ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Alterações na Paisagem e seus Efeitos Sobre as Áreas de Preservação Permanente em Bacias Hidrográficas no Nordeste do Estado do Pará

Adênio Miguel Silva da Costa¹, Aline Maria Meiguins de Lima², Milena Marília Nogueira de Andrade³

¹ Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Ciência Ambientais da Universidade Federal do Pará (UFPA). Rua Augusto Corrêa, nº 1, Guamá, Belém, Pará, Brasil, 66075-110. adeniomsc@gmail.com (autor correspondente). ² Professora, Doutora do Instituto de Geociências e do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Pará (UFPA). Rua Augusto Corrêa, nº 1, Guamá, Belém, Pará, Brasil, 66075-110. ameiguins@ufpa.br. ³ Professora, Doutora do Instituto Ciberespacial da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA). Av. Presidente Tancredo Neves, nº 2501, Terra Firme, Belém, Pará, Brasil, 66.077-830. milena.andrade@ufra.edu.br.

Artigo recebido em 07/08/2019 e aceito em 24/12/2019

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi estudar os efeitos das alterações na paisagem sobre os recursos hídricos em bacias hidrográficas do nordeste paraense, como consequência do processo de urbanização e de mudanças de uso e cobertura da terra. Para tanto, foram selecionadas quatro mesobacias na porção mais populosa do estado, área de influência de sua capital Belém. Através da aplicação de técnicas de sensoriamento remoto, inicialmente, foi quantificada a área florestal por bacia, com imagens do satélite RapidEye, no período de 2011 a 2015; os resultados mostraram progressiva perda de área florestal nos quatro casos, sobretudo para as mesobacias dos rios Caraparu e Tauá. Em seguida, a estrutura da paisagem foi analisada mediante o uso da métricas, as quais revelaram aumento da fragmentação e diminuição das maiores manchas; o que tem efeito direto sobre a biodiversidade desses habitats. Uma terceira etapa compreendeu a delimitação de áreas de preservação permanente (APP) e a análise de área de conflito de uso da terra em seu território, nos moldes das faixas marginais mínimas estipuladas pelo Código Florestal Brasileiro (Lei Federal nº 12.651/2012). Os dados evidenciaram que as APP de menor extensão, relacionadas a rios menores que 10 m, e aquelas ao redor de nascentes de cursos d'água são as mais afetadas pelo processo de desenvolvimento urbano, já que estão mais próximas dos centros das cidades e sob influência da malha viária. As informações mostraram a importância do monitoramento espacial das bacias hidrográficas no meio urbano, como auxílio ao planejamento e gestão dos recursos hídricos.

Palavras-chave: urbanização, mudanças de uso e cobertura da terra, sensoriamento remoto.

Changes in Landscape and its Effects on Permanent Preservation Areas in Hydrographic Basins in the Northeast of Pará State

ABSTRACT

The objective of this research was to study the effects of changes in the landscape on water resources in watersheds in northeastern Pará as a consequence of the urbanization process and changes in land use and land cover. Therefore, four mesobasins were selected in the most populous portion of the state, area of influence of its capital Belém. The application of remote sensing techniques initially quantified the forest area by basin, with images of the RapidEye satellite, during the 2011 to 2015; the results showed a progressive loss of forest area in the four cases, especially for the Mesobasins of the Caraparu and Tauá rivers. Then, the landscape structure was analyzed using metrics, which revealed increased fragmentation and decrease of the larger patches; which has a direct effect on the biodiversity of these habitats. A third stage comprised the delimitation of permanent preservation areas (APP) and the analysis of the land use conflict area in its territory, according to the minimum marginal ranges stipulated by the Brazilian Forest Code (Federal Law nº 12.651/2012). The data showed that the smaller APP, related to rivers smaller than 10 m, and those around water source springs are the most affected by the urban development process, since they are closer to the cities' centers and under the influence of the road network. The information showed the importance of the spatial monitoring of watersheds in urban areas, as an aid to the planning and management of water resources.

Keywords: urbanization, land use change and land cover, remote sensing.

Introdução

Várias variáveis são apontadas como motivadoras das alterações promovidas na paisagem da região amazônica. Entre elas, destaca-se o desenvolvimento urbano, acompanhado do crescimento populacional, o desmatamento como resultado do avanço da fronteira agrícola e a perda de habitats em razão do aumento das queimadas (Mello e Artaxo, 2017; Vieira et al., 2018). A conversão de áreas de floresta em pastagem e vegetação secundária tem sido a principal transformação no padrão espacial da paisagem amazônica (Almeida et al., 2016).

