

Longterm temporal analysis of vegetation cover and soil use on Ilha de Mosqueiro, Belém, Pará, Amazonian Brazil

Análise multitemporal da cobertura vegetal e uso do solo na Ilha de Mosqueiro, Belém-PA

Larissa de Carvalho Lima¹, Alberto Bentes Brasil Neto², Cassio Rafael Costa dos Santos^{3*}, Aline Nascimento Braga⁴, Suany Couto Teixeira Nunes⁵

Abstract: Assessing the dynamics of land use is important in providing quantified estimates of the extent of ecosystem change, and so and structured planning to reduce its environmental and social impacts. The objective of the current study was to analyze the dynamics of vegetation and soil use on Ilha de Mosqueiro, Belém, Pará State, northern Brazil, between 1984 and 2014, via digital image processing. For this purpose, satellite images of Ilha de Mosqueiro (orbit/point 224/62) were used. These comprised of Landsat 5 Satellite, Sensor TM, images for the years 1984, 1996 and 2008, and 2014 images from the Landsat Satellite 8, OLI sensor. These images were processed so as to classify and determine the area occupied by the following classes: dense vegetation, secondary vegetation, low growth, exposed soil, urban area and other. There was a continuous reduction of the dense vegetation class between 1984 and 2008; this accounted for 67.8% of the total area the Ilha de Mosqueiro in 1984, and 31% in 2008. At the same time the class open soil showed continuous growth across all evaluated periods, representing 2.25% of land cover in 1984, increasing to 2.33% and 4.20%, in 1996 and 2014, respectively. Between 1984 and 2014, there was a great increase in the class urban area, generally associated with the generation of environmental problems, due to irregular occupation and lack of environmental and urban management of the island.

Key words: Environmental monitoring. Digital images processing. Remote sensing.

Resumo: Avaliar a dinâmica do uso do solo é importante para conhecer o nível de alteração dos ecossistemas e planejar ações que visem reduzir os impactos ambientais e sociais. Dessa forma, objetivou-se com este trabalho analisar a dinâmica da vegetação e uso do solo na Ilha de Mosqueiro, distrito de Belém, Pará, entre os anos de 1984 e 2014, por meio do processamento de imagens digitais. Para tanto, utilizou-se imagens de satélite da Ilha de Mosqueiro (órbita/ponto 224/62), sendo as imagens referentes aos anos de 1984, 1996 e 2008 do Satélite Landsat 5, Sensor TM, e a imagem de 2014 do Satélite Landsat 8, Sensor OLI. Tais imagens foram submetidas ao processamento para classificação e determinação de área ocupada pelas classes: vegetação densa, capoeira, vegetação rasteira, solo exposto, área urbana e outros. Houve redução contínua da classe vegetação densa entre os anos de 1984 a 2008, chegando a representar 67,8% da área total da Ilha de Mosqueiro em 1984 e 31% em 2008. A área urbana apresentou contínuo crescimento em todos os períodos avaliados. Esse tipo de ocupação do solo representava 2,25% em 1984. Nos anos de 1996 e 2014, houve aumento para 2,33% e 4,20%, respectivamente. Entre os anos de 1984 e 2014, houve grande crescimento de áreas urbanas, geralmente associadas com a geração de problemas ambientais, em virtude de ocupações irregulares e falha na gestão ambiental e urbanística da ilha.

Palavras-chave: Monitoramento ambiental. Processamento de imagens digitais. Sensoriamento remoto.

*Corresponding author

Sent for publication in 18/09/2017 and approved in 08/12/2017

¹Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade/Analista. larissacarvalho617@gmail.com

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Campus Óbidos. alberto.neto@ifpa.edu.br

³Universidade Federal Rural da Amazônia, Av. Pres. Tancredo Neves, 2501, Montese, Belém-PA rafaelsantos.18@hotmail.com.

⁴Universidade Federal do Pará. alinensbraga@gmail.com

⁵Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará, Campus Castanhal. suany.nunes@ifpa.edu.br

INTRODUCTION

Natural ecosystems are in constant transformation, both at spatial and temporal levels as well as natural or anthropogenic causes (TURNER *et al.*, 2007). In recent decades, man-made changes in the Amazon have directly impacted the stability and functioning of the region's ecosystems (BROWN *et al.*, 2016), and this has been associated with the generation of social, economic and environmental problems.

The anthropization of space can cause environmental imbalance, especially due to deforestation and the suppression of selected vegetation types (GOUVEIA *et al.*, 2013; SANTOS; AQUINO, 2015). Thus, the uncontrolled conversion of the forest ecosystem into a variety of croplands, pastures or urban nuclei has generated great environmental damage, requiring constant intervention by environmental agencies and society (ROCHA *et al.*, 2016).

In the Amazonian context, the historical process of occupation and economic exploitation has made the region a strong focus for rapid and extensive deforestation and unbridled urban growth (FEARNSIDE, 2015). An example of this problem is Ilha de Mosqueiro, district within the Municipality of Belém, Pará State, northern Brazil. This area is considered one of the main tourist destinations in the state, and has recently been the target of extensive new human occupation, which has resulted in the loss of a considerable percentage of the original native vegetation cover on the island, as well as increased urban nuclei. In combination these have resulted in significant damage to the local hydrographic basin (FERREIRA, 2010).

