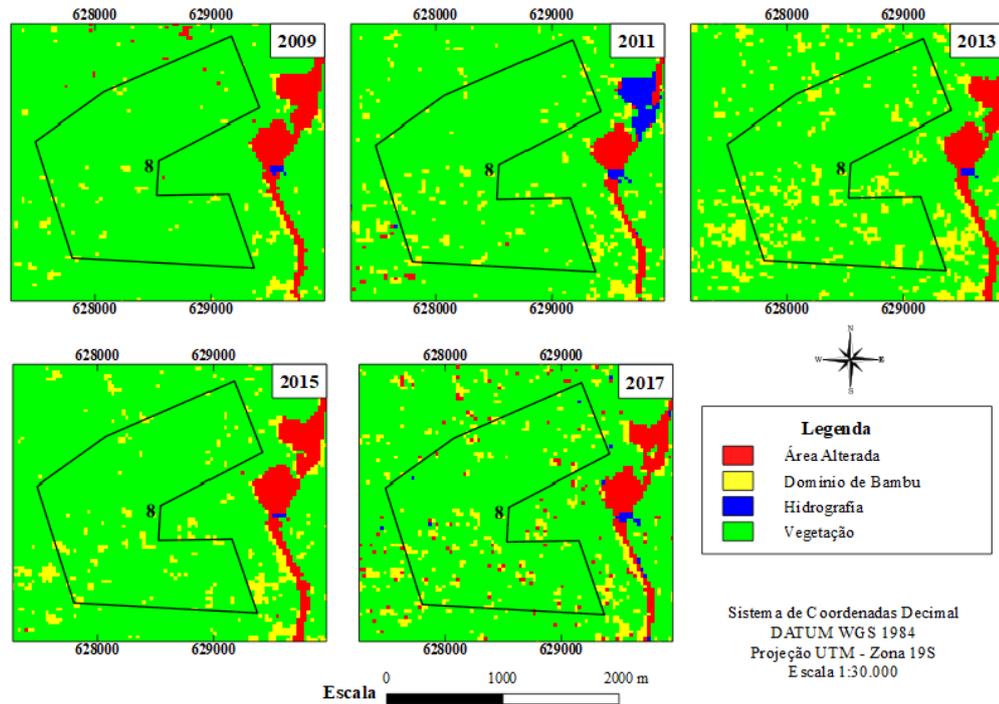


**APÊNDICE L** – Evolução temporal da ocupação do bambu revelada pelos métodos de classificações temáticas Distância Mínima (a) e Máxima Verossimilhança (b), observada na propriedade intitulada 7 (segundo a Tabela 3), onde o bambu é o elemento florístico secundário na tipologia florestal. Fonte: elaborado pela autora.

(a)