A paisagem se caracteriza pela sua heterogeneidade, formada por unidades interdependentes quando analisadas sobre uma determinada escala de observação (Arroyo-Rodríguez et al., 2015). Onde, a Estrutura é uma de suas três características fundamentais, pois, é caracterizada pela relação espacial entre os elementos (fluxos de energia, matéria e espécies) e as diversas formas, tamanhos, quantidades e tipologias dos ecossistemas; influenciando na Função desses componentes e as Mudanças que ocorrem nos dois primeiros ao longo do tempo. Sendo esses o escopo da ecologia da paisagem (Ribeiro et al., 2019).

O estudo da fragmentação da paisagem é um campo comum nesse ramo da ecologia, onde o desmatamento exerce efeitos diretos sobre a perda de habitats e, conseqüentemente, gera impactos sobre a biodiversidade. Por tanto, a ação humana é determinante para essas modificações, com respostas ecológicas recíprocas que podem ser analisadas sobre diversas dimensões espaciais e temporais. Para essa finalidade a quantificação de índices da paisagem, auxiliada pela análise de imagens de satélite, fornece referências indispensáveis para o monitoramento dos ecossistemas terrestres (Christensen et al., 2017).

Esse estudo perpassa pelos três componentes principais da paisagem: a matriz, as manchas e os corredores. As manchas e os corredores da paisagem estão inseridos na matriz, o seu elemento de maior dimensão territorial, que representa um ecossistema natural ou artificial, conhecidos como agroecossistemas. As manchas têm formação aproximadamente homogênea, distinta da matriz que as contém. E os corredores interligam duas manchas de mesma formação através de faixas contínuas (Christensen et al., 2017). Como exemplo, tem-se a área de estudo do referido trabalho, onde um ecossistema outrora formado, essencialmente, por uma matriz de floresta tropical, deu lugar a manchas desse mesmo

ecossistema, inseridas numa matriz dominada por pastagens.

A vegetação, em diversos estágios de desenvolvimento, localizada nas margens dos cursos d'água recebe a denominação de zona ripária; um ecossistema característico, constituído não só pela composição arbórea, como também pelo solo e o pelo próprio recurso hídrico. Também são ecótonos, ecossistemas de transição, entre os ecossistemas aquático e terrestre. São áreas de importância não só para o meio físico como também para o biótico. Elas têm relevância no regime hidrológico das bacias, pois, influenciam no escoamento superficial e subsuperficial, além de controlar a erosão das margens dos rios, a temperatura e qualidade da água, como um efeito tampão, assim como, serem apresentarem críticas para o estudo da paisagem (Nunes et al., 2019).

É na relação entre modificações da paisagem, na forma de mudanças de uso e cobertura da terra (LUCC, na sigla em inglês), e seus efeitos sobre os recursos hídricos, através da análise da dinâmica da zona ripária, através das Áreas de Preservação Permanente (APP), que o presente estudo está inserido. Partindo do pressuposto de avanço da perda de área florestal em virtude da urbanização, o objetivo foi estudar como esse panorama afeta as bacias hidrográficas de dimensão intermunicipal, chamadas de mesobacias.

Material e Métodos

Caracterização da área de estudo

A Mesorregião Metropolitana de Belém (MRMB), segundo a divisão regional do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 1990), é formada por onze municípios, sendo eles: Ananindeua, Barcarena, Belém, Benevides, Bujaru, Castanhal, Inhangapi, Marituba, Santa Bárbara do Pará, Santa Izabel do Pará e Santo Antônio do Tauá. Ocupa a extensão territorial de cerca de 6.890,61 km², entre as latitudes de 01°00' a 01°50' Sul e longitudes de 47°40' a 48°50' Oeste. E, sua população passou de 774.288 habitantes em 1970 para 2.438.297 habitantes em 2010. Nesse mesmo período, a população urbana correspondia a 26,41% e a rural a 73,59%, de modo recíproco, passando a 55,75% e 44,25% no fim do intervalo. Por exemplo, no município de Castanhal a população urbana representava 67,71% dos seus 37.910 habitantes em 1970, alterando-se para 88,58% dos 173.149 habitantes em 2010. A densidade populacional média da MRMB era de 509,15 hab./km² no último censo, com Ananindeua apresentando o valor máximo de 2.477,55 hab./km² e Inhangapi o valor mínimo de 21,29 hab./km². O Índice de

Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM) médio era de 0,653 em 2010, sendo Belém o maior valor (0,746) e Bujaru o menor (0,552) (IBGE, 2010).

