

A DINÂMICA DE ALTERAÇÕES AMBIENTAIS COM BASE NAS TRANSIÇÕES, PERMANÊNCIAS E VULNERABILIDADES: O CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MOJU, AMAZÔNIA

Thais Gleice Martins Braga; João Ubiratan Moreira dos Santos; Maria de Nazaré Martins Maciel; Paula Fernanda Viegas Pinheiro; Paulo Eduardo Silva Bezerra; Luiz Rodolfo Reis Costa e Orleno Marques da Silva Junior

RESUMO

O modelo econômico implantado na Amazônia, baseado no plantio de dendê, acarretou mudanças no uso e ocupação da terra, na bacia hidrográfica do rio Moju (BHRM), onde o cultivo do óleo de palma aumentou consideravelmente entre 2004 e 2010. Este estudo objetiva analisar a dinâmica de alteração de uso e ocupação do solo na BHRM e observar as áreas de APPs entre 2005 e 2017. Efetuou-se a classificação supervisionada pelo método de máxima-verossimilhança, com imagens disponibilizadas pela USGS, e para delimitação da bacia hidrográfica foram usados vetores disponibilizados pela ANA. Tal método identificou classes como: água e sombra, nuvem, pastagem, área antropizada (solo exposto), vegetação densa, vegetação secundária e dendê. Na transição entre os anos houve redução

de vegetação densa em 6,11%, e aumento das áreas de vegetação secundária, passando de 4,9% em 2005 para 8,4% em 2017. Quanto as mudanças e permanências dos usos verificou-se uma relação significativa de 75% na diminuição das áreas de vegetação densa, aumento de pastagens e áreas antropizadas evidenciando elevado uso do solo e significativo intervenção antrópica na paisagem; a área de dendê mais se destacou na paisagem, tendo aumento exponencial inclusive em áreas de APP, as quais foram identificadas com elevado uso e intervenções antrópicas prejudiciais para a conservação da biodiversidade. Conclui-se que o sensoriamento remoto mostra-se eficaz no monitoramento ambiental e apropriável para construção de medidas preventivas de degradação ambiental em áreas de APPs e uso da terra.

Introdução

A Amazônia brasileira ocupa cerca de 60% do território do país e vem perdendo, por décadas, sua vegetação nativa em razão das atividades do desmatamento. Calcula-se que a maior parte da expansão de áreas desflorestadas será na Amazônia paraense, em contraste com todos os outros estados que fazem parte da Amazônia Legal, em especial na região nordeste do estado do Pará, que esta inserida a bacia hidrográfica do rio Moju (Bordalo *et al.*, 2012; Ferreira *et al.*, 2016; Benami *et al.*, 2018), a qual se apresenta como pioneira no processo de ocupação da Amazônia, abrangendo os grandes projetos econômicos do estado.

Nesta região, sabe-se que dentre os diversos fatores do desmatamento, o maior deles é a expansão das áreas de cultivo do dendê (*Elaeis guineensis*) para a produção do óleo de palma, (Brondizio e Moran, 2012; De Sousa e Rocha, 2014; Villela *et al.*, 2014; Nahum e Santos, 2015; Silva, 2016; Ferreira *et al.*, 2017). Haja vista que área coberta tal cultura dobrou dentre os anos de 2004 a 2010 devido a inserção do novo ciclo econômico no estado do Pará.

Tais resultados são comprovados através do processo de monitoramento ambiental por satélite, oriundo de dados do Projeto de Monitoramento e de Desmatamento na Amazônia Legal (PRODES) vinculado ao Instituto Nacional de Pesquisas

Espaciais (INPE, 2017) o qual afirma que dentre os anos de 2000 a 2016 houve desmatamento de ~52,33% da extensão territorial total da bacia hidrográfica do rio Moju (Pará, 2016). Por esse motivo, a região nordeste do estado do Pará, presente sob a bacia hidrográfica do rio Moju (BHRM), está entre os prioritários da Amazônia para ações de prevenção, monitoramento e controle do desmatamento estabelecido pelo decreto nº 6.321/2007.

Autores como Gomes *et al.* (2012), Ferreira *et al.* (2017) e Silva (2016) comprovam a necessidade de entender o processo de uso do solo em bacias hidrográficas, prioritariamente para minimizar os impactos

ambientais, provenientes do processo de uso do solo, pois é dessa forma que haverá melhor compreensão quanto a necessidade de recuperação e conservação de nascentes, técnicas de manejo, conservação de solo e água e das Áreas de Preservação Permanentes (APP).

Quanto as APPs, sabe-se que o crescimento da cultura do dendê resulta diretamente em modificações ecossistêmicas, por isso é fundamental enfatizar o monitoramento e ampliar o controle sobre áreas de produção, visando minimizar a expansão em APPs (Homma e Vieira, 2012), haja vista que tais áreas estão protegidas sob o Código Florestal Brasileiro, Lei nº 12.651/2012,

PALABRAS CHAVE / Biodiversidade / Monitoramento Ambiental / Uso da Terra /

Recebido: 11/07/2018. Modificado: 27/03/2019. Aceito: 28/03/2019.

Thais Gleice Martins Braga. Engenheira Ambiental, Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Brasil, Mestre em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará (UFPA), Brasil. Estudante de Doutorado, UFRA, Brasil. Docente, UFRA, Brasil. Endereço: Tv. Vileta N° 429, Bairro Pedreira, Cep: 66087-421, Brasil. e-mail: thais.braga@ufra.edu.br

João Ubiratan Moreira dos Santos. Biólogo, UFPA, Brasil. Mestre e Doutor em Biologia Vegetal, Universidade Estadual de Campinas, Brasil. Docente, UFRA, Brasil.

Maria de Nazaré Martins Maciel. Engenheira Florestal e Mestre em Ciências Florestais, UFRA, Brasil. Doutora em Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Brasil. Docente, UFRA, Brasil.

Paula Fernanda Viegas Pinheiro. Engenheira Ambiental, Universidade do Estado do Pará, Brasil. Mestre em Geografia, UFPA, Brasil. Docente, UFRA, Brasil.

Paulo Eduardo Silva Bezerra. Engenheiro Ambiental, UFRA, Brasil. Mestre em Engenharia Civil, UFPA, Brasil. Geographic Information System, Fanshawe College, Canadá.

Luiz Rodolfo Reis Costa. Engenheiro Florestal, UFRA, Brasil. Especialista em Geoprocessamento, UFPA, Brasil.

Orleno Marques da Silva Junior. Engenheiro Ambiental, Universidade do Estado do Pará, Brasil. Mestre em Geografia, UFPA, Brasil. Doutor em Planejamento Energético, Instituto Alberto Luiz Coimbra, Brasil.

THE DYNAMICS OF ENVIRONMENTAL ALTERATIONS BASED ON TRANSITIONS, PERMANENCES AND VULNERABILITIES: THE CASE OF THE MOJU / PA / AMAZÔNIA RIVER BASIN

Thais Gleice Martins Braga; João Ubiratan Moreira dos Santos; Maria de Nazaré Martins Maciel; Paula Fernanda Viegas Pinheiro; Paulo Eduardo Silva Bezerra; Luiz Rodolfo Reis Costa and Orleno Marques da Silva Junior

SUMMARY

The economic model implemented in the Amazon, based on palm oil planting, led to changes in land use and occupation, in the Moju River Basin, where palm cultivation increased considerably between 2004 and 2010. This study aims to analyze the dynamics of land use change and occupation in that basin between 2005 and 2017, and observe the areas of APPs. For this, classification was supervised by the maximum-likelihood method, with images made available by USGS, and using vectors provided by ANA to delimit the basin. The following classes were identified: water and shade, cloud, pasture, anthropic area (exposed soil), dense vegetation, secondary vegetation and oil palm. In the transition between the studied years there was a dense vegetation reduction of 6.11% and an

increase in secondary vegetation, from 4.9% in 2005 to 8.4% in 2017. As to the changes and permanence of the land uses a relation of 75% was verified in the reduction dense vegetation areas, increase of pastures and anthropic areas, evidencing high use of the soil and significant anthropic intervention in the landscape. The area of dendê stood out in the landscape, showing an exponential increase even in areas of APP, which were identified as having high use and harmful anthropogenic interventions for the conservation of biodiversity. It is concluded that remote sensing is effective in environmental monitoring and suitable for the construction of preventive measures of environmental degradation in areas of APPs and land use.