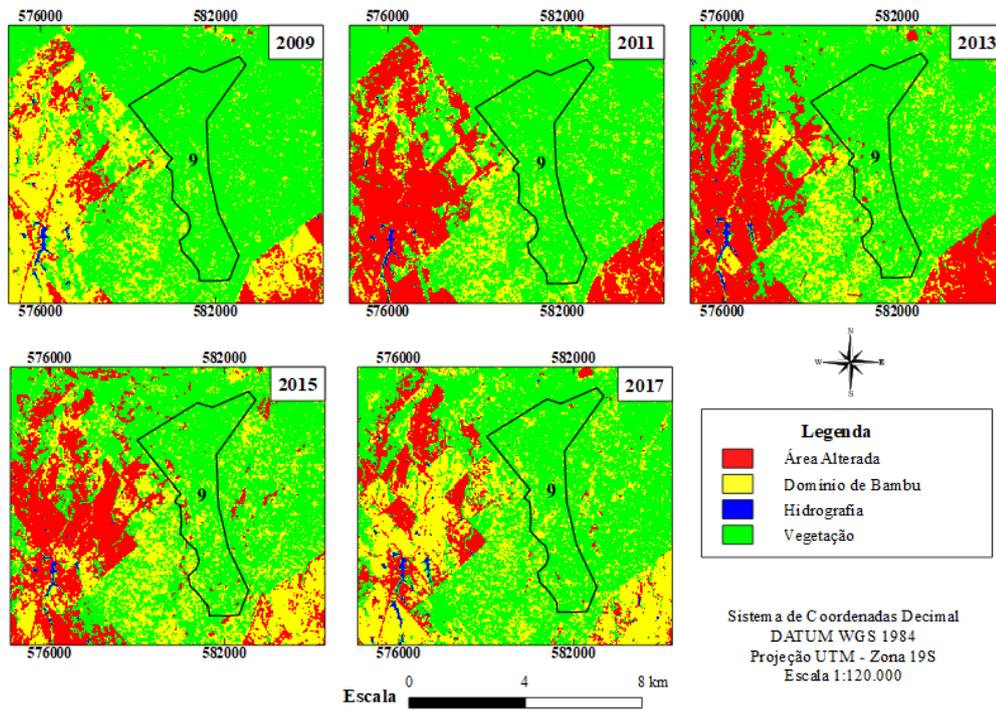


(b)

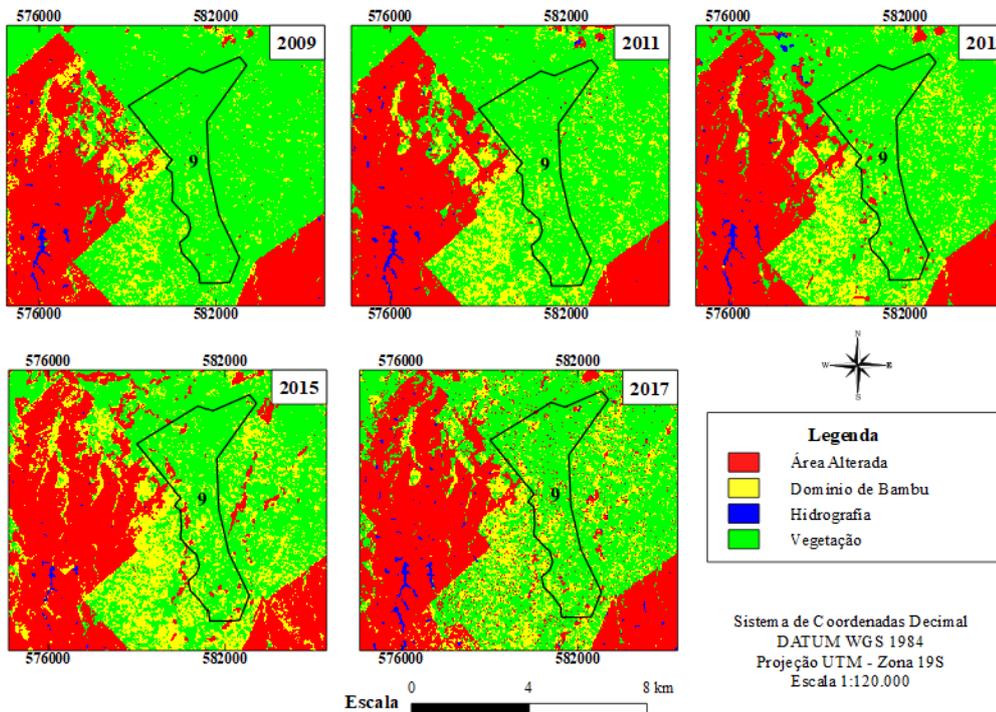


**APÊNDICE M** – Evolução temporal da ocupação do bambu revelada pelos métodos de classificações temáticas Distância Mínima (a) e Máxima Verossimilhança (b), observada na propriedade intitulada 8 (segundo a Tabela 3), onde o bambu é o elemento florístico secundário na tipologia florestal. Fonte: elaborado pela autora.

(a)



(b)



**APÊNDICE N** – Evolução temporal da ocupação do bambu revelada pelos métodos de classificações temáticas Distância Mínima (a) e Máxima Verossimilhança (b), observada na propriedade intitulada 9 (segundo a Tabela 3), onde o bambu é o elemento florístico secundário na tipologia florestal. Fonte: elaborado pela autora.