The environmental impacts on Ilha de Mosqueiro were, and are, due to the failure, or lack of, environmental management plans, mainly due to unregulated urban expansion and a lack of basic sanitation. Together, these have resulted in a reduction in the quality of life of the population. Thus, monitoring of human-made vegetation changes in local hydrographic basins, becomes highly relevant.

To achieve this it is necessary to employ techniques that can enhance monitoring effectiveness, and so guarantee greater certainty in decision-making processes concerning soil and vegetation preservation in the study area (FORMIGONI *et al.*, 2011). In this regard, remote sensing has proven to be an especially effective tool to evaluate changes in soil and vegetation cover.

It is possible to access information concerning the chosen study environment via remote sensing, often at little cost, since some platforms, such as the Landsat series, already offer their products free of charge (NEVES and SILVA, 2014). Gomes (2011) stated that several studies analysing vegetation dynamics and soil use have been carried out effectively due to their use of remote sensing techniques. The objective of the current was to analyze the dynamics of land-use and land-cover changes on Ilha de Mosqueiro, Belém, Pará, northern Brazil, using data from 1984, 1996, 2008 and 2014 and classifying this via digital images.

INTRODUÇÃO

Os ecossistemas naturais estão em constante transformação, tanto em níveis espaciais e temporais como por causas naturais ou antrópicas (TURNER *et al.*, 2007). Nas últimas décadas, as ações promovidas pelo homem na Amazônia têm afetado diretamente a estabilidade e funcionamento dos ecossistemas da região (BROWN *et al.*, 2016), estando associadas à geração de problemas sociais, econômicos e ambientais.

A antropização do espaço é capaz de causar problemas de desequilíbrio ambiental, em especial devido ao desflorestamento e à supressão de vários tipos de vegetação (GOUVEIA *et al.*, 2013; SANTOS; AQUINO, 2015). Dessa forma, a conversão desordenada do ecossistema florestal em lavouras de diferentes cultivares, pastos ou núcleos urbanos tem gerado grandes danos ambientais, exigindo o controle constante por parte de órgãos ambientais e pela sociedade (ROCHA *et al.*, 2016).

No contexto amazônico, o processo histórico de ocupação e exploração econômica fez da região um polo de desmatamento e crescimento urbano desenfreado (FEARNSIDE, 2015). Um exemplo dessa problemática encontra-se na Ilha de Mosqueiro, distrito do Município de Belém, Pará. Essa localidade é considerada um dos principais destinos de turistas no estado e tem sido alvo da ocupação antrópica, a qual tem resultado na retirada de uma parcela considerável da vegetação nativa presente nesta ilha, aumentando os núcleos urbanos, o que tem causado prejuízos significativos à sua bacia hidrográfica (FERREIRA, 2010).

Os impactos ambientais da ilha de mosqueiro foram e são oriundos da falha ou ausência de planos de gestão ambiental, principalmente em virtude da expansão urbana desordenada e deficiência no saneamento básico, resultando na redução da qualidade de vida da população. Dessa forma, torna-se relevante o monitoramento desse tipo de alteração vegetal em bacias, causada por ações antrópicas.

Para tanto, deve-se lançar mão de técnicas que permitam a eficácia de tal monitoramento para garantir a maior segurança nas tomadas de decisão quanto à preservação e ao uso do solo e da vegetação da área (FORMIGONI *et al.*, 2011). Assim, o sensoriamento remoto tem sido uma ferramenta eficaz para avaliar alterações na cobertura do solo.

É possível ter acesso às informações do ambiente em estudo via sensoriamento remoto, muitas vezes com baixos custos, visto que algumas plataformas já disponibilizam gratuitamente seus produtos, como os da série Landsat (NEVES; SILVA, 2014). Gomes (2011) afirma que diversos estudos envolvendo a análise da dinâmica da vegetação e uso do solo têm sido realizados de forma eficaz graças à adoção de técnicas de sensoriamento remoto. Dessa forma, objetivou-se com o presente trabalho analisar a dinâmica das mudanças de uso e cobertura do solo na Ilha de Mosqueiro, Belém-Pará, nos anos de 1984, 1996, 2008 e 2014 por meio da classificação de imagens digitais.

MATERIALS AND METHODS

Ilha de Mosqueiro is situated in Belém municipality, northeast Pará state, northern Brazil. It lies north of the capital between 01° 03' and 01° 05' south latitude and between 48° 29' and 48° 19' west longitude (Figure 1), has an area of approximately 220 km², and an average altitude of 15 m above sea level. According to Köppen classification, the site lies within the Afi climatic zone, an average temperature of 25°C in February and 26°C in November, an annual average rainfall of 2,834 mm (SEPOF, 2011), and irregular rainfall distribution during the year, with most rainfall between November and April.

According to the classification proposed in the technical manual on Brazilian vegetation (IBGE, 2012), the predominant types of natural vegetation on Ilha de Mosqueiro are Dense Ombrophylous Forest and Alluvial Open Forests. Ilha de Mosqueiro lies some 67 km from Belém (the state capital and regional transport hub), with access either by land (using the Br 316 and PA 391 highways), or by boat. Ilha de Mosqueiro is composed of 19 administrative neighborhoods and a series of beaches, making it very attractive from the points of view of both tourists and tourism operators.