LA DINÁMICA DE ALTERACIONES AMBIENTALES CON BASE EN LAS TRANSICIONES, PERMANENCIAS Y VULNERABILIDADES: EL CASO DE LA BACIA HIDROGRÁFICA DEL RÍO MOJU / PA / AMAZONIA

Thais Gleice Martins Braga; João Ubiratan Moreira dos Santos; Maria de Nazaré Martins Maciel; Paula Fernanda Viegas Pinheiro; Paulo Eduardo Silva Bezerra, Luiz Rodolfo Reis Costa y Orleno Marques da Silva Junior

RESUMEN

El modelo económico implementado en la Amazonía, basado en la siembra de palma para extracción de aceite, llevó a cambios en el uso y ocupación de la tierra en la cuenca hidrográfica del río Moju (BHRM), donde el cultivo de palma aumentó considerablemente entre 2004 y 2010. Este estudio analiza la dinámica del cambio de uso y ocupación del suelo en la BHRM entre 2005 y 2017, y observar áreas de APPs. Se utilizó la clasificación supervisada por máxima verosimilitud con imágenes del USGS y vectores proporcionados por ANA, para delimitar la cuenca del río. Se identificaron las clases: agua y sombra, nubes, pastos, área antrópica (suelo expuesto), vegetación densa, vegetación secundaria y palma aceitera. Entre los años estudiados hubo una reducción de la vegetación den-

sa de 6,11% y un aumento en vegetación secundaria, de 4,9% en 2005 a 8,4% en 2017. En cuanto a cambios y permanencia de usos se verificó una relación de 75% en áreas de reducción de vegetación densa, aumento de pastizales y áreas antrópicas, evidenciando alto uso del suelo y una importante intervención antrópica en el paisaje. El área más destacada del paisaje fue de la palma y tuvo un aumento exponencial incluso en áreas de APP, identificadas con alto uso e intervenciones antropogénicas nocivas para la conservación de la biodiversidad. Se concluye que la detección remota es efectiva en el monitoreo ambiental y es adecuada para elaborar medidas para prevenir la degradación ambiental en áreas de APP y uso del suelo.

que norteia quanto proteção da vegetação em APPs (Almeida e Vieira, 2014) e define ações jurídicas nos casos de degradação.

Nesse contexto, no âmbito do monitoramento ambiental, a geotecnologia apresenta-se como ferramenta metodológica fundamental, pois através do sensoriamento remoto, geoprocessamento, e dos sistemas de informações geográficas (SIG) é possível mapear, entender, quantificar, classificar, monitorar e modelar de forma segura e com veracidade as informações sobre os diversos tipos de usos do solo, os índices de desmatamento e os aspectos ambientais em APPs (Fushita, et al., 2013; Rodrigues, 2015) gerando assim dados primários

e seguros que irão subsidiar inúmeras tomada de decisões (Formaggio e Sanches, 2017; Shimabukuro e Ponzoni, 2017) em prol da sustentabilidade ambiental.

O presente estudo objetiva analisar a dinâmica de alterações na cobertura vegetal e uso da terra, na BHRM, com base nas transições, permanências e vulnerabilidades nos anos de 2005 e 2017.

Material e Métodos

Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Moju (BHRM) possui área de 15.662,097km² se estendendo pelos municípios de Moju, Breu Branco, Goianésia do

Pará e Jacundá, em 01°20'00"S e 48°40'00"O. Na conjuntura da Política Estadual dos Recursos Hídricos sob a Lei nº 6.381/2001 e com base na Resolução de nº 04/2008 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos, (Pará, 2012), inclui-se na Região Hidrográfica Costa Atlântica Nordeste.

Processamento das imagens e delimitação da bacia hidrográfica

Para classificação do uso da terra as imagens foram processadas usando os softwares ArcGis 10.1 e ENVI 5.1 com protocolos de classificação supervisionada realizada pelo algoritmo de máxima-verossimilhança (MAXVER), para

reconhecer aglomerados espectrais da imagem e atribuir uma classe a cada pixel. O método da classificação supervisionada utiliza a estatística de ensaio para calcular a probabilidade de um pixel vincular-se a uma determinada classe, onde o limite de aceitação de uma classificação, no ponto onde os dois arranjos se interligam. Deste modo, um pixel localizado na região interseção, ainda pertencendo à classe A, será classificado como classe B (Freitas e Pancher, 2013) pelo limite de aceitação estabelecido.

A análise de sensoriamento remoto foi realizada utilizando dados georreferenciados com imagens pelo sensor TM (Thematic Mapper) a bordo do

satélite LANDSAT-5 e sensor OLI (*Operational Land Imager*) satélite LANDSAT-8 com imagem referente às órbitas/pontos 223/061 e 224/062, bandas TM 3, 4, 5 e 4, 5, 6, respectivamente aos satélites, com resolução espacial de 30m e 30% de nuvens, sendo obtidas na página eletrônica da *Science for Changing World-USGS* (<https://www.usgs.gov>).

A delimitação da largura da APP foi elaborada com base no Código Florestal, Lei nº 12.651/2012, tal lei em seu 4º artigo que as faixas marginais em qualquer curso d'água natural perene e intermitente, desde a borda da calha do leito regular, determinam o *buffer* de 30m de largura para o curso d'água de <10m de largura, e *buffer* de 50m para cursos d'água de >10m de largura. Nesse estudo foram levadas em consideração as APPs dos cursos d'água e de nascentes.

As classes de uso e cobertura do solo na BHRM foram identificadas e delimitadas partindo de bases hidrográficas disponibilizadas pela Agência Nacional das Águas (ANA), com edição de arquivo *shapefile*, utilizando no ArcGis a ferramenta *Hydrology*, que são algoritmos para análises hidrológicas.

Dessa forma, as imagens classificadas são representadas pelas respectivas classes de uso e cobertura vegetal do solo, assim: a) Água e sombra, representa todos os corpos d'água presentes na área e sombras de árvores; b) Pastagem, área ocupada por pastos naturais, corrigidos ou plantados, geralmente por gramíneas e leguminosas; c) Área antropizada, área na qual os atributos originais do solo, relevo e vegetação sofreram intervenção humana; d) Vegetação densa, área com tipo de vegetação com mata verde, com árvores em até 40m de altura; e) Vegetação secundária, área de defluência após revogação da vegetação primária por ações antrópicas; e f) Dendê, área de cultivo do óleo de palma.

Validações dos resultados e análises estatísticas

Utilizou-se o método estatístico Kappa (índice Kappa) que é uma medida de concordância, a qual ratifica e qualifica o resultado alcançado na classificação supervisionada, sendo o método adotados por autores como Brites *et al.* (1996), Bolfe *et al.* (2004), Cruz *et al.* (2008), Valencia (2008) Ribeiro *et al.* (2011) e Pereira (2013) para realizar estudos de uso e cobertura do solo, bem como modelagem geoespacial.

Tal método foi aplicado visando realizar análise quantitativa da coerência, entre a área da BHRM com a detectada via mapeamento; tal resultado estatístico abordou a veracidade pixel a pixel, entre mapa real e simulado, para validação dos dados primários adquiridos *in loco*.

Para isso, dois procedimentos foram especificamente adotados; o primeiro visando validar o índice de acertos unitariamente em percentual, individualmente, para cada uma das sete classes de cobertura e uso do solo detectadas na área da BHRM, conforme Eq. 1.

$$K = \frac{P_0 - P_e}{1 - P_e} \quad (1)$$

onde K: teste kappa, P_0 : probabilidade observada a partir dos resultados do modelo, e P_e : probabilidade esperada de acordo com observado em campo.

O método descrito por Brites *et al.* (1996) foi utilizado para quantificar a veracidade dos dados em percentual de acertos de forma geral, exposto na Eq. 2.

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

onde N: valor total dos pixels abrangidos pela matriz de equívocos, n: valores quanto aos elementos da matriz de equívocos, e M: valores de categorias informacionais na matriz de equívoco.

Para geração dos gráficos foi realizada a análise de regressão linear múltipla, para investigar e descrever a relação existente

entre as variáveis através do cálculo de coeficiente de correlação linear Pearson, plotando o gráfico de dispersão relacionando as classes com seus respectivos anos (2005 e 2017). Tais análises foram feitas no *software* estático R.