A Figura-1 mostra a localização dos municípios da MRMB, bem como a das mesobacias hidrográficas (MBH), que pela classificação de Singh (1995) são bacias de tamanho médio com extensão territorial entre 100 km² e 1.000 km². Com

forma de compatibilizar os resultados de LUCC da mesobacias com outros dados espaciais contendo informações populacionais para estudos subsequentes, adotou-se os limites da grade estatística do IBGE, que contém informações de habitantes por área de cada célula, tendo como referência somente a grade a qual pelo menos uma parte da célula fosse cortada pelo divisor topográfico da referida bacia.

Figura 1: Localização da área de estudo e mesobacias hidrográficas.

A Tabela-1 mostra a extensão de cada mesobacia e sua representação por município. A mesobacia hidrográfica do rio Apeú (MBHA) é a menor das quatro bacias de estudo e tem a maior parte de seu território inserido no município de Castanhal, porém seu exutório está sobre o domínio de Inhangapi. Quase toda a extensão da mesobacia hidrográfica do rio Caraparu (MBHC) está inserida na cidade de Santa Izabel do Pará, estando parte menos significativas sobre Benevides. Relação que também existe entre a mesobacia hidrográfica do rio

Guajará-Açu (MBHG) e a cidade de Bujaru, porém, entre todas as unidades de estudo, essa é aquela onde a sede municipal tem menos influências sobre as alterações da paisagem, como será visto, devido seu distanciamento. Já a mesobacia hidrográfica do rio Tauá (MBHT) é aquela que tem a área mais integrada entre municípios, no caso, as maiores parcelas estando nas cidades de Santo Antônio do Tauá (44,67%), Santa Izabel do Pará (30,27%) e Santa Bárbara do Pará (23,80%), são mais representativas.

Tabela 1: Área, perímetro e porcentagem de área de mesobacia por município.

Mesobacias	Área (km ²)	Perímetro (km)	Área das mesobacias por município (%)
MBHA	316,47	88,88	Castanhal (76,51), St. Izabel (14,03) e Inhangapi (9,46).
MBHC	407,87	97,02	St. Izabel (98,27), Benevides (1,57) e Castanhal (0,17).
MBHG	352,53	101,67	Bujaru (98,21) e Acará (1,79).
MBHT	415,66	105,29	Tauá (44,67), St. Bárbara (23,80), St. Izabel (30,27) e Castanhal (1,26).
Média	373,13	98,21	-

Base de dados

Os dados utilizados incluem a Base Hidrológica Ottocodificada Multiescalas de 2017 da Agência Nacional de Águas (ANA), de onde derivam os limites físicos das bacias e os cursos d'água. Também, imagens da constelação de satélites RapidEye dos anos de 2011 e 2015, oriundas do Geocatálogo do Ministério do Meio Ambiente (MMA). Essas imagens possuem 12 bits de resolução radiométrica e 5 metros de resolução espacial ortorretificadas, compatível com a escala cartográfica de 1:20.000 (Costa et al., 2017). Além, dos limites municipais e centros urbanos do IBGE.

Análise de Imagens Baseada em Objetos Geográficos

Sobre os dados do RapidEye foi aplicada a técnica de Análise de Imagens Baseada em Objetos Geográficos (GeoBIA, na sigla em inglês, *Geographic Object-Based Image Analysis*), através do software eCognition[®] 9, com o objetivo de determinar as áreas de remanescentes florestais nas bacias hidrográficas e, a partir destas, as alterações na paisagem. A GeoBIA é um método de classificação supervisionada, o qual se caracteriza pela segmentação da imagem em objetos, compostos por *pixels*, que reúnem atributos similares de uma determinada classe pré-definida (Chen et al., 2018).

Diferente dos métodos de pixel-a-pixel, que se valem das características espectrais de cada um desses, o baseado em objetos leva em consideração outros parâmetros como localização, forma, textura e vizinhança dos objetos. A segmentação é a primeira etapa do processo e é responsável por fornecer informações ao algoritmo de classificação como tamanho e localização dos objetos. Essa etapa é feita através do algoritmo multiresolution segmentation, onde há três parâmetros de entrada: *scale parameter* (parâmetro de escala), que defini o tamanho dos segmentos, quanto maior o valor adicionando maior o tamanho

dos objetos; *shape* (forma), define a homogeneidade da textura dos objetos; e *compactness* (compacidade), é um dos parâmetros para o fator de forma, restringindo a forma dos segmentos para serem compactos e suaves quando forem grandes ou pequenos, respectivamente (Ming et al., 2015). Após uma série de testes adotou-se como limiares de parâmetro de escala em 200, forma em 0,3 e compacidade em 0,8.