MATERIAL E MÉTODOS

A Ilha de Mosqueiro pertence ao município de Belém, Nordeste do estado do Pará, e está situada ao Norte da capital entre 01°03' e 01° 05' de latitude Sul e entre 48° 29' e 48° 19' de longitude Oeste (Figura 1), apresentando uma superfície de aproximadamente 220 km² e uma altitude média de 15 m acima do nível do mar. O local pertence à zona climática Afi, conforme a classificação de Köppen, com temperatura média de 25 °C em fevereiro e 26 °C em novembro, precipitação média anual de 2.834 mm (SEPOF, 2011) e distribuição pluviométrica irregular durante o ano, com chuvas mais frequentes entre os meses de novembro a abril.

De acordo com a classificação proposta no manual técnico da vegetação Brasileira (IBGE, 2012), o tipo de vegetação natural predominante na ilha de mosqueiro é a Floresta Ombrófila Densa e Florestas Abertas Aluviais. A ilha de Mosqueiro está distante de Belém cerca de 67 km, com acesso feito por transporte terrestre por meio das Rodovias Br 316 e PA 391 ou fluvial. A ilha de mosqueiro é composta por 19 bairros e uma série de praias, tornando-a muito atrativa do ponto de vista turístico.

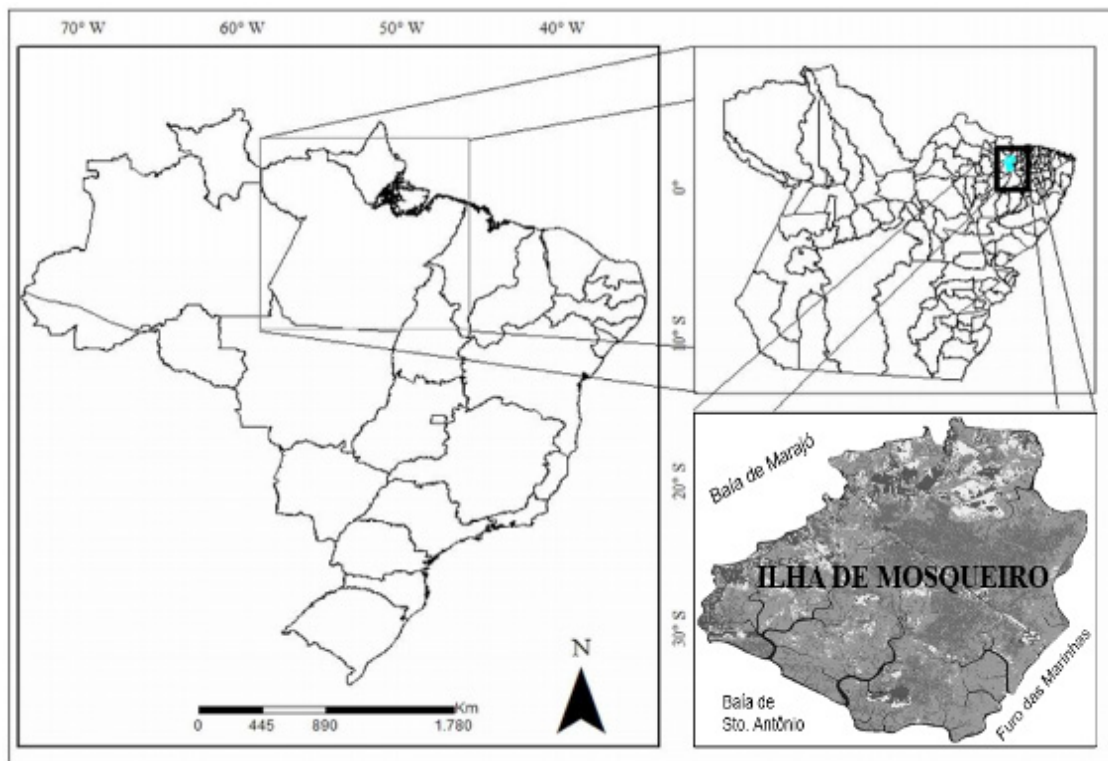


Figure 1 - Map of the Ilha de Mosqueiro, Pará state, northern Brazil. Source: Authors.

Figura 1 - Mapa de Localização da Ilha de Mosqueiro. Fonte: os Autores.

To analyze land-cover and soil changes on Ilha Mosqueiro, Landsat-5 satellite of orbit/point 224/62, bands 3, 4 and 5 of the TM sensor (Thematic Mapper) for the years 1984 (27/07/1984), 1996 (26/06/1996) and 2008 (13/07/2008), were obtained from the Brazilian National Institute for Space Exploration (INPE: *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*) web-site. Data for 2014 (12/06/2014), came from the Terra Imager sensor (OLI) of the Landsat-8 satellite (orbit/point 224/62), obtained from the EARTH EXPLORER web-site, with 30 m spatial resolution, RGB color composition at bands 6-5-4, which correspond Landsat-5 RGB 5-4-3 bands. Preprocessing procedures for the obtained images consisted of trimming, radiometric correction and georeferencing each images, to prepare them for the processing steps.

