

Revista Brasileira de Geografia Física



ISSN:1984-2295

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe

Análise espaço-temporal do uso e cobertura do solo no interior da APA Belém e correlação com os parâmetros de água dos seus mananciais

Carlos Benedito Barreiros Gutierrez¹, Hebe Morganne Campos Ribeiro², Gundisalvo Piratoba Morales³, Dione Margarete Gomes Gutierrez⁴, Leonardo Sousa dos Santos⁵, Manoel Tavares de Paula⁶

¹ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. Universidade do Estado do Pará (UEPA), Belém, Pará, Brasil. cbbg@ig.com.br (autor correspondente).
² Doutora em Engenharia Elétrica. Pesquisadora do Programa de Mestrado em Ciências Ambientais da UEPA. hebemcr@gmail.com.
³ Doutor em Geologia e Geoquímica. Pesquisador do Programa de Mestrado em Ciências Ambientais da UEPA. morales@universoamazonia.com.br.
⁴ Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da UEPA. leonardocbmpa@yahoo.com.br.
⁶ Doutor em Agroecossistemas da Amazônia. Pesquisador do Programa de Mestrado em Ciências Ambientais da UEPA. dpaulamt@hotmail.com.

Artigo recebido em 07/07/2016 e aceito em 03/02/2017

RESUMO

A Área de Proteção Ambiental (APA) da Região Metropolitana de Belém (RMB), uma Unidade de Conservação_de proteção integral, está sendo alvo de intenso antropismo, com áreas de progressiva urbanização e degradação ambiental, atingindo proporções descontroladas e impactantes. Os principais mananciais da RMB estão localizados dentro desta APA. Este estudo objetivou fazer a análise espaço-temporal do uso e cobertura do solo dentro da APA Belém e correlação com os parâmetros de qualidade de água de seus mananciais através de análise multivariada. Para atingir este objetivo, foi criado um banco de dados com as áreas das classes, obtido através de sensoriamento remoto, e com as análises de qualidade de água, para os anos de 1984, 1989, 1999, 2008 e 2015. Os parâmetros analisados foram pH, cor, turbidez, nitrogênio amonical, nitratos, nitritos, cloretos, dureza total, alcalinidade e matéria orgânica. Foi feita a análise multivariada com os dados de cada manancial, através da análise de componentes principais. As variáveis avaliadas foram reduzidas para três componentes principais cuja variância total acumulada foi de 91.6%, para o lago Bolonha, 84.7% para o lago Água Preta e 85.7% para a o ponto de Captação Guamá. Os resultados constataram que existem fortes correlações entre as variáveis estudadas.

Palavras-chave: análise multivariada, monitoramento ambiental, parâmetros de água, sensoriamento remoto.

Analysis spatiotemporal use and land cover within the APA Bethlehem and correlation with the water parameters of their sources

ABSTRACT

The Environmental Protection Area (EPA) of the metropolitan region of Belém (MRB), an Integral Protection Conservation Unit, has been an intense target of anthropism, with areas of progressive urbanization and environmental degradation, reaching impactfull and uncontrolled proportions. The main sources of MRB are located within this EPA. This study aimed to make the spatiotemporal analysis of use and land cover within EPA-Belém and correlation with the water quality parameters of their sources using multivariate analysis. To achieve this goal, it was created a database with the areas of classes, obtained through remote sensing, and the water quality analysis for the years of 1984, 1989, 1999, 2008 and 2015. The parameters analyzed were pH, color, turbidity, amonical nitrogen, nitrates, nitrites, chlorides, total hardness, alkalinity and organic matter. Multivariate analysis of the data of each stock by principal component analysis was performed. The variables were reduced to three main components whose total cumulative variance was 91.6% for the Bolonha lake, 84.7% for Black Water Lake and 85.7% for the point of capture Guama. The results found that there are strong correlations between variables.

Keywords: multivariate analysis, environmental monitoring, water parameters, remote sensing.

Introdução

As mudanças no uso e ocupação da terra, provocadas pelas ações antrópicas, têm provocado grandes alterações nas paisagens (Silva et al.,

2016). Nesse contexto, percebe-se que os vários tipos de usos da terra, que antes eram ocupadas por

vegetação, vão convertendo paisagens naturais em extensas áreas antropizadas (Ponte et al., 2016).