As etapas posteriores incluem a configuração dos parâmetros de classificação, através da seleção do algoritmo específico desse processo, assim como, das bandas a serem consideradas e a coleta das amostras (objetos) de treinamento. Os procedimentos pós-classificação consistem na exportação dos resultados para um software, no caso o ArcGIS[®] 10.1, de análise e quantificação dos resultados.

Métricas de paisagem

Na determinação da extensão da zona ripária, foram empregadas métricas baseadas nos oito grupos de categorias calculadas pelo software Fragstats descritas em McGarigal e Marks (1995). Além daquelas indicadas em pesquisas realizadas por outros autores na região (Tamassauskas et al., 2016; Souza et al., 2017; Peres et al., 2018).

As métricas de paisagem, descritas na Tabela 2, corresponderam a de: Porcentagem da Paisagem (%LAND), que determina a área que uma dada classe ocupa em relação à área total da paisagem; Número de Fragmentos (NP), sendo o número total de fragmentos de uma classe ou de toda a paisagem; Índice da Maior Mancha (LPI), que representa o quando da classe ou da paisagem é ocupado pela maior mancha, dada em porcentagem; e, Índice de Forma da Paisagem (LSI), o qual relaciona perímetro e área das manchas de uma classe, indicando a sua irregularidade. Sendo, %LAND o próprio resultado de quantificação da classe floresta.

Tabela 2: Descrição das métricas de paisagem.

Métrica	Equação	Conceito	Nº/Variação/Unidade
Porcentagem da Paisagem (%LAND)	$\% LAND = \left(\frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} \right) \times 100$	Área que uma determinada classe ocupa em relação à área total da paisagem.	Equação 1: $0 < \%LAND \leq 100$ (%)
Número de Manchas (NP)	$NP = n_i$	Número de manchas totais que formam uma classe ou todas as manchas que constituem a paisagem.	Equação 2: $NP \geq 1$ (Unidade)
Índice da Maior Mancha (LPI)	$LPI = \frac{\max_{j=1}^n a_{ij}}{A} \times 100$	Representa o quanto da classe ou da paisagem é ocupado pela maior macha.	Equação 3: $0 < LPI \leq 100$ (%)
Índice de Forma da Paisagem (LSI)	$LSI = \frac{0,25 \times \sum_{k=1}^m e_{ik}''}{\sqrt{A}}$	Relaciona perímetro e área das manchas de uma classe, indicando a irregularidade das manchas.	Equação 4: $LSI \geq 1$ (Adimensional)

Fonte: McGarigal e Marks (1995).

Área de Preservação Permanente

A delimitação das APP foi feita com base nas especificações do Código Florestal Brasileiro, lei nº 12.651/2012, que em seu Art. 4º estabelece as faixas marginais mínimas para essas áreas em cursos d'água das zonas urbana e rural, conforme sintetizado na Tabela 3. As faixas foram firmados a partir da ferramenta buffer do ArcGIS® 10.1 Neste, utilizou-se a base cartográfica da ANA e as imagens

do RapidEye, para efeito de visualização e ajuste. Primeiramente, definiu-se os limites territoriais das mesobacias, então é dimensionada a sua rede hidrográfica. Em seguida os rios foram categorizados de acordo com a sua extensão e se estabeleceu o tipo de APP de cada um deles. Por fim, fez-se o recorte da classe de floresta pela dimensão das faixas marginais e, em seguida, a quantificação dos polígonos.

Tabela 3: Faixas marginais mínimas de APP, em metros.

Tipo de APP	Faixa Marginal Mínima
Cursos d'água < 10 m	30 m
Cursos d'água 10 – 50 m	50 m
Cursos d'água 50 – 200 m	100 m
Cursos d'água 200 – 600 m	200 m
Cursos d'água > 600 m	500 m
Lagos e lagos naturais > 20 ha (zona rural)	100 m
Lagos e lagos naturais ≤ 20 ha (zona rural)	50 m
Lagos e lagos naturais (zona urbana)	30 m
Nascentes e olhos d'água perenes	50 m

Fonte: Código Florestal Brasileiro, lei nº 12.651/2012.

De posse das informações espaciais de área florestal e das faixas marginais mínimas, foram quantificadas as áreas de conflito em APP, consideradas como aquelas em que a cobertura florestal da zona ripária dentro dessas faixas foi substituída por cobertura ou uso da terra distinto.

Conforme discutido por Nunes et al. (2019), o código florestal anistiu regiões já desmatadas até julho de 2008, logo, como a presente análise ocorre de 2011 a 2015, as alterações apresentadas são todas classificadas como de conflito de uso. Além disso, os autores compararam os resultados obtidos entre

imagens Landsat e RapidEye, encontrados resultados mais precisos de medição da cobertura florestal, especialmente, em faixas menores de APP.