The image processing step was performed using the Pixel-to-Pixel Maximum Likelihood algorithm to structure classification. For this, the vegetation classes proposed by Brazil Neto et al. (2014) were used: *Dense vegetation* (dense ombrophylous forest – including non-flooded terra firme, seasonally-flooded várzea and forest fragments), *Capoeira* (regenerating secondary forest), *Exposed soil* (areas in preparation for agricultural planting and degraded areas), *Low vegetation* (agricultural fields, pasture and aquatic vegetation), *Urban areas* (housing, industrial sites and areas with asphalt paving) and *Other* (water bodies, clouds and, to a lesser extent, non-graded image pixels).

Following treatment and classification of the images from different years, the post-classification image analysis was carried out, via the generation of a confusion, or error, matrix, in which the following Kappa coefficients for the images of different years were obtained: 1984 (0.96); 1996 (0.90); 2008 (0.98) and 2014 (0.90), and the area occupied by each pre-determined class was then computed by generating statistical classes. The research was conducted in the Satellite Geoprocessing, Spatial Analysis and Monitoring Laboratory (LAGAM) of the Federal Rural University of the Amazon. and in the Laboratory of Environmental Studies, Federal Institute of Pará, Obidos Campus. During the research QGIS software, version 2.18, was used in the preprocessing and processing of the orbital images.

Para o levantamento da cobertura vegetal e uso do solo do Distrito de Mosqueiro, foram adquiridas imagens do Satélite Landsat-5 da órbita/ponto 224/62, bandas 3, 4 e 5 do sensor TM (Thematic Mapper) dos anos de 1984 (27/07/1984), 1996 (26/06/1996) e 2008 (13/07/2008), disponíveis na página eletrônica do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. A imagem da área correspondente ao ano de 2014 (12/06/2014), por sua vez, é proveniente do satélite Landsat-8, sensor operacional Terra Imager (OLI), órbita/ponto 224/62, obtida do site EARTH EXPLORER, com resolução espacial de 30 m, composição colorida RGB das bandas 6-5-4, as quais correspondem à composição Landsat-5 RGB 5-4-3. Posteriormente, foram aplicados os procedimentos referentes ao pré-processamento das imagens obtidas que consistiram do recorte, correção radiométrica e georreferenciamento para cada uma das imagens, para então preparar as imagens para a etapa de processamento.

A etapa de processamento das imagens foi realizada por meio da classificação supervisionada pelo algoritmo da Máxima Verossimilhança “Pixel a Pixel”, na qual definiram-se as seguintes classes de cobertura vegetal e uso do solo, tendo como referência as classes propostas por Brasil Neto *et al.* (2014): Vegetação densa (floresta ombrófila densa de terra firme e de várzea e fragmentos florestais), Capoeira (área em processo de sucessão florestal secundária), Solo exposto (áreas em fase de preparo para implantação agropecuária e áreas degradadas), Vegetação rasteira (cultivo agrícola, vegetação aquática e áreas de pastagens), Área urbana (instalações residenciais e industriais e áreas com pavimentação asfáltica) e outras (corpos d’água, nuvens e, em menor proporção, pixels da imagem não classificados).

Com o tratamento e a classificação das imagens dos diferentes anos, foi realizada a pós-classificação dessas imagens, por meio da geração da matriz de confusão ou matriz de erro, na qual obteve-se os seguintes coeficientes “Kappa” das imagens dos anos: 1984 (0,96); 1996 (0,90); 2008 (0,98) e 2014 (0,90), sendo posteriormente computada a área ocupada por cada classe pré-determinada por meio da geração das classes estatísticas. A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Geoprocessamento, Análise Espacial e Monitoramento por Satélite –LAGAM da Universidade Federal Rural da Amazônia e no Laboratório de Estudos Ambientais do Instituto Federal do Pará, Campus Óbidos. O software utilizado no pré-processamento e processamento das imagens orbitais da pesquisa foi o QGIS, versão 2.18.

RESULTS AND DISCUSSION

In Table 1, shows the quantified values for the classes of vegetation cover and land use for Ilha de Mosqueiro for the years 1984, 1996, 2008 and 2014. There is a continuous reduction of the *Dense vegetation* class for the years between 1984 to 2008, so that it accounted for 67.8% of the total surface of Ilha Mosqueiro in 1984 and 31% in 2008. This cover class was the one that suffered the most reduction in its area during the analyzed time period. This is due to the unregulated growth of planned and spontaneous settlements in recent last decades (FURTADO, SILVA JUNIOR, 2009) attributable to the great attractiveness of the area, it being an important seaside resort in close proximity to the Belém metropolitan area.

There was a considerable increase of the *Capoeira* cover-class in the years 1984, 1996 and 2008 (55.54, 103.9 and 132.2 km², respectively). This can be interpreted as a consequence of the extraction of the largest diameter trees, plus agricultural practices. Native vegetation removal on the island may also be associated with livestock-raising activities and other activities, such as illegal land colonization by migrants or squatters (FURTADO; SILVA JUNIOR, 2009). According to Furtado and Silva Junior (2009), deforestation can also be seen along the PA-391 highway, and here it can also be attributed to occupation (both legal and otherwise), where colonists clear land to demarcate their territories, and collectively promote extensive environmental change.