De acordo com Carvalho e Dall'Igna (2016), no Brasil, o poder público tem criado Unidades de Conservação (UC) como medida de mitigação contra o crescente número de áreas antropizadas, e como controle do consumo desordenado dos recursos naturais.

Para Luz e Rodrigues (2014), a década de 90 é marcada pela tomada de consciência para a preservação do meio ambiente e o surgimento da legislação ambiental, neste contexto foi criada a Área de Proteção Ambiental de Belém (APA Belém) e o Parque Estadual do Utinga (PEUt) com a finalidade de proteção dos mananciais de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belém (RMB) e preservação da biodiversidade local.

O PEUt está inserido na APA Belém e para Fidélis et al. (2015) o parque é alvo de intenso antropismo no entorno, com dados que mostram que existem consideráveis áreas desmatadas, invadidas para fixação de residências e utilização dos recursos naturais, mesmo sendo uma UC de proteção integral. Dos Santos et al. (2015) alertam que a APA Belém, que por lei deveria ser ocupada pela vegetação nativa, está sendo ocupada por áreas urbanas, deixando de realizar as suas funções ambientais para a manutenção do equilíbrio ambiental.

Conforme Oliveira et al. (2014), a cidade de Belém é abastecida por um complexo de rios e lagos dentre os quais estão o rio Guamá, lago Bolonha e lago Água Preta, sendo que os dois últimos estão localizados dentro do PEUt e são os principais mananciais de grande parte da RMB.

Conforme Bordalo et al. (2016), no Estado do Pará, a Companhia de Saneamento do Estado do Pará (COSANPA) é a concessionária responsável pelos serviços de água na maioria dos municípios do Estado, inclusive na RMB. A COSANPA tem laboratório próprio para análise da qualidade da água dos mananciais e usa como referência a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, onde estão apresentados os limites aceitáveis de concentração para mais de 70 parâmetros de qualidade da água (CONAMA, 2005).

As análises de redes hidrográficas acontecem no momento em que há o conhecimento de que a velocidade de degradação desses recursos, na maioria dos casos, é superior a capacidade de recuperação, significando na maioria das vezes problemas ambientais que prejudica, por exemplo, o abastecimento de cidades e regiões brasileiras (Tucci, 2006). Sampaio et al. (2016) ressaltam que o sistema hidrográfico não pode ser apreendido

como estático, pois apresenta dimensão temporal e por esse motivo, deve-se associá-los a outros fatores e componentes ambientais, objetivando uma análise integrada.

De 1991 a 2015, a Prefeitura Municipal de Belém depositou os resíduos sólidos produzidos pela população da RMB no aterro do Aurá, que de acordo com Santo (2014), está a 19 quilômetros do centro da cidade, localizando-se dentro da APA Belém, que também abrange o PEUt e diversas comunidades em seu entorno

Spinelli (2016) explica que devido ao crescimento populacional ao longo dos séculos, é notória a influência de ações antrópicas, causadoras de distúrbio nos ecossistemas naturais e urbanos, consequentes da expansão das cidades. Quando essa transformação ao ambiente é ocasionada pela ação antrópica de agentes que em muito dos casos não tem a menor noção dos danos gerados, isto se torna um fator de grande risco, tanto ao ambiente quanto a população nele residente (Pimentel, 2016). Albuquerque e Souza (2016) alertam que são muitos os problemas diagnosticados no que se refere aos impactos ambientais negativos, destacam-se os elevados níveis de degradação da cobertura vegetal e contaminação/poluição dos corpos hídricos, tanto do ponto de vista industrial quanto residencial, devido às precárias e/ou inexistentes ações de saneamento básico.

Os usos das técnicas de sensoriamento remoto potencializam os estudos das alterações da paisagem no ambiente urbano (Silva et al., 2016). Segundo Padilha (2016), o geoprocessamento constitui hoje uma ferramenta primordial para as etapas de levantamento e processamento de informações relacionadas a questões ambientais.