Resultados e Discussão

A quantificação dos resultados da GeoBIA mostrou redução da área florestal, no período considerado, para todas as mesobacias hidrográficas, como ilustra a Figura-2. Mais intensamente na bacia do rio Caraparu, onde houve

perda de 35,21 km² da classe Floresta, seguida pela do Tauá com 24,12 km², Guajará-Açu com 18,47 km² e Apeú onde ocorreu a diminuição menos significativa de 0,75 km². Porém, apesar da menor variação vista nessa última área, identifica-se que a mesobacia do Apeú possui a menor cobertura florestal, em torno de 38%, aproximadamente. Assim como, em 2015 a unidade como maior cobertura era a do Tauá, com um pouco mais de 50% de sua área total; onde as demais apresentam remanescentes florestais inferiores a esse limite.

Figura 2: Variação da cobertura florestal nas mesobacias hidrográficas (2011-2015).

Os mapas das Figura 3 e 4 apresenta a localização das alterações, da mesma forma como as áreas mais perturbadas. De modo geral, as principais perdas de vegetação nativa ocorreram em torno dos núcleos urbanos, das sedes municipais, e de outras localidades situadas ao longo das rodovias. Esse padrão de desmatamento a partir da abertura de estradas e crescimento populacional, vem sendo observado na região amazônica desde meados das décadas de 1960 e 1970 (Vieira et al., 2018).

Também, no contexto do nordeste paraense e da MRMB, o desenvolvimento urbano alicerçado sobre a trajetória da estrada de ferro Belém-Bragança, promoveu a municipalidade do estado, através da criação de vários municípios ao longo de seu percurso e área de influência; da mesma forma como a metropolização da capital do Pará, com a expansão do centro urbano para as cidades vizinhas (Trindade Jr., 2016; Trindade Jr. e Barbosa, 2016).

Os eixos rodoviários que interligam as localidades, como a BR 316 e a PA 140, são evidenciados por esses resultados como significativos promovedores do desmatamento na mesobacias hidrográficas. Assim como, fica claro

que grande parte dos remanescentes florestais estão na zona ripária; justificando a importância da análise da paisagem para a gestão desses recursos hídricos, como também da análise de seus principais mecanismos de alteração, como mostrado em outros estudos (Nunes et al., 2015; Leal et al., 2017; Santos e Lima, 2018; Nunes et al., 2019).

Analisando com mais detalhes cada caso, na MBHA observa-se uma redução mais acentuada da cobertura vegetal nas proximidades da sede municipal e às margens das principais rodovias, destacando-se a BR-316, conforme apontado por Vale e Bordalo (2017). Os autores também salientam a atividade agrossilvopastoril como promotora de LUCC, com destaque para as culturas da pimenta-do-reino (*Piper nigrum* L.) e do dendê ou palma de óleo (*Elaeis guineensis*).

Na MBHC, as alterações da paisagem também são significativas na parte mais desenvolvida economicamente do município de Santa Izabel, entretanto, também há áreas sem cobertura florestal fora dessa região, principalmente, na zona rural através da agricultura de pequena escala; com destaque para as culturas da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) e do já

menção dendê (Alves et al., 2018). Trabalho semelhante para o nordeste paraense verificou a expansão do óleo de palma e a implantação de empreendimentos industriais nos últimos 25 anos

como uma dinâmica socioeconômica que gerou um recorte espacial na paisagem da região (Coelho et al., 2018).

Figura 3: Área florestal na mesobacias dos rios Apeú e Caraparu.

Também, nas mesobacias hidrográficas do Guajará-Açu e Tauá, observa-se a significativa influência da produção do dendê, como visto nos demais casos. Como destacam Nahum e Santos (2016), os municípios que contêm essas bacias têm histórico de produção dessa cultura, principalmente,

Santa Bárbara do Pará e mais recentemente, Bujaru. No caso da MBHG modificações mais significativas na fronteira com as cidades de Acará e Concórdia do Pará, assim como, ao longo da rodovia PA-140 Perna Leste. Já na MBHT as

alterações da paisagem são mais intensas na área de influência da sede municipal.

Figura 4: Área florestal na mesobacias dos rios Guajará-Açu e Tauá.