In the period from 2008 to 2014 a 32.10% increase in the areas of forests and forest fragments was recorded, along with a reduction of *Capoeira* from 132.2 to 129.25 km². This may be associated with the process of forest succession that occurred during this period, in which secondary vegetation (*capoeira*) gives way to stratified forest with continuous canopy, so raising the percentage area classified as being occupied by dense vegetation.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, são apresentados os valores alusivos à quantificação das classes de cobertura vegetal e uso do solo na Ilha do Mosqueiro nos anos de 1984, 1996, 2008 e 2014. Observa-se uma redução contínua da classe vegetação densa entre os anos de 1984 a 2008, chegando a representar 67,8% da área total da Ilha de Mosqueiro em 1984 e 31% em 2008. Essa classe foi a que mais sofreu redução em sua área. Isso se deve ao crescimento desordenado de assentamentos planejados e espontâneos nas últimas décadas (FURTADO; SILVA JUNIOR, 2009), o que pode ser atribuído à grande atratividade do local, por ser um importante balneário próximo à região metropolitana de Belém.

Houve aumento considerável da classe capoeira nos anos 1984, 1996 e 2008, que apresentava 55,54; 103,9 e 132,2 km², respectivamente. O aumento desta classe pode ser entendido como consequência da extração de árvores de classes diamétricas superiores e práticas agrícolas. A retirada da vegetação na Ilha também pode estar associada às atividades de pecuária e outros fins, como instalações de moradias irregulares adquiridas por migrantes ou posseiros (FURTADO; SILVA JUNIOR, 2009). Ainda segundo Furtado e Silva Junior (2009), os desmatamentos são observados também por toda rodovia PA - 391 e podem ser atribuídos também às ocupações (tanto regulares quanto irregulares) que se sucedem por toda a rodovia, onde moradores demarcaram seus territórios e promoveram grande alteração ambiental.

No período de 2008 a 2014 é possível verificar um acréscimo de 32,10% nas áreas de florestas e fragmentos florestais, ao passo em que houve redução da capoeira de 132,2 para 129,25 km². Isso pode estar associado ao processo de sucessão florestal ocorrido nesse período. Essa vegetação secundária cede espaço para estratos arbóreos e dossel contínuo, elevando a área ocupada pela vegetação densa.

Table 1 - Temporal changes in vegetation cover and land use on Ilha de Mosqueiro, Municipality of Belém, Pará state, Brazil

Tabela 1 - Distribuição no tempo das áreas equivalentes a cada classe de cobertura vegetal e uso do solo existente na Ilha de Mosqueiro. Município de Belém - PA

Description	Area							
	1984		1996		2008		2014	
	km ²	%	km ²	%	km ²	%	km ²	%
Dense vegetation	143.78	67.8	61.28	28.9	30.98	14.61	40.9	19.3
Capoeira	55.54	26.2	103.9	49.0	132.2	62.36	129.3	59.9
Exposed soil	13.53	6.4	15.27	7.2	20.3	9.58	17.7	7.4
Low vegetation	2.56	1.2	19.91	9.4	18.34	8.65	17.2	8.1
Urban area	4.76	2.3	4.94	2.3	8.69	4.10	8.9	4.2
Other	5.36	2.5	6.70	3.2	5.00	2.36	5.2	3.3
Total	212	100	212	100	212	100	212	100

This increase in dense vegetation is a potentially key factor in ensuring a favorable regional microclimate and improving groundwater quality, due to soil cover and biogeochemical and hydrological cycle re-potentialization, even in urban areas (ARMSON *et al.*, 2013). Ren *et al.* (2017) evaluated the dynamics and structure of vegetation in urban areas using images from Landsat satellite sensors and showed the importance of vegetation-derived ecosystem services in an urban environment and the relevance of studies that aim to evaluate such dynamics at the multi-temporal scale.

Like the capoeira cover-class, the area of *Exposed soil* increased by 50.16% between 1984 and 2008, occupying 20.3 km² of the island in 2008. In 2014, this had decreased to 22.75%. This reduction may potentially be due to covering of exposed soil by vegetation and urban areas (Figure 2).

As the study area is predominantly occupied by *Dense vegetation*, *Capoeira*, *Urban areas*, and *Exposed soil*, while *Low vegetation* (agricultural crops and pastures-land) represented only 1.21% of the total area in 1984. However, by 1996, with increased deforestation and urban occupation, this class represented 9.39% of the study area, with a small subsequent decrease in 2014 to 8.13%.

Esse acréscimo na vegetação densa pode ser um fator chave para garantir um microclima favorável e melhorar a qualidade das águas subterrâneas, devido à cobertura do solo e à potencialização do ciclo biogeoquímico e hidrológico, mesmo em áreas urbanas (ARMSON *et al.*, 2013). Ren *et al.* (2017) desenvolveram um estudo visando avaliar a dinâmica e a estrutura de vegetações em áreas urbanas por meio de imagens dos sensores dos satélites Landsat e constataram a importância dos serviços ecossistêmicos das vegetações em um ambiente urbano e a relevância de estudos que visem avaliar em escala multitemporal tais dinâmicas.