Para Souza e Da Silva (2016), os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são sistemas computacionais, que podem ser usados para o entendimento dos fatos e fenômenos que ocorrem no espaço geográfico. Na área ambiental, o geoprocessamento é uma ferramenta importante, senão a mais utilizada para monitoramento, como, por exemplo: da cobertura vegetal e uso das terras, níveis de erosão do solo, poluição da água e do ar, disposição irregular de resíduos, caracterização de bacias e assim por diante (Teixeira, 2016).

A análise multitemporal possibilita comparar uma mesma paisagem entre dois ou mais períodos, auxiliando no monitoramento das suas dinâmicas (Araújo e Fonseca, 2016). Segundo Coelho et al. (2015), o geoprocessamento torna-se importante ferramenta para compreender a estrutura e dinâmica das paisagens em diversas escalas temporais e espaciais, podendo compreender os processos ambientais.

Para Silva et al. (2016), com a crescente disponibilização de imagens orbitais de média e alta resolução espacial oriundas de sensores remotos, pesquisas que se utilizam desses produtos são cada vez mais comuns para estudar problemas ambientais em diversas escalas. A análise multitemporal utiliza imagens de satélite de determinada área em períodos distintos, não se restringindo a usar imagens de um mesmo sensor na coleta de informações (Moreira, 2011).

O uso do sensoriamento remoto com base na análise de imagens é um meio que se dispõe para estudo das mudanças no uso e cobertura do solo. Dos Santos et al. (2016) afirmam que alicerçado nos resultados de mapeamentos informatizados, através das geotecnologias (sensoriamento remoto, SIG, cartografia digital) gera-se produtos de qualidade e com precisão desejável.

Este estudo teve como objetivo fazer a análise espaço-temporal do uso e cobertura do solo dentro da APA Belém e correlação com os parâmetros de qualidade de água dos mananciais da Região Metropolitana de Belém através de análise multivariada, evidenciando os impactos antrópicos na área de estudo.

Os resultados deste estudo irão determinar as medidas das áreas das classes de uso e cobertura do solo os quais podem estar afetando a qualidade da água dos principais mananciais da RMB, através da pressão antrópica ao longo dos anos. Almeja-se também que este estudo possa contribuir para gestão local de forma imprescindível para o planejamento ambiental no que concerne a ocupação urbana descontrolada e ilegal no interior da APA Belém, uma Unidade de Conservação de proteção integral.

Material e métodos

Os lagos Bolonha e Água Preta são os principais mananciais da Região Metropolitana de Belém. De acordo com Araújo Jr. et al. (2014), também são fontes de abastecimento de água da RMB, as microbacias hidrográficas que convergem para os lagos, bem como o sistema de bombeamento das águas do rio Guamá (captação Guamá), através de adutora ligada ao lago Água Preta. Conforme Oliveira et al. (2014), os dois lagos estão localizados dentro do Parque Estadual do Utinga (PEUt), o que pode ser observado na Figura 1.

Em 1984, a rede de abastecimento de Belém atendia 10% da população que era de 1.013.227 habitantes. Segundo a Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade (SEMAS), no ano de 2015 os mananciais da RMB abastecia cerca de 60% da população (PARÁ, 2016).

O PEUt está localizado na RMB, mais precisamente entre os municípios de Belém e Ananindeua, Estado do Pará, situando-se entre as coordenadas: Latitude 01° 23' 13''S, Longitude 48° 25' 19''W e Latitude 01° 26' 32''S, Longitude 48° 25' 16''W, tem 1.393,088 hectares e foi criado a partir do Decreto Estadual n° 1.552, de 03 de maio de 1993 e está inserido na APA Belém.

Belém, capital do Estado do Pará, situada na região norte do Brasil, foi fundada em 12 de janeiro de 1616. Tinha população estimada de 1.013.227 em 1984 e cresceu para 1.439.561 habitantes em 2015. Sua densidade demográfica é de 1.315,26 hab/km², ocupando área territorial de 1.059,458 km² com Índice de Desenvolvimento Humano Municipal de 0,746 (IBGE, 2016).