Para analisar a distribuição das classes utilizaram-se dados quantitativos para os anos de 2005 e 2017. Os dados foram plotados no *software* R, utilizando o gráfico *box plot* que possibilita representar a classificação de um conjunto de dados com base nos parâmetros descritivos.

Resultados

A análise de sensoriamento remoto detectou sete classes distintas de uso da terra, as quais foram calculadas também as áreas preservação permanente (APP). A Tabela I mostra os valores de uso do solo nos anos de 2005 e 2017 e nas APPs para cada classe com os dados descritos em valores percentuais.

Com relação às alterações da área de estudo, ao analisarem-se os dados pode-se afirmar que áreas de floresta convertidas em pastagem e área antropizada foram decorrentes de demandas econômicas nacionais e internacionais, ocasionando alterações na paisagem da região, com base nos estudos publicados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, pelo Projeto PRODES (INPE, 2017), os quais identificaram que em 2012 cerca de 20% das áreas de floresta na Amazônia foram desmatadas sob a forma de corte raso, ou seja, quando não se deixa nenhuma vegetação remanescente.

Os resultados mostram que na área da BHRM possui 15.661,60 km² de área. Em 2017 o total de área com vegetação densa diminuiu para 5.479,15km², contabilizando ~34,99%, indicando perda total de 7341,98km² da vegetação densa que existia em 2005. Em 2005 já estavam sendo destinados para área antropizada 2.420,62km², abrangendo

15,46% de toda área (Tabela I, Figuras 1 e 3).

Com vegetação secundária em 2005 existia área total de 750,31km², os quais representavam ~132,00%, porém, em 2017 os valores totalizavam 1.216,01km², representando 26,90%. A vegetação secundária aumentou em 2,98% e as áreas com de cultivo de dendê sofreram reduções de 0,24%, no período analisado (Figura 4).

A mudança líquida (*net change*) foi positiva para as classes dendê, nuvem, pastagem, área antropizada e vegetação secundária, e negativa para vegetação densa e água/sombra. O dendê teve uma mudança líquida de 23,33%, outra classe foi a área antropizada, que obteve 2,11% e menor mudança líquida, porém mudança líquida positiva, maior mudança líquida observada, a classe de vegetação densa foi a que obteve menor mudança líquida das classes analisadas (0,32%). Em termos de mudança líquida negativa (*net loss*), a classe vegetação densa sofreu mudança de 1,24%, juntamente com água/sombra com 0,07% (Tabela I, Figuras 1 e 4).

O maior valor de permuta (*swap*) foi da classe vegetação densa (22,62%), seguido de área antropizada (20,04%), logo a classe pastagem com (15,55%). O dendê apresentou os valores mais baixos de permuta, ou seja, é a classe que menos migra para outras áreas dos sítios que sofrem mudança de uso. A classe vegetação secundária apresentou permuta de 8,80%. Tabelas I e II, Figuras 1 e 4.

Os resultados mostram que a área destinada legalmente a APP em Moju é de 677,40km², representando 4,3% da área municipal. As APPs com vegetação densa no ano de 2005 representam 50,25% das APPs no município (Tabela I, Figuras 2 e 3). Em 2017, a classe pastagem foi de 52,48km², área antropizada 130,21km², área de vegetação densa 326,86km² e vegetação secundária 56,56km², conforme pode ser observado na Tabela I e II bem

TABELA I
 ÁREA DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO MOJU DISTRIBUÍDO POR CLASSES DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO, DESTACANDO O USO INADEQUADO DE OCUPAÇÃO EM APPS

| | | Mudança de uso da terra (%) | | | | | | | | |
|-------------|-------------------|-----------------------------|-------|-------|----------|------------------|-----------------|----------------------|--------|-------------|
| | | 2017 | | | | | | | | |
| 2005 | Classes | Água/Sombra | Dendê | Nuvem | Pastagem | Área antropizada | Vegetação densa | Vegetação secundária | Total | Perda total |
| | Água/Sombra | 0,45 | 0,00 | 0,02 | 0,05 | 0,07 | 0,27 | 0,03 | 0,89 | 0,44 |
| | Dendê | 0,00 | 0,11 | 0,03 | 0,05 | 0,05 | 0,10 | 0,02 | 0,35 | 0,24 |
| | Nuvem | 0,04 | 0,03 | 0,16 | 0,67 | 1,65 | 1,71 | 0,29 | 4,54 | 4,38 |
| | Pastagem | 0,07 | 0,37 | 0,32 | 1,57 | 3,94 | 3,51 | 1,50 | 11,28 | 9,71 |
| | Área antropizada | 0,12 | 0,44 | 0,41 | 3,79 | 15,46 | 3,63 | 1,64 | 25,48 | 10,02 |
| | Vegetação densa | 0,18 | 1,41 | 2,39 | 3,02 | 6,76 | 34,99 | 3,89 | 52,64 | 17,66 |
| | Veget. secundária | 0,02 | 0,34 | 0,31 | 0,71 | 0,94 | 2,09 | 0,39 | 4,79 | 4,40 |
| Total | | 0,88 | 2,70 | 3,63 | 9,85 | 28,86 | 46,30 | 7,77 | 100,00 | 46,86 |
| Ganho total | | 0,43 | 2,59 | 3,47 | 8,27 | 13,41 | 11,31 | 7,38 | 46,86 | 0.10% |

| Classes | 2005 | | 2017 | | APP | |
|-------------------|-----------------|---------|-----------------|--------|-----------------|-------|
| | km ² | % | km ² | % | km ² | % |
| Água/Sombra | 139,45 | 24,53 | 137,33 | 3,04 | 88,99 | 7,32 |
| Dendê | 55,75 | 9,81 | 422,31 | 9,34 | 11,57 | 0,95 |
| Nuvem | 710,80 | 125,05 | 568,42 | 12,57 | 17,65 | 1,45 |
| Pastagem | 1769,40 | 311,28 | 1542,33 | 34,12 | 51,62 | 4,24 |
| Área antropizada | 3990,31 | 702,00 | 4520,12 | 99,99 | 129,00 | 10,60 |
| Vegetação densa | 8245,27 | 1450,56 | 7250,42 | 160,39 | 327,00 | 26,88 |
| Veget. secundária | 750,31 | 132,00 | 1216,01 | 26,90 | 50,65 | 4,16 |

TABELA II
 MUDANÇA DE USO DA TERRA (%) EM RELAÇÃO AS PERDAS E GANHOS TOTAIS E LÍQUIDOS E PERSISTÊNCIAS

| | | 2017 | | | | | | | |
|-------------------|-------------|------------|-------------|-------------|---------------------------|--------------|----------------|-------|-------|
| Classes | Total 2005 | Total 2017 | Ganho total | Perda total | Valor absoluto de mudança | Persistência | Permuta (swap) | Perda | Ganho |
| | Água/Sombra | 0,89 | 0,88 | 0,43 | 0,44 | 0,87 | 0,45 | 0,86 | 0,01 |
| Dendê | 0,35 | 2,70 | 2,59 | 0,24 | 2,83 | 0,11 | 0,49 | 0 | 2,34 |
| Nuvem | 4,54 | 3,63 | 3,47 | 4,38 | 7,86 | 0,16 | 6,95 | 0,91 | 0 |
| Pastagem | 11,28 | 9,85 | 8,27 | 9,71 | 17,99 | 1,57 | 16,55 | 1,44 | 0 |
| Área antropizada | 25,48 | 28,86 | 13,41 | 10,02 | 23,43 | 15,46 | 20,04 | 0 | 3,39 |
| Vegetação densa | 52,64 | 46,30 | 11,31 | 17,66 | 28,97 | 34,99 | 22,62 | 6,35 | 0 |
| Veget. secundária | 4,79 | 7,77 | 7,38 | 4,40 | 11,78 | 0,39 | 8,80 | 0 | 2,98 |

como Figuras 1 a 4. O comportamento da classificação foi de 0,91% para o índice Kappa em 2005 e 0,93% em 2017. Segundo (Vale *et al.*, 2018) os valores da estatística Kappa de 0,8 a 1,00 representam uma qualidade excelente de classificação entre as imagens. Na APP obteve-se o uso do solo inadequado de 182,69km², e uso adequado de 383,42km² (Figuras 2, 3 e 4).