Assim como a classe capoeira, a área com solo exposto cresceu em 50,16%, entre 1984 e 2008, ocupando 20,3 km² da área em 2008. Em 2014, essa classe apresentou uma diminuição em sua área para 22,75%. Possivelmente, essa redução deveu-se a ocupação por área urbana e cobertura vegetal do solo (Figura 2).

Como a área em estudo é predominantemente ocupada por vegetação densa, capoeira e áreas urbanas e solo exposto, as culturas agrícolas e pastagens (vegetação rasteira) em 1984 representavam apenas 1,21% da área total. Contudo, em 1996, com o desmatamento e as ocupações urbanas, essa classe passou a apresentar 9,39% da área avaliada, com pequena diminuição em 2014 para 8,13%.

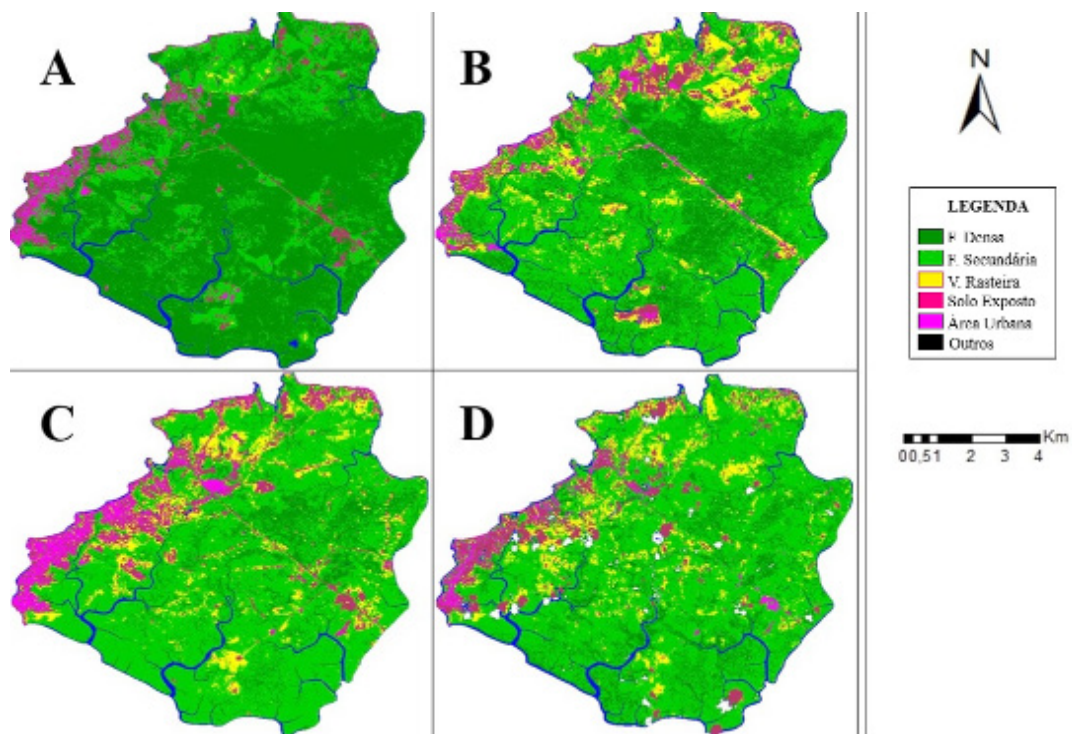


Figure 2 - Classification map of land cover classes on Ilha de Mosqueiro: (A) year 1984, (B) year 1996, (C) year 2008 and (D) year 2014.

Figura 2 - Mapa de classificação das classes temáticas na ilha de mosqueiro: (A) ano 1984, (B) ano 1996, (C) ano de 2008 e (D) ano de 2014.

The urban area cover-class showed continuous growth in all evaluated periods, being 2.25% in 1984, and 2.33% and 4.10%, in 1996 and 2008, respectively, so that, in the last year the area practically doubled. On Mosqueiro the urban area is concentrated in a radius of 3 km on the mainland-facing, western, side of the island, in the following administrative areas: Vila, Farol, Chapéu Virado, Ariramba, Natal do Murubira and Murubira. Within these regions, vegetation reduction is generally greater as is quantity of exposed soil. This can compromise, the aquifers of the micro-basin of which the island is a part, so potentially reducing the quality of the water available to inhabitants.

When evaluating soil loss along the Mourão River basin by means of remote sensing techniques, Graça *et al.* (2015) observed a loss of 150 tons ha⁻¹ year⁻¹, so underscoring the harmful consequences of vegetation suppression. Butt *et al.* (2015), in turn, evaluated the dynamics of land use and occupation in the Simly Basin, Pakistan, and concluded that changes in vegetation and soil cover in the areas within the basin constitute a serious risk to the water sources that supplying neighboring human populations, and that mitigation actions were urgently required. Such data corroborates the results found by the current study.