De acordo com a proposta metodológica, além das alterações na paisagem sobre termos de

mudanças de uso e cobertura da terra, a sua estrutura foi analisada mediante o estudo das métricas

propostas. Os resultados mostram que NP aumenta de 2011 para 2015 em quase todas as mesobacias, indicando elevação da fragmentação da paisagem. A exceção foi a bacia do Tauá, onde a fragmentação diminuiu. Pelo mapa de distribuição da área florestal, observa-se que na sua porção oeste essa classe se distribui de forma contínua, prioritariamente, em torno de seu exutório, contribuindo para essa redução. A Figura-5 mostra os resultados dessa e das demais métricas. Em números totais, Apeú e Guajará-Açu em 2015 apresentaram os valores mais elevados, com 368 e 361 fragmentos, respectivamente.

Os resultados de LPI vem corroborar os mostrados por NP, sobre o aumento da fragmentação da paisagem. Em quase todas as áreas esse índice diminuiu, indicando que a área ocupada pela maior mancha da paisagem foi reduzida, notadamente na bacia do rio Caraparu e Tauá. Nessas, é visto pelo mapa de cobertura que as maiores manchas estão na faixa próximas aos seus exutório e que estão áreas sofreram perdas de vegetação do início para o final do período.

Figura 5: Resultados das métricas de paisagem da classe florestal.

Reforçando as análises de mudanças na cobertura e estrutura de paisagem, os resultados sobre as condições efetivas das APP revelaram diminuição progressiva da cobertura florestal e aumento de áreas de conflito de ocupação da terra para a maioria da MBH. Apeú foi um caso à parte nessa lógica, seus resultados podem ter sido influenciados pela elevada cobertura de nuvens sobre as APP. Como mostraram Vale e Bordalo (2017), a MBHA apresenta números crescentes de alterações da cobertura florestal, devido a sua substituição pelas atividades agrossilvopastoris, assim como citado anteriormente.

A Figura-6 traz esses resultados, além do quais, também se pode constatar que as APP de

nascentes e as com faixa de até 30 m, para rios menores que 10 m, são as mais afetadas pelas modificações na cobertura da terra das bacias hidrográficas. Uma possível explicação seria o fato de esses grupos serem os que estão mais próximos dos centros urbanos e de outros elementos motivadores das perdas de cobertura florestal, principalmente, a malha viária. De forma oposta, aquelas mais afastadas de áreas densamente povoadas sofreram redução menos significativa de sua cobertura.

Figura 6: Áreas de floresta e de conflito por faixa de APP, em hectares.

Portanto, fica determinada a influência das LUCC sobre os recursos hídricos nas bacias hidrográficas. Outros estudos, como de Ferreira et al. (2017), mostram que as formas de uso da terra e da água se inter-relacionam no contexto das bacias hidrográficas, para o estudo de diversos componentes do espaço, como aqueles inseridos no zoneamento, que engloba, entre outros, APP, Reservas Legais (RL) e diversos impactos socioeconômicos.

Esses resultados ressaltam o impacto do crescimento das cidades sobre os seus recursos hídricos, especialmente, em relação aos cursos d'água mais vulneráveis a esses, como é o caso das nascentes e pequenos córregos tratados anteriormente. Pereira et al. (2016), associaram as mudanças de uso e cobertura da terra à alterações na qualidade da água na bacia do rio Peixe Boi, determinando que classes de uso como área urbana, agricultura e pastagem estão entre as principais causas de deterioração dos parâmetros de qualidade.

Conclusão

A partir da metodologia proposta, em primeira análise, os resultados mostraram aumento

da perda de cobertura florestal para as quatro mesobacias hidrográficas observadas, no período de 2011 a 2015. Evidenciou-se que as mudanças de uso e cobertura da terra foram mais significativas em certas regiões dessas áreas, notoriamente, para aquelas localizadas próximas aos centros urbanos e da rede viária.

Uma segunda análise destacou os efeitos desse desmatamento sobre a estrutura da paisagem, responsável por sua fragmentação. Os dados mostram aumento desse processo, sobretudo, para as mesobacias do Apeú e Guajará-Açu. Da mesma forma, outras métricas revelaram diminuição das maiores manchas, ratificando os cenários de fragmentação.

E, por último, além da cobertura e estrutura das mesobacias, estudou-se os efeitos dessa perda de vegetação sobre os cursos d'água que formam as suas redes de drenagem, mais especificamente, sobre as APP. Em consequência, foi demonstrado que as áreas localizadas próximas dos centros urbanos foram as mais afetadas por esse processo, no caso, as APP ao redor de nascentes e de rios menores de 10 m.