O uso inadequado do solo inclui técnicas que agridem o solo realizado para produção de pastagem, dentre elas, o desmatamento, adubação química e queimadas. No uso adequado há planejamento prévio, e utiliza-se agricultura correta voltada para a sustentabilidade com recomendações e práticas

ambientais de proteção e melhoria do solo, água e vegetação.

As posições incorretas do uso da terra em APPs e das atividades empregadas em uma bacia hidrográfica podem ocasionar alto problema ambiental, que podem ser irreversíveis, como por exemplo, a perda da biodiversidade (Santos *et al.*, 2017). O gráfico de dispersão (Figura 3) apresentou relação linear com retorno de 94% entre os anos de 2005 e 2017. Fazendo a correlação das variáveis APP com o uso do solo, obteve-se retorno de 91%, evidenciando uma forte relação linear entre as mesmas.

Na Figura 3, os triângulos representam a relação existente entre as classes de uso do solo

nos anos de 2005 e 2017 com as APPs delimitadas e classificadas em 2005 e 2017. O valor do coeficiente de correlação linear de Pearson foi bem pequeno ($r= 0,3859$ e $0,9904$, respectivamente) entre os anos de estudo e as áreas de APP, demonstrando que existe significância estatística. O coeficiente de Pearson (r) é uma medida adimensional que pode atribuir-se valores no intervalo entre -1 e +1 que mede o grau de correlação linear entre as variáveis, onde $r= -1$ significa correlação negativa perfeita entre as variáveis, $r= 1$ uma correlação perfeita positiva entre as variáveis, e $r=0$ significa que as variáveis não dependem linearmente uma da outra. Valores de Pearson de

0,47 a 0,69 interpretam correlação fraca, de 0,70 a 0,89 correlações fortes e de 0,90 a 1,00 é também considerada uma correlação forte (Martins, 2014).

No entanto encontrou-se uma relação significativa (hipótese alternativa), entre os anos de 2005 e 2017, tais valores de classes explicam as mudanças de uso e cobertura do solo na variável APP ($R^2= 0,91$, $p=0,003476<0,05$), ou seja, 91% da variável APP está sendo explicada pelo modelo de regressão linear e dinâmica de mudanças no uso e cobertura do solo na BHRM, com efeito aleatório (erro a qual não foi explicado) de 9% (Figura 3).

Na Figura 3, demonstrada pelo gráfico de distribuição das

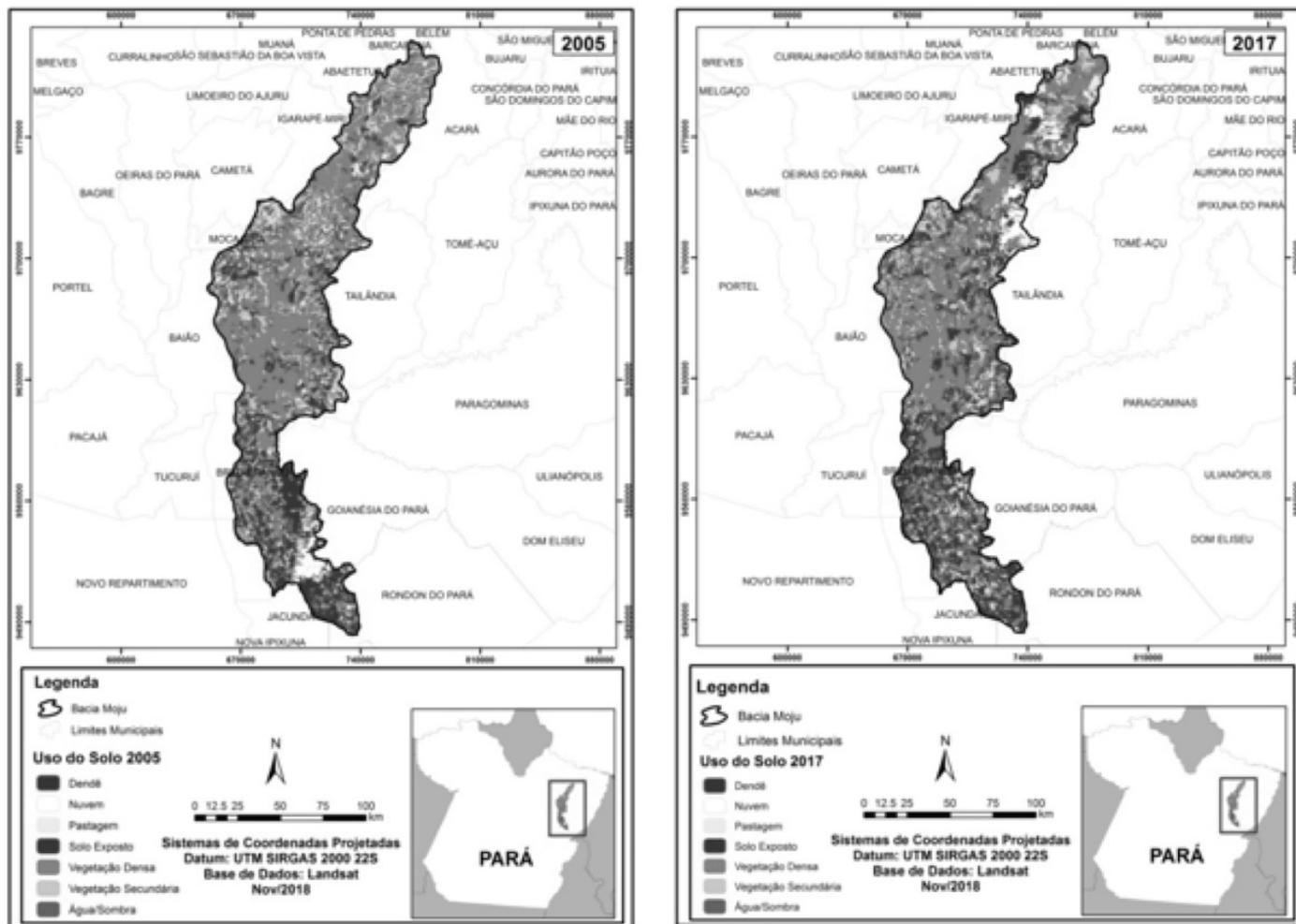


Figura 1. Uso e cobertura do solo na bacia hidrográfica do rio Moju no ano de 2005 e 2017.

classes no *box plot*, a mediana se localiza no centro de cada quadrado (para as variáveis 2005, 2017, APP2005 e APP2017), linha em negrito. A posição da linha mediana informa a assimetria da distribuição. Tanto para os anos de 2005 e 2017 quanto para a APPs, a mediana está próxima ao Q1, representando uma distribuição positivamente assimétrica. A presença de um *outlier* nas variáveis APP2005 e APP2017 configura uma medida discrepante; percebe-se que se tem um ponto representado

Discussão

As áreas de pastagens, em geral, ocupam áreas de vegetação densa, que por sua vez possuem a realocação (*swap*) mais elevada (de 22,62), logo

se trata de uma classe não consolidada e estável que sofre intensas mudanças de localização no tempo e no espaço, e que devido a isso tende com o tempo migra para novas áreas de floresta secundária (Figura 1), cedendo lugar sucessivamente para as áreas de plantio, que possui a menor perda (0,24), a menor permuta de todas as classes (0,09) e a maior mudança líquida para persistência (N_p) de 23,23 ou seja, é a classe com maior tendência a ganhar área das demais classes ao longo do tempo (Tabela II).

Dessa forma, comprova-se o que recursos florestais e hídricos inseridos no contexto geográfico da BHRM são centro de inúmeros impactos ambientais provocados pelo uso do solo e da cobertura vegetal ao longo do tempo, sendo

predominado pela exploração da estrutura florestal existente, pela prática da cultura do dendê, presença incidente da pecuária e ocupação desordenada (Rosa, 2002; Miranda *et al.*, 2016). Tais atividades causam significativa interferência na conservação da biodiversidade local, havendo queda na fertilidade do solo e a acentuação dos processos erosivos como observados por Vanzela *et al.* (2010) e Paungarten *et al.* (2015, 2016), e nas Figura 1 e Tabelas I e II.

O valor elevado de G_p de dendê e depois de vegetação secundária anual evidência maior tendência a mudança, por ganho, do que a persistência dessas classes na estrutura da paisagem. Sendo assim, afirma-se que a classe de dendê é a mais estável e consolidada na região dentro do

período estudado, pois além de não apresentar estagnação das áreas, segue crescendo em relação às outras classes, conforme Tabela II.