On the north-northeast sector of Ilha de Mosqueiro, the process of urbanization is slower, with extensive forest areas remaining, but with signs of demographic pressure, a result of the increase in house, bar and hotel construction. Native vegetation cover reduction in urban and peri-urban areas has been a growing concern due to the expanding population growth and lack of urban planning to minimize the impacts of vegetation suppression.

As shown by a study by Gomes *et al.* (2011) of the dynamics of vegetation cover and land use in a river basin in the state of Ceará, visible impacts under such circumstances consist of silting up of floodplain areas, soil compaction and alterations to the water table.

On Ilha de Mosqueiro, the landscape has been transformed from its original characteristics due to a process of unregulated vegetation removal and soil coverage. This situation highlights the failure of the island's environmental and urban management, which is associated with an unregulated growth process, resulted in the unstructured increase of urban areas and the generation of associated environmental problems.

CONCLUSIONS

Between 1984 e 2014, there was a substantial reduction in the *Dense vegetation* cover-class class, and na increase in the *Urban area* and *Exposed soil* cover-classes;

Alterations in land use forms of cover have generated environmental problems, which are associated with the failure of regional environmental and urban management on Ilha de Mosqueiro.

A área urbana apresentou contínuo crescimento em todos os períodos avaliados. Esse tipo de ocupação do solo representava 2,25% em 1984. Nos anos de 1996 e 2008 houve aumento para 2,33% e 4,10%, respectivamente, nesse último ano praticamente dobrou a área. A área urbana de Mosqueiro está consolidada em um raio de 3 km em direção ao continente, contemplando o Oeste da Ilha, onde se encontram os bairros: Vila, Farol, Chapéu Virado, Ariramba, Natal do Murubira e Murubira. Ao entorno desses bairros, normalmente, há maior redução da vegetação e da qualidade do solo, o que pode comprometer, por conseguinte, os aquíferos da microbacia em que a Ilha está inserida, interferindo, inclusive, na qualidade da água para os habitantes.

Ao avaliar a perda de solo ao longo da bacia do rio Mourão por meio de técnicas de sensoriamento remoto, Graça *et al.* (2015) observaram perda de 150 ton ha⁻¹ ano⁻¹, o que evidencia as consequências nocivas da supressão da vegetação. Butt *et al.* (2015), por sua vez, avaliaram a dinâmica de uso e ocupação do solo na bacia de Simly, Paquistão, concluindo que as mudanças na vegetação e na cobertura do solo nas áreas inseridas na bacia hidrográfica constituem um sério risco aos depósitos de água responsáveis por abastecer as populações adjacentes, sendo ações de mitigação extremamente necessária, o que corrobora com os resultados encontrados pelo presente estudo.

No que se refere ao sentido Norte-Nordeste da ilha de mosqueiro, observa-se o processo de urbanização mais vagaroso, ainda com extensas aglomerações florestais, porém com sinais de pressão demográfica, visto o aumento da construção de casas, bares e hotéis. A diminuição de coberturas vegetais nativas em áreas urbanas e periurbanas tem sido alvo de preocupação crescente, devido ao crescimento exacerbado da população e falta de planejamento urbano visando minimizar os impactos da supressão da vegetação.

Os impactos consistem de assoreamento de áreas alagadiças, compactação do solo e comprometimento do lençol freático, como constatado por Gomes *et al.* (2011) em estudo da dinâmica da cobertura vegetal e uso do solo em bacia hidrográfica no estado do Ceará.

Na Ilha de Mosqueiro, a paisagem mostra-se transformada em suas características originais em decorrência do processo de retirada da vegetação e ocupação do solo. Tal situação evidencia a falha na gestão ambiental e urbanística da ilha, que associada ao processo de crescimento desordenado, resultou no aumento desordenado de áreas urbanas e geração de problemas ambientais.

CONCLUSÕES

Entre os anos de 1984 e 2014, houve grande redução da classe vegetação densa e aumento de áreas urbanas e áreas com solo exposto;

As alterações no uso e cobertura do solo geram problemas ambientais e estão associadas à falha na gestão ambiental e urbanística da ilha de mosqueiro.