Em conjunto, esses resultados demonstram que os recursos hídricos na MRMB, sobretudo,

para bacias hidrográficas maiores que 100 km², vem sofrendo perda gradual de sua cobertura vegetal, fragmentação dos remanescentes florestais existentes e avanço de áreas de conflitos de uso e cobertura sobre a zona ripária protegida por lei.

Esse estudo traz subsídios para a gestão ambiental municipal, no sentido de apontar as regiões e tipos de modificações mais expressivas no seu território. Assim como, alguns dos principais agentes causadores dessas alterações.

Agradecimentos

À Universidade Federal do Pará (UFPA), Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA), Museu Paraense Emílio Goeldi, Embrapa Amazônia Oriental e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Referências

- Almeida, C.A.de; Coutinho, A.C.; Esquerdo, J.C.D.M.; Adami, M.; Venturieri, A.; Diniz, C.G.; Dessay, N.; Durieux, L.; Gomes, A., 2016. High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. *Acta Amazonica* 46, 291-302.
- Alves, M.H.D.; Silva, K.W.S.; Corrêa, J.S.; Texeira, O.M.M.; Sousa Junior, P.M. de, 2018. Levantamento comparativo de propriedade químicas do solo com diferentes culturas em Santa Isabel do Pará, Pará. *Cadernos de Agroecologia* 13, 1-7.
- ANA. Agência Nacional de Águas, 2017. Base Hidrográfica Ottocodificada Multiescalas 2017. Disponível: <http://metadados.ana.gov.br>. Acesso: 7 jun. 2018.
- Arroyo-Rodríguez, V.; Melo, F.P.L.; Matínez-Ramos, M.; Bongers, F.; Chazdon, R.L.; Meave, J.A.; Norden, N.; Santos, B.A.; Leal, I.R.; Tabarelli, M., 2015. Multiple successional pathways in human-modified tropical landscapes: new insights from forest succession, forest fragmentation and landscape ecology research. *Biological Reviews* [online] 92. Disponível: <https://doi.org/10.1111/brv.12231>. Acesso: 5 mai. 2019.
- Brasil. 2012. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Disponível: http://www.planalto.gov.br/CCIVIL_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm. Acesso: 16 mar. 2019.
- Chen, G.; Weng, Q.; Hay, G.J.; He, Y., 2018. Geographic object-based image analysis (GEOBIA): emerging trends and future opportunities. *GIScience & Remote Sensing*. 55, 159-182.
- Christensen, A.A.; Brandt, J.; Svenningsen, S.R., 2017. Landscape Ecology. *The International Encyclopedia of Geography* [online]. Disponível: <https://doi.org/10.1002/9781118786352.wbieg1168>. Acesso: 5 mai. 2019.
- Coelho, A.S.; Toledo, P. M.; Vieira, I.C.; Canto, O.; Adami, M.; Gomes, A.; Narvaes., 2018. Impactos das mudanças de uso da terra nas áreas prioritárias para conservação da biodiversidade do nordeste do estado do Pará, Brasil. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais* 13, 107-120.
- Costa, E.M.; Antunes, M.A.H.; Debiassi, P.; Anjos, L.H.C., 2016. Processamento de imagens RapidEye no mapeamento de uso do solo em ambiente de Mar de Morros. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 51, 1417-1427.
- Ferreira, S.C.G.; Lima, A.M.M. de; Corrêa, J.A.M., 2017. Zoneamento da bacia hidrográfica do rio Moju (Pará): usos da água e sua relação com as formas de uso e cobertura do solo. *Revista Ambiente & Água* 12, 680-693.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. Censo Demográfico 2010. Disponível: <https://sidra.ibge.gov.br>. Acesso 6 mai. 2019.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Divisão regional do Brasil em mesorregiões e microrregiões. v. 1. Rio de Janeiro: IBGE, 1990.
- Leal, C.G.; Barlow, J.; Gardner, T.; Hughes, R.M.; Leitão, R.P.; Nally, R.M.; Kaufmann, P.R.; Ferraz, S.F.B.; Zuanon, J.; Paula, F.R.; Ferreira, J.; Thomson, J.R.; Lennox, G.D.; Dary, E.P.; Röpke, C.P.; Pompeu, P.S., 2017. Is environmental legislation conserving tropical stream faunas? A large-scale assessment of local, riparian and catchment-scale influences on Amazonian fish. *Journal of Applied Ecology* [online] 55. Disponível: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13028>. Acesso: 4 mai. 2019.
- Mcgarigal, K.; Marks, B.J. Fragstats: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1995. 122p.