Sabe-se que tais características do uso do solo desta região gera inúmeros impactos ambientais diretos e indiretos; estudos como os de Instituto FNP (2010), Almeida (2015), Less *et al.* (2015), Homma (2016), Araújo (2017), IBGE (2017) evidenciam a perda da biodiversidade em regiões com cultivo do dendê, os quais observaram que nas áreas com floresta primária há maiores valores de riqueza de espécies botânicas e faunísticas, enquanto que em regiões com maior incidência da palma de óleo há menores valores, sendo inferiores aos observados em pastagem.

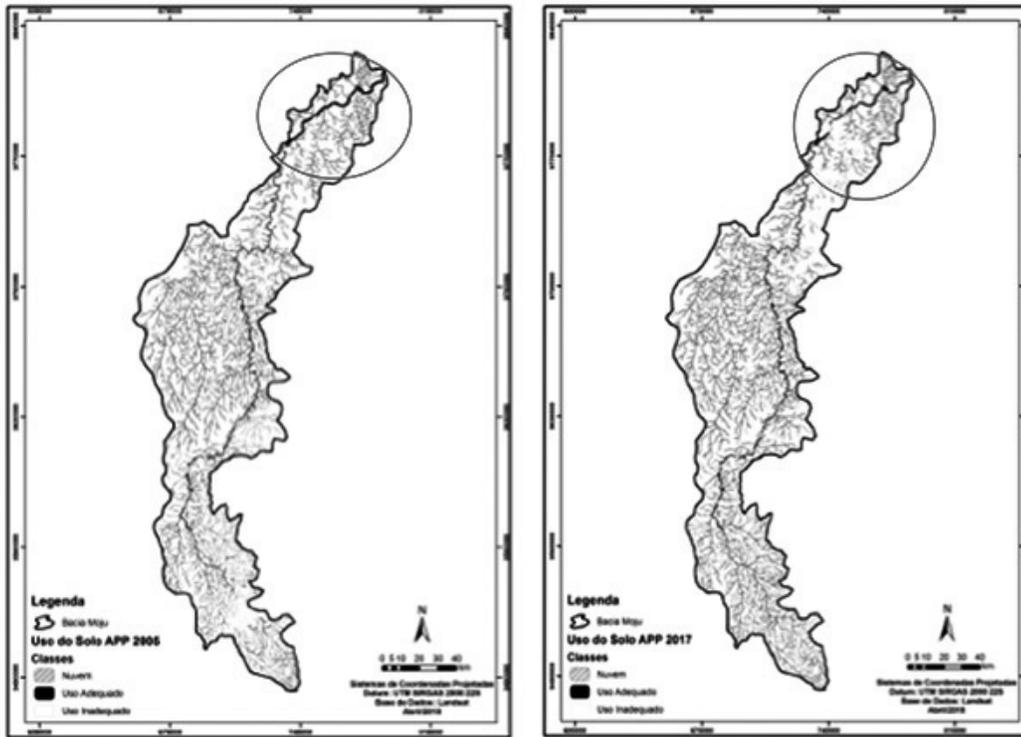


Figura 2. APP da bacia hidrográfica do rio Moju no ano de 2005 e 2017.

Além da fragilidade da conservação da biodiversidade em paisagens com o cultivo do dendê, Almeida (2015) observou que no 2013 a taxa de estoque de carbono variou de 80 a 250t·ha⁻¹ em florestas primárias, que no referido estudo é tratada como vegetação densa e evidencia a classe com a maior perda total e líquida bem como maior permuta ao longo do período estudado, ou seja, apresentou maiores interferências e mudanças na estrutura da paisagem. Por outro lado a palma de óleo atingiu segundo

Almeida (2015) 50t·ha⁻¹, havendo diminuição na riqueza de espécies e estoque de carbono, que assumiu 50% de biomassa acima do solo. No presente estudo tal classe apresenta maior ganho de área de cultivo, estabilidade e tendência ao crescimento ao longo do tempo, quanto as florestas secundárias são áreas de recuperação que detêm riqueza de espécies, (Almeida *et al.*, 2014; Cassol, *et al.*, 2016; Castro e Andrade, 2016), e apresentou significativo ganho de área entre 2005 e 2017.

As florestas em Moju são diversificadas, porém, houve decréscimo do número de espécies arbóreas densas, com o uso intensivo e perda da vegetação densa (Almeida e Vieira, 2014; Berenguer *et al.*, 2014, Silva *et al.*, 2016, Ferreira, 2016, Araújo, 2017). Dentre os usos do solo, a maior variação ocorreu na classe vegetação densa, com valores decrescentes das áreas entre 2005 e 2017 (Figura 1, Tabelas I e II), mostrando indícios significativos de desmatamento e exploração da vegetação nativa e densa,

enquanto que o aumento exponencial da classe de dendê evidenciou a consolidação da cultura na região (Henders *et al.*, 2015; Branford e Torres, 2018), bem como a permanência, no entanto é importante citar que com esse crescimento ocorre a redução dos principais serviços ecossistêmicos nas plantações de dendê, pois tais plantações armazenam menos de 40% do carbono encontrado em florestas nativas (Barlow *et al.*, 2016; Cruz *et al.*, 2018).

Foi registrado perda de 28,29% de vegetação natural das APPs de Moju, e uso da terra na agropecuária e regeneração natural de 8,88% da área de floresta, (Figura 2, Tabelas I e II, Pinheiro *et al.*, 2013; Vieira *et al.*, 2017). O uso inadequado do solo na APP de 186.69km² (Figuras 1 e 2, Tabelas I e II) é apreensivo, pois os remanescentes têm funções indispensáveis na concentração de espécies florestais e biodiversidade.

Além do mais, o Código Florestal citado acima não assegura a reintegração ou recuperação dessas áreas, e tal desmatamento propicia não apenas o processo erosivo, afeta também o escoamento superficial e subsuperficial das águas (Almeida, 2014; Barlow *et al.* 2016). Por isso, com base no estudos aqui observados enfatiza-se os estudos de Lees e Vieira (2013), Nahum e Santos (2015), e Araújo (2017) os quais ressaltam que a dendeicultura não deve ser conceituada como de baixo impacto para a recomposição ecológica das áreas de proteção, segundo autores como Pirker *et al.* (2016), Brito (2017) e Vijay *et al.* (2016), já que plantios homogêneos extensos da espécie não colaboram para a conservação da biodiversidade.

Coutinho *et al.* (2013), reiteram que nas Áreas de Preservação Permanente se aconselha a manutenção da cobertura florestal nativa, pois as mesmas desempenham importantes funções ambientais: preservação dos recursos hídricos, preservação da paisagem, conservação da estabilidade geológica, conservação da

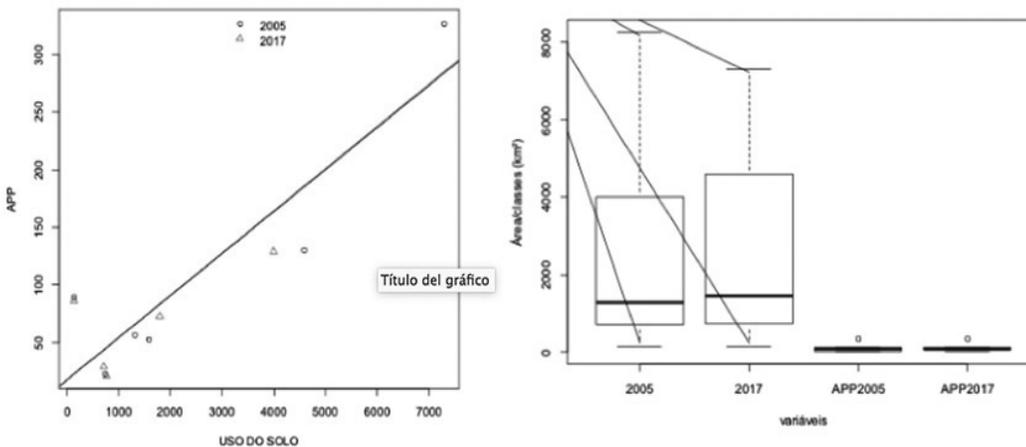


Figura 3. Diagrama de dispersão e box plot de distribuição das classes referentes aos anos 2005, 2017 e APPs..