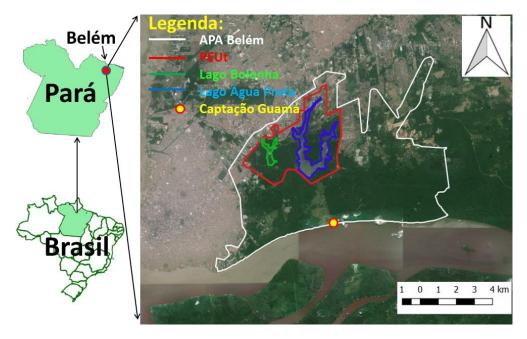


Figura 1. Lago Bolonha, Água Preta, Captação Guamá e PEUt, inseridos na APA-Belém, Pará, Brasil.

Para atingir o objetivo deste estudo foi solicitado, através de requerimento, à COSANPA, concessionária que gerencia o desenvolvimento dos sistemas de água e esgoto na RMB, o acesso a todas às análises laboratoriais das águas dos mananciais feitas pela própria instituição para o período proposto pela pesquisa. A COSANPA tem laboratório próprio para análise da qualidade da água e esporadicamente contrata os servicos de outros laboratórios para realizar análises de parâmetros de qualidade que a mesma não realiza em seu laboratório. O requerimento submetido à concessionária também solicitou acompanhamento junto da equipe de coleta de água.

As análises de qualidades de água são mantidas pela COSANPA em documentos impressos arquivados em uma sala destinada para este fim. Para este estudo foram selecionadas as análises dos anos de 1984, 1989, 1999, 2008 e 2015. Todos os documentos foram escaneados e convertidos para forma digital. Os dados das análises de água foram coletados no período de junho de 2015 a fevereiro de 2016.

As classificações de coberturas de terras do entorno dos mananciais, nos anos de 1984, 1989, 1999, 2008 e 2015, foram determinadas através de sensoriamento remoto, aplicando o método de classificação não supervisionada, dentro dos limites da APA Belém, através do *software* ENVI 4.8.

Para calcular as áreas de coberturas de terras do entorno dos mananciais, gerar mapas, vetorizar os limites da APA Belém e do PEUt foi utilizado o Sistema de Informação Geográfica QGIS 2.14 Essen, software livre licenciado pela "General Public License" (GNU), que conjuga funções de processamento de imagens, análises espaciais, modelagem numérica de terreno e consulta a banco de dados espaciais.

No procedimento de elaboração do mapeamento da área de estudo foram utilizadas imagens orbitais digitais do satélite Landsat-5, para os anos de 1984, 1989, 1999 e 2008. Para o ano 2015 foram utilizadas imagens orbitais digitais do satélite Landsat-8. As imagens foram obtidas, gratuitamente, do banco de dados do Serviço de Levantamento Geológico Americano (USGS - United States Geological Survey), disponível no endereço eletrônico http://landsat.usgs.gov/.

Para os anos de 1984, 1989, 1999 e 2008 foram obtidas imagens do sensor *Thematic Mapper (TM)*, abordo do satélite Landsat-5, na órbita 223, ponto 61, com datas de passagens em: 27/07/1984, às 12h52min; 10/08/1989, às 12h49min; 21/07/1999, às 13h01min e 13/07/2008, às 13h10min. Foram baixadas as bandas 1, 2, 3, 4 e 5 com resolução espacial de 30 metros. Para composição colorida utilizou-se as bandas 3R2G1B.

Para o ano de 2015 foram obtidas imagens do sensor *Operational Land Imager* (OLI), abordo do satélite Landsat-8, na órbita 223, ponto 61, com data de passagem 21 de outubro de 2015 e horário central 13h53min, bandas 2, 3, 4, 5 e 6 com resolução espacial de 30 metros. Para composição colorida utilizou-se as bandas 4R3G2B. As imagens foram obtidas nas datas especificadas por serem as melhores cenas, com mínimo de cobertura de névoas e nuvens.

Através do *software* ENVI 4.8 fez-se a junção das bandas e pré-processamento das imagens. Posteriormente fez-se a correção atmosférica, por meio da conversão dos números digitais (NDs) à radiância aparente e posteriormente em reflectância da superfície, utilizando os dados de calibração radiométrica disponíveis nos metadados das imagens orbitais e também foram removidas eventuais presenças de névoas e nuvens na imagem.

Para classificação das imagens, o classificador usado foi o da distância mínima, que examina as "distâncias" entre um pixel e as médias das classes e atribui ao pixel a classe que apresentar a menor distância. Nesta etapa fez-se o treinamento para o reconhecimento da assinatura espectral de cada uma das classes de uso do solo da área da imagem.