- Mello, N.G.R. de; Artaxo, P., 2017. Evolução do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal. *Revista do Instituto de Estudos Brasileiros* [online] 66. Disponível: <https://doi.org/10.11606/issn.2316-901x.v0i66p108-129>. Acesso 4 mai. 2019.
- Ming, D.; Li, J.; Wang, J.; Zhang, M., 2015. Scale parameter selection by spatial statistics for GeOBIA: Using mean-shift based multi-scale segmentation as an example. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 106, 28-41.
- Nahum, J.S.; Santos, C.B., 2016. A dendeicultura na Amazônia paraense. *GEOUSP Espaço e Tempo* [online] 20. Disponível: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2016.122591>. Acesso: 1 jul. 2019.
- Nunes, S.; Barlow, J.; Gardner, T.; Sales, M.; Monteiro, D.; Souza Jr., C., 2019. Uncertainties in assessing the extent and legal compliance status of riparian forests in the eastern Brazilian Amazon. *Land Use Policy* 82, 37-47.
- Nunes, S.S.; Barlow, J.; Gardner, T.A.; Siqueira, J.V.; Sales, M.R.; Souza Jr., C.M., 2015. A 22 year assessment of deforestation and restoration in riparian forests in the eastern Brazilian Amazon. *Environmental Conservation* 42, 37-47.
- Pereira, B.W.F.; Maciel, M.N.M.; Oliveira, F.A.; Alves, M.A.M.S.; Ribeiro, A.M.; Ferreira, B.M.; Ribeiro, E.G.P., 2016. Uso da terra e degradação na qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, PA, Brasil. *Revista Ambiente & Água* [online] 11. Disponível: <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.1802>. Acesso: 22 mai. 2019.
- Peres, L.G.M.; Gurgel, H.; Laques, A., 2018. Dinâmica da paisagem em planícies de inundação amazônicas: o caso do Lago Grande do Curuai, Pará, Brasil. *Confins* [online] 35. Disponível: <http://journals.openedition.org/confins/13010>. Acesso: 3 mai. 2019.
- Ribeiro, H.J.; Ferreira, N.C.; Kopp, K.A.; Pereira, T.S.R.; Oliveira, W.N. de. 2019. Sensoriamento remoto em ecologia da paisagem: estado da arte. *Geociências* [online] 36. Disponível: <http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/13166/8817>. Acesso: 5 mai.2019.
- Santos, M.N.S.; Lima, A.M.M. de, 2018. Multitemporal analysis of land use and cover changes of a river basin in the atlantic coast of Brazil. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 11. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v10.6.p139-149>. Acesso: 4 abr. 2019.
- Singh, V.P. Computer models of watershed hydrology. Highlands Ranch, Colorado: Water Resources Publications, 1995. 1130p.
- Souza, A.R. de; Escada, M.I.S.; Monteiro, A.M.V., 2017. Padrão da paisagem associado ao uso e cobertura da terra em comunidades ribeirinhas e de terra firme situadas no sudoeste do Pará. *Geografia* [online] 42. Disponível: <http://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/13076>. Acesso: 3 mai. 2019.
- Tamasauskas, P.F.L.F.; Souza, L.F.P. de; Lima, A.M.M. de; Pimentel, M.A.S.; Rocha, E.J.P. da, 2016. Métodos de avaliação da influência das áreas ripárias na sustentabilidade hidrológica em bacias hidrográficas no nordeste do estado do Pará. *Caderno de Geografia* [online] 26. Disponível: <https://doi.org/10.5752/P.2318-2962.2016v26n45p172>. Acesso: 3 mai. 2019.
- Trindade Jr., S-C.C. da, 2016. Formação metropolitana de Belém (1960-1997). Paka-Tatu, Belém, PA.
- Trindade Jr., S-C.C. da; Barbosa, E.J.S., 2016. Reestruturação metropolitana na Amazônia oriental: empreendimentos econômicos e dispersão urbana na área de influência imediata de Belém. *GEOUSP Espaço e Tempo* [online] 20. Disponível: <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2016.122703>. Acesso: 1 jul. 2019.
- Vale, J.R.B.; Bordalo, C.A.L., 2017. Análise multitemporal do uso da terra e da cobertura vegetal entre 1985 e 2015 na bacia hidrográfica do rio Apeú, nordeste paraense. *Revista GeoAmazônia* [online] 5. Disponível: <http://www.geoamazonia.net/index.php/revista/article/view/139>. Acesso: 16 mar. 2019.
- Vieira, I.C.G.; Toledo, P.M. de; Higuchi, H., 2018. A Amazônia no antropoceno. *Ciência e Cultura* [online] 70. Disponível: <http://dx.doi.org/10.21800/2317-66602018000100015>. Acesso: 8 mai. 2019.