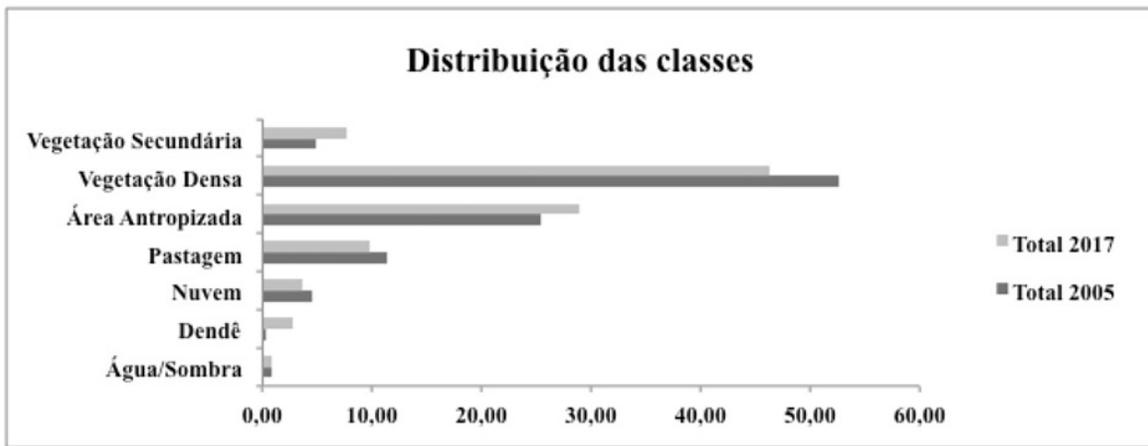
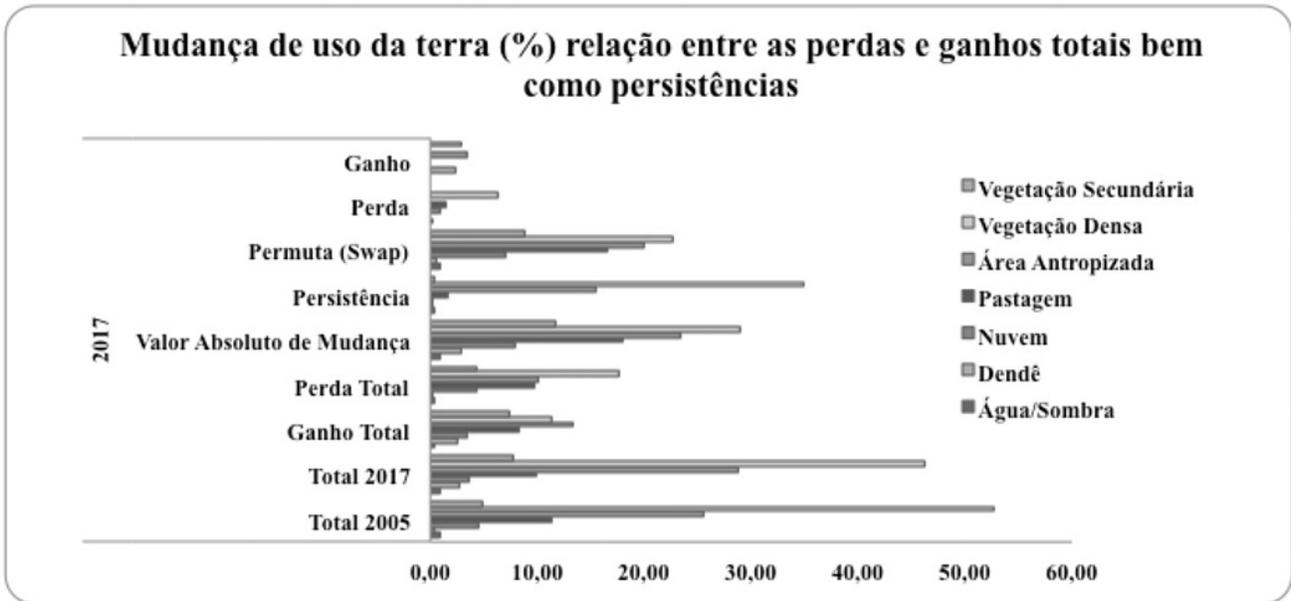


Figura 4 Ganhos, perdas e mudanças das classes estudadas.

biodiversidade e do fluxo gênico de fauna e flora, garantindo assim o bem estar da população humana na proteção do solo; estudos como os de Furumo e Aide (2017), Austin et al. (2017) e Brito (2017) evidenciam que isso influencia nas ações dos processos erosivos.

Sob a lei brasileira, todos os proprietários de terras, inserindo os de plantação de palma, são exigidos em manter 50 a 80% de suas terras com reservas naturais e florestais (Laurance e Williamson, 2001; Nahum e Santos, 2017) no entanto essas leis são desprezadas e dificilmente aplicadas.

Estudo realizado por Carvalho e Domingues (2016), discorrem que o embate da política de controle ao

desmatamento aumenta a quantidade de terra destinada ao uso de floresta natural e causaria queda intensa na produção da agricultura, significando redução em hectares na a área de lavoura no Nordeste Paraense, que tem o setor agrícola como o mais importante em suporte produtivo. Assim apresentando oposição aos resultados encontrados na área de estudo, onde obteve-se um aumento 8,4% na classe de vegetação secundária que explica o manejo dessas áreas por pequenos produtores rurais que também utilizam de suas terras para o cultivo de dendê.

Pereira *et al.* (2016) e Nahum e Santos (2017) constataram que as frações íntegras e completas de biotipologia florestal encontram-se

propriamente pertencentes às margens de recursos hídricos, tornando as APPs primordiais na formação de corredores ecológicos e conservação da fauna e flora.

A classe de vegetação secundária está diretamente relacionada com as práticas agrícolas no período de corte e queima da agricultura tradicional (Vieira, *et al.*, 2017), levando a uma externalidade positiva para a região.

Conclusão

Após análises significativas das classes de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Moju, foi possível entender que o processo de transição e mudanças foi incisivamente elevado após a chegada do

cultivo do óleo da palma nesta região, ocorrendo assim alterações significativas no processo de substituição de áreas de florestas primárias e secundárias em solo exposto, áreas antropizadas e cultivo de dendê, este tendo sua área amplamente acrescida a paisagem da bacia.

Logo os usos nas diferentes classes detectadas tiveram ampla influência de mudanças ocorridas na paisagem da região provocando assim alterações na diversidade ecológica local. Além do mais, a pesquisa permitiu a análise de dados inéditos e consistentes sobre o uso do solo, evidenciando-se a importância das Áreas de Preservação Permanente na conservação da biodiversidade.

De modo geral, ocorreu transições entre os anos de 2005 e 2017, destacando-se a classe área antropizada como maior responsável pelas modificações na fauna e flora. Argumentam-se que ocorreu decréscimo na área de vegetação densa de 6,11% e área de pastagem de 1,4%. A área de vegetação secundária dobrou quando comparado ao ano de 2005. Tal fato se explica devido a economia do dendê e ao crescimento de áreas de cultivo de pequenos produtores rurais, e que a maior variação dentre o uso de solo ocorreu na classe vegetação densa, caracterizando-se como indicadores de desflorestamento.

Constataram-se ainda uso inadequado do solo de 18.268,95ha nas APPs, e que as áreas antropizadas, pastagem e vegetação secundária são os causadores de uso indevido do solo nas APPs, área de suma importância para conservação da diversidade biológica.

Os desempenhos da classificação entre as imagens representadas por valores estatísticos mostraram-se satisfatórios. Há presença de usos antrópicos e incorretos nas áreas de APPs da BHRM e isso pode causar graves impactos, além disso, o crescimento significativo de áreas com o cultivo de dendê sem os devidos cuidados ambientais poderá provocar inúmeras alterações na estrutura dos fluxos gênicos dos ecossistemas da região. É de suma importância que haja o aumento de fiscalização ambiental sobre a cobertura vegetal e o uso do solo em bacias hidrográficas que são consideradas polo de produção de biodiesel, visando ter maior controle sobre a expansão desordenada do dendezeiro em áreas de APPs.