CITED SCIENTIFIC LITERATURE

- ARMSON, D.; STRINGER, P.; ENNOS, A. R. The effect of street trees and amenity grass on urban surface water runoff in Manchester, UK. **Urban Forestry & Urban Greening**. 2013;12:282-286. doi:10.1016/j.ufug.2013.04.001
- BRASIL NETO, A. B.; PAUMGARTTEN, A. E. A.; Braga, A. N.; Maciel, M. N. M.; Silva, P. T. E. Dinâmica da cobertura vegetal e uso do solo no entorno do parque estadual do Utinga (PEUt), Belém-PA. **Enciclopédia Biosfera**. 2017;10:2120-2128. < <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2014b/CIENCIAS%20BIOLOGICAS/dinamica%20da%20cobertura.pdf>>
- BROWN, D. S.; BROWN, J. C.; BROWN, C. Land occupations and deforestation in the Brazilian Amazon. **Land Use Policy**. 2016;54:331-338. doi:10.1016/j.landusepol.2016.02.003
- BUTT, A.; SHABBIR, R.; AHMAD, S. S.; AZIZ, N. Land use change mapping and analysis using Remote Sensing and GIS: A case study of Simly watershed, Islamabad, Pakistan. **The Egyptian of Remote Sensing and Space Science**. 2015;18:251-259. doi: 10.1016/j.ejrs.2015.07.003
- FEARNSIDE, P. M. Pesquisa sobre conservação na Amazônia brasileira e a sua contribuição para a manutenção da biodiversidade e uso sustentável das florestas tropicais. In: Vieira, ICG; Jardim, MAG; Rocha, EJP. Amazônia em tempo: estudos climáticos e socioambientais. 1 ed. Belém, Pará: Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, 2015. Cap 3. p. 21-50.
- FERREIRA, H. L. D. Expansão urbana e periferização em áreas de interesse turístico: o caso da Ilha do Mosqueiro (Belém-Pará). 2010. 154 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente Urbano) – Universidade Federal do Pará, Belém.
- FORMIGONI, M. H.; XAVIER, A. C.; LIMA, J. S. S. Análise temporal da vegetação na região do Nordeste através de dados EVI do MODIS. **Ciência Florestal**. 2011;21:1:1-8. doi.org/10.5902/198050982740
- FURTADO, A. M. M. e JUNIOR, O. C. S. Impactos Ambientais do Desmatamento e Expansão Urbana na Ilha do Mosqueiro (Belém – Pará). **Documentos Universidade Federal do Pará**. 2009;1-11:2009. < <http://observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal12/Procesosambientales/Impactoambiental/41.pdf>>
- GRAÇA, C. H.; PASSIG, F. H.; KELNIAR, A. R.; PIZA, M. A.; CARVALHO, K. Q.; ARANTES, E. J. Multitemporal analysis of estimated soil loss for the river Mourão watershed, Paraná – Brazil. **Brazilian Journal of Biology**. 2015;75:4:120-130. doi:10.1590/1519-6984.00613suppl
- GOMES, D. D. M. Geoprocessamento Aplicado à Análise da Vulnerabilidade a Erosão na Bacia Hidrográfica do Rio Jaibaras – Ceará. 2011. 121 f. Dissertação de Mestrado (Programa de PósGraduação em Geologia) Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – CE.
- GOMES, D. D. M.; MENDES, L. M. S.; MEDEIROS, C. N.; VERÍSSIMO, C. U. V. Análise multitemporal do processo de degradação da vegetação da bacia hidrográfica do Rio Jaibaras no Estado do Ceará. **Geografia, Ensino e Pesquisa**. 2011;15:2:41-61. doi:10.5902/223649947360
- GOUVEIA, R. G. L.; GAVANIN, E. A. S.; NEVES, S. M. A. S. Aplicação do índice de transformação antrópica na análise multitemporal da Bacia do Córrego do Bezerro Vermelho em Tangará da Serra-MT. **Revista Árvore**. 2013;37:6:1045-4054. doi:10.1590/s0100-67622013000600006
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Manual técnico da vegetação brasileira. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.
- NEVES, C. E.; SILVA, G. M. F. Dinâmica da paisagem em 10 Municípios do Cerrado Piauiense entre 1991, 2001 e 2010 através de técnicas de geoprocessamento. **Revista Geonorte**. 2014;10:4:41-46. < <file:///C:/Users/ufrr/Downloads/1417-1-4085-1-10-20160107.pdf>>
- ROCHA, J. E. C.; BRASIL NETO, A. B.; NORONHA, N. C.; GAMA, M. A. P.; CARVALHO, E. J. M.; SILVA, A. R.; SANTOS, C. R. C. Organic matter and physical-hydric quality of an Oxisol under eucalypt planting and abandoned pasture. **Cerne**. 2016;22:4:381-388. doi.org/10.1590/01047760201622042224
- REN, Z.; PU, R.; ZHENG, H.; ZHANG, D.; HE, X. Spatiotemporal analyses of urban vegetation structural attributes using multitemporal Landsat TM data and field measurements. **Annals of Forest Science**. 2017;1:54-74. doi:10.1007/s1359

SANTOS, F. A.; AQUINO, C. M. S. Análise da dinâmica do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), dos aspectos econômicos e suas relações com a desertificação/degradação ambiental em Castelo do Piauí, Piauí, Brasil. **Revista Electrónica de Investigación e Desenvolvimento**. 2015;4:2-17. <<http://reid.ucm.ac.mz/index.php/reid/article/download/49/66>>

SANTOS, L. A. C.; BATISTA, A. C.; NEVES, C. O. M.; CARVALHO, E. V.; SANTOS, M. M.; GIONGO, M. Análise multitemporal do uso e cobertura da terra em nove municípios do Sul do Tocantins, utilizando imagens Landsat. **Revista Agro@ambiente On-line**. 2017;11:2:111-118. doi:10.18227/1982-8470ragro.v11i2.3915

SEPOF. Estatística municipal. 2011. Disponível em: <<http://iah.iec.pa.gov.br/iah/fulltext/georeferenciamento/belem.pdf>>. Acesso em: 26 de set. de 2015.

TURNER, B. L.; LAMBIN, E. F.; & REENBERG, A. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. **PNAS**. 2007;104:20666-20671. doi: 10.1073/pnas.0704119104