Diante do que foi abordado, o estudo comprova que o uso do solo e m regiões de bacias hidrográficas apresenta grandes mudanças e alterações da conservação da floresta densa pela implantação do cultivo do óleo de palma, que vem crescendo ao longo dos anos, tendo incentivos de produção em regiões

estratégicas da Amazônia legal.

O processo de transição e permanência de classes de uso como floresta primária, áreas antrópicas e dendê têm sido amplamente alterados na última década, tendo áreas de floresta sendo substituídas por cultivo do óleo de palma, diversos impactos ambientais sendo ocasionados pela maximização da atividade nestas regiões, impossibilitando a dispersão de sementes e proliferação de espécies nativas, e levando à extinção das mesmas devido a diminuição da vegetação densa, aumento de áreas antropizadas e progressão da vegetação secundária.

Todavia, faz-se necessário o cumprimento das políticas ambientais vigentes em APPs por parte da sociedade, dos empreendimentos instalados nas bacias hidrográficas, visando minimizar o desflorestamento em nascentes, conservação das áreas de preservação permanente, manutenção das matas ciliares e recomposição florestal. O sensoriamento remoto mostra-se eficaz no monitoramento ambiental e apropriável para construção de medidas preventivas de degradação ambiental em áreas de APPs e uso da terra.

REFERENCIAS

Almeida AS, Vieira ICG, Barros MNR, Rocha DPN (2014) Áreas de endemismo Belém e Xingu: configuração e especialização do uso da terra e da cobertura vegetal. In: Emilio T, Luizão F (Org). *Cenários para a Amazônia: Clima, Biodiversidade e Uso da Terra*. Manaus: Ed. INPA.

Almeida AS (2015) *Mudanças de uso da terra em paisagens agrícolas com palma de óleo (Elaeis guineensis Jacq.) e implicações para a biodiversidade arbórea da Amazônia*. Tese. Universidade Federal do Pará, Belém-PA, Brasil. 115p.

Araújo CTD (2017). *Mudanças na paisagem da região de Tailândia, Estado do Pará, entre os anos de 1985 a 2015*. Tese. Universidade de Brasília. Brasil. 146 pp.

Ausubel DP (1968) Educational

Almeida AS, Vieira ICG (2014)

Conflitos no uso da terra em Áreas de Preservação Permanente em um polo de produção de biodiesel no Estado do Pará. *Rev. Amb. Água* 9: 476-487.

Austin K, Lee M, Clark C, Forester B, Urban D, White L, Kasibhatla P, Poulsen J (2017) An assessment of high carbon stock and high conservation value approaches to sustainable oil palm cultivation in Gabon. *Environ. Res. Lett.* 12: p. 014005.

Barlow J, Lennox GD, Ferreira J, Berenguer E, Lees AC, Nally RM, Thomson JR, Ferraz SFB, Louzada J, Oliveira VHF, Parry L, Ribeiro CSR, Vieira ICG, Aragão LEOC, Begotti RA, Braga RF, Cardoso TM, Oliveira Jr RCO, Souza Jr CM, Moura NG, Nunes SS, Siqueira JV, Pardini R, Silveira JM, Vaz-de-Mello FZ, Veiga RCS, Venturieri A, Gardner TA. (2016) Anthropogenic disturbance in tropical forests can double biodiversity loss from deforestation. *Nature* 535: 144-147.

Benami E, Curran LM, Cochrane M, Venturieri A, Franco R, Kneipp J, Swartos A (2018) Oil palm land conversion in Pará, Brazil, from 2006–2014: evaluating the 2010 Brazilian Sustainable Palm Oil Production Program. *Environ. Res. Lett.* 13(034037).

Berenguer E, Ferreira J, Gardner TA, Aragão LEOC, Camargo PB, Cerri CE (2014) *A large-scale field assessment of carbon stocks in human-modified tropical forest*. Global Change Biology.

Bolfe EL, Pereira RS, Madruga PRA, Fonseca ELD (2004) Avaliação da classificação digital de povoamentos florestais em imagens de satélite através de índices de acurácia. *Árvore* 28: 85-90.

Bordalo CAL, Ferreira CAC, Silva FAO, Moraes, RC (2012) Os desafios da gestão das águas nas metrópoles da Amazônia: uma análise do modelo de gestão pública dos sistemas de abastecimento de água na região metropolitana de Belém – PA. *Geonorte* 3: 1181-1193.

Branford S, Torres M (2018) Desmatamento de dendê na Amazônia brasileira está sob controle, por enquanto. *Mongabay - Jornalismo Ambiental Independente*. <https://pt.mongabay.com/2018/11/desmatamento-de-dende-na-amazonia-brasileira-esta-sob-controle-por-enquanto/>

Brites RS, Soares VP, Ribeiro CAAS (1996) Verificação da

exatidão em classificação de uma imagem orbital mediante a utilização de três índices. *Árvore* 20: 415-424.

Brito B (2017) Potential trajectories of the upcoming forest trading market in Para State, Brazilian Amazon. *PLoS ONE* 12: 1-21.

Brondizio ES, Moran EF (2012) Level-dependent deforestation trajectories in the Brazilian Amazon from 1970-2001. *Popul. Environ.* 34: 69-85.

Carvalho TS, Domingues EP (2016) *Impactos Econômicos e de Uso de solo de uma política de controle de desmatamento na Amazônia Legal Brasileira*. https://www.anpec.org.br/encontro/2014/submissao/files_1/i11-43c40e912d5a429db609e99a2b-8ca9d4.pdf

Cassol HLG, Melo LC, Mendes FS, Fonseca R, Sanquetta CR (2016) Redução de emissões de CO2 pela produção de biocombustíveis a partir de óleo de dendê na Amazônia brasileira. *Floresta* 46: 135-144.

Castro AS, Andrade DC (2016) O custo econômico do desmatamento da floresta amazônica brasileira (1988-2014). *Persp. Econ.* 12: 1-15.

Coutinho LM, Zanetti SS, Cecílio RA, Garcia GO, Xavier AC (2013) Uso da terra e Áreas de Preservação Permanente (APP) na Bacia do Rio da Prata, Castelo-ES. *Flor. Amb.* 20: 425-434.

Cruz AP, Higuchi P, Silva AC, Kilca RV, Dallabrida JP, Souza K, Lima CL, Soboleski VF, Nunes AS, Loebens R (2018) Interação entre paisagem, organização florístico-estrutural e demografia do componente arbóreo em floresta com araucárias. *Ciênc. Flor.* 28: 67-79.

Cruz ES, Carvalho DFD, Varella CA, Silva LD, Souza WJ, Pinto FA (2008) Comparação de classificadores de imagens digitais na determinação da cobertura do solo. *Eng. Agríc.* 28: 237-244.

De Sousa EBML, Rocha JP (2014) Climatologia, variabilidade e tendências do clima atual na Amazônia e em cenários futuros de mudanças climáticas. Em Vieira ICG, Toledo PM, Santos JRRAO (Orgs.) *Ambiente e Sociedade na Amazônia: uma Abordagem Interdisciplinar* Gramond. Rio de Janeiro, Brasil. pp. 151-168.

Ferreira MDP, Coelho AB (2015) Desmatamento recente nos Estados da Amazônia legal: uma análise da contribuição dos preços agrícolas e das políticas

- governamentais. *Rev. Econ. Sociol. Rural* 53: 91-108.
- Ferreira J (2016) Análise comparativa dos métodos de classificação da vegetação NDVI e análise por componentes principais em uma imagem Rapideye. *Cad. Leste* 16(16). <http://www.igc.ufmg.br/portaldoperiodicos/index.php/leste/article/view/1125>.
- Ferreira SCG, Silva LM, Lima AMM, Corrêa JAM (2016) A sustentabilidade hídrica da bacia hidrográfica do rio Moju a partir de indicadores de disponibilidade e demanda. Em Bordalo AL, Silva CN, Silva EV (Orgs.) *Planejamento, Conflitos e Desenvolvimento Sustentável em Bacias Hidrográficas: Experiências e Ações*. GAPTA/UFPA. Belém, Brasil. pp. 20-35.
- Ferreira SCG, Lima AMM, Correa JAM (2017) Zoneamento da bacia hidrográfica do rio Moju (Pará): usos da água e sua relação com as formas de uso e cobertura do solo. *Amb. Água* 12: 680-693.
- Formaggio AR, Sanches IDA (2017) *Sensoriamento Remoto em Agricultura*. Oficina de Textos. São Paulo, Brasil. 285 pp.
- Freitas MIS, Panher AM (2013) *Curso de Classificação de Imagem 1*. UNESP. São Paulo, Brasil. pp. 244-250.
- Furumo PR, Aide TM (2017) Characterizing commercial oil palm expansion in Latin America: land use change and trade. *Environ. Res. Lett.* 12(024008). <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aa5892/pdf>
- Fushita AT, Reis RR, Faresin L, Santos JE (2013) Desempenho da classificação supervisionada em diferentes programas: comparação por meio do uso da terra e do índice de naturalidade da paisagem. *Anais XVI Simp. Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. Foz do Iguaçu, Brasil. pp. 4093-4100.
- Gomes RL, Marques EAG, Franco GB (2017) Aptidão da Bacia Hidrográfica do Rio Almada diante da implantação de áreas para disposição ambiental de rejeitos. *Eng. Sanit. Amb.* 22: 731-747.
- Henders S, Martin Persson U, Kastner T (2015) Trading forests: land-use change and carbon emissions embodied in production and exports of forest-risk commodities. *Environ. Res. Lett.* 10(12): 125012.
- Homma AKO, Vieira ICG (2012) Colóquio sobre dendezeiro: prioridades de pesquisas econômicas, sociais e ambientais na Amazônia. *Amaz. Ciênc. Desenvolv.* 8(15): 79-90.
- Homma AKO (2016) *Histórico do Desenvolvimento de Híbridos Interspecíficos entre Caiaué E Dendezeiro*. Embrapa Amazônia Oriental. Belém, Brasil. 34 pp.
- IBGE (2017) *Cidades*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, Brasil. <https://cidades.ibge.gov.br/>
- Instituto FNP (2010) *Anualpec 2010: Anuário de Pecuária Brasileira*. São Paulo, Brasil.
- INPE (2017) *Projeto PRODES*. Programa Amazônia. Coordenadoria Geral de Observações da Terra. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, Brasil.
- Laurance WF, Williamson GB (2001) Positive feedbacks among forest fragmentation drought, and climate change in the Amazon. *Conserv. Biol.* 15: 1529-1535.
- Lees AC, Moura NG, Almeida AS, Vieira ICG (2015) Poor prospects for avian biodiversity in Amazonian oil palm. *PLoS ONE* 10(e0122432).
- Less AC, Vieira ICJ (2013) Oil palm concerns in Brazilian Amazon. *Nature* 497: 188.
- Martins MEG (2014) Coeficiente de Correlação Amostral. *Rev. Ciênc. Element.* 2(02): 0069.
- Miranda CSC, Rosa L, Gonçalves N, Oliveira F, Bonito J (2016) Impactos ambientais na microcuca del río Parafuso, Amazonas oriental, Brasil. *Gest. Amb.* 19: 123-140.
- Nahum JS, Santos CB (2015) Uma interpretação geográfica da dendeicultura na Amazônia paraense. *Rev. ANPEGE* 11(15): 309-331.
- Nahum JS, Santos CB (2015) Impactos socioambientais da dendeicultura em comunidades tradicionais na Amazônia paraense. *ACTA Geogr.* (Ed. Esp): 63-80.
- Nahum JS, Santos CB (2017) Do sítio camponês ao lote de dende: transformações do espaço rural na Amazônia paraense no século XXI. *Rev. NERA* 37.
- Pará (2012) *Política De Recursos Hídricos do Estado do Pará*. Secretaria de Estado de Meio Ambiente. Belém, Brasil.
- Pará (2016) *Estatísticas Municipais Paraenses: Moju*. Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas. Diretoria de Estatística e de Tecnologia e Gestão da Informação. Belém, Brasil.
- Paungartten SPL, Bordalo CAL, Lima AMM (2015) Saneamento e condições socioeconômicas de bacias hidrográficas: um estudo de caso na região metropolitana de Belém - PA. *GeoAmazônia* 3(6): 83-95.
- Paungartten SPL, Bordalo CAL, Lima AMM (2016) Análise evolutiva da paisagem da bacia hidrográfica do rio Benfica (PA): processos, dinâmica e tendências. *Amb. Educ.* 21: 87-107.
- Pereira BWF, Maciel MNM, Oliveira FA, Alves MAMS, Ribeiro AM, Ferreira BM, Ribeiro EGP (2016) Uso da terra e degradação na qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, PA, Brasil. *Amb. Água* 11: 472-485.
- Pereira SEM (2013) Análise estratégica do zoneamento agroecológico como instrumento de ordenamento territorial setorial rural e sua aplicação em modelos de mudança de uso e cobertura da terra. Tese. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Brasil. 166 pp.
- Pinheiro PFV, Soares JAC, Neto PBS (2013) Desmatamento em unidades de conservação de proteção integral: O caso da Reserva Biológica do Gurupi - Ma. *Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Foz do Iguaçu, PR, Brasil.
- Pirker J, Mosnier A, Kraxner F, Havlik P, Obersteiner M (2016) What are the limits to oil palm expansion? *Global Environ. Change* 40: 73-81. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959378016300814>
- Ribeiro BMG, Fonseca LMG, Kux HJH (2011) Mapeamento da cobertura do solo urbano utilizando imagens Worldview-ii e o sistema interimage. *Rev. Bras. Cartogr.* 63: 51-63.
- Rodrigues MT (2015) *Comportamento de Sistemas de Informações Geográficas por Meio de Classificação Supervisionada em Diferentes Bacias Hidrográficas*. Tese. Universidade Estadual Paulista. Brasil. 192 pp.
- Rosa LS (2002) *Limites e Possibilidades do Uso Sustentável dos Produtos Madeireiros e Não Madeireiros na Amazônia Brasileira: O Caso dos Pequenos Agricultores da Vila Boa Esperança, em Moju, no Estado do Pará*. Tese. Universidade Federal do Pará. Brasil. 304 pp.
- Santos WA, Almeida AQ, Cruz JF, Mello AA, Santos RB, Loureiro DC (2017) Conflito de uso da terra em áreas de preservação permanente da bacia do rio Piauitinga, Sergipe, Brasil. *Rev. Ciênc. Agrar.* 60(1): 19-24.
- Shimabukuro YE, Ponzoni FJ (2017) *Mistura Espectral: modelo linear e aplicações*. Oficina de Textos. São Paulo, Brasil. 127 pp.
- Silva AKL (2016) *Impacto da expansão da palma de óleo sobre o escoamento superficial e produção de sedimentos nas sub-bacias hidrográficas não monitoradas dos rios Bujaru e Mariquita no nordeste do estado do Pará, Amazônia Oriental*. Tese. Universidade de São Paulo. São Carlos-SP, Brasil.
- Silva EM (2016) *Expansão da dendeicultura e Transformações nos Sistemas de Produção Familiares na Amazônia Oriental*. Tese. Universidade Federal do Pará, Brasil. 122pp.
- Silva MRN, Gonçalves ACA, Silva Junior A, Nanni MR, Facco CU, Cezar E, Da Silva AA (2016) NDVI response to water stress in different phenological stages in culture bean. *J. Agron.* 15: 1-10.
- Vale JRB, Costa JÁ, Santos JF, Silva ELS, Favacho AT (2018) Análise comparativa de métodos de classificação supervisionada aplicada ao mapeamento da cobertura do solo no município de Medicilândia, Pará. *InterEspaço* 4(13): 26-44.
- Valencia LIO (2008) *Enfoque da Estatística Espacial em Modelos Dinâmicos de Mudança do Uso do Solo*. Tese. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Brasil. 93 pp.
- Vanzela LS, Hernandez FB, Franco RAM (2010) Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. *Rev. Bras. Eng. Agric. Amb.* 14: 55-64.
- Vieira ICG, Aleixo A, Mauês M, Miranda I (2017) *Relatório Final 2009-2016*. Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Biodiversidade e Uso da Terra. Museu Paraense Emílio Goeldi. Belém, Pará. 250 pp.
- Vijay V, Pimm SL, Jenkins CN, Smith SJ (2016) The impacts of oil palm on recent deforestation and biodiversity loss. *PLoS ONE* 11(7): e0159668.
- Villela AA, Jaccoud D, Rosa LP, Freitas MV (2014) Status and prospects of oil palm in the Brazilian Amazon. *Biomass Bioenergy* 67: 270-278.