Os critérios usados na identificação e determinação das classes temáticas foram forma, que está relacionada à geometria do objeto; tamanho, que varia conforme a resolução espacial da imagem; tonalidade e textura dos objetos imageados. A dinâmica da paisagem foi estudada num espaço temporal de 31 anos. O método permitiu a identificação de quatro classes de cobertura e uso do solo, a saber: Área Urbana/Construída, Hidrografia, Vegetação Primária e Vegetação Secundária.

Foi feita a modelagem e criação de um banco de dados utilizando o sistema gerenciador de banco de dados *Microsoft SQL Server* 2014 *Express*, em sua versão gratuita. As áreas de coberturas das terras e os dados das análises de água foram organizados, inseridos no banco de dados e posteriormente exportados para planilha no formato XLSX, utilizando o *software Microsoft Excel* 2010. Esse banco de dados foi desenvolvido para facilitar as inserções, consultas e filtragens dos dados utilizando-se linguagem SQL.

Os parâmetros de qualidade de água selecionados para este estudo foram ocorreram a partir dos parâmetros comuns analisados nos períodos estudados, 1984, 1989, 1999, 2008 e 2015, os quais foram pH, cor, turbidez, nitrogênio amonical, nitratos, nitritos, cloretos, dureza total, alcalinidade e matéria orgânica.

Para análise multivariada criou-se uma planilha Excel contendo os valores das áreas, em quilômetro quadrado, das classes de coberturas do solo e os valores dos parâmetros de qualidade da água dos mananciais. Foi feita a Análise de Componentes Principais (PCA), uma importante ferramenta de interpretação de dados que além de permitir um melhor entendimento sobre as relações entre as variáveis, descreve a variação dessas através de um número reduzido de combinações

lineares dessas variáveis, os chamados componentes principais, que descrevem a variação dos dados em ordem decrescente de máxima variância.

Para elaboração da matriz de correlação resultante da Análise de Componentes Principais, utilizou-se o *software* BioEstat 5.3, o qual recebeu dados exportados da planilha Excel. Não foi feita a transformação para obter a distribuição normal dos dados, haja vista estarmos trabalhando com resultados de análises de parâmetros de qualidade de água, o que provocaria equívocos nas análises dos resultados. Desta forma foi possível determinar o coeficiente de correlação de Pearson e avaliar o grau de correlação entre as variáveis.

Resultados e discussão

Áreas das Classes de Coberturas de Terras

Os Sistemas de Informações Geográficas e o Sensoriamento Remoto estão sendo aplicados para muitos fins. Uma vez que este estudo propôs a classificação das coberturas do solo no interior da APA Belém, onde estão localizados os mananciais, as áreas dessas coberturas foram determinadas utilizando-se o software QGIS, de acordo com suas áreas de classes, para cada ano estudado, as quais estão discriminadas na Tabela 1.

Tabela 1. Áreas das classes de uso e cobertura do solo

1984	1989	1999	2008	2015
9,25	13,59	14,72	13,92	19,50
46,96	39,57	48,50	43,18	44,72
3,88	3,82	3,13	2,74	2,40
15,79	20,12	9,35	16,26	9,15
	9,25 46,96 3,88	9,25 13,59 46,96 39,57 3,88 3,82	9,25 13,59 14,72 46,96 39,57 48,50	9,25 13,59 14,72 13,92 46,96 39,57 48,50 43,18 3,88 3,82 3,13 2,74

A partir da determinação das áreas de cada classe, ao longo dos anos, percebe-se que a área urbana/construída foi a que teve maior crescimento no período estudado, aumentando em 110.8% de 1984 a 2015. A área urbanizada ocupava 9,25 Km² no início do período estudado (1984) e passou a ocupar 19,5 Km² em 2015, constatando a pressão antrópica no entorno dos mananciais. Por outro lado, a classe que obteve a maior redução em área foi a de vegetação secundária, cuja área passou de 15.79 Km² em 1984, para 9.15 Km² em 2015, equivalente a 42%.

O Gráfico 1 apresenta a dinâmica temporal das áreas das classes de coberturas do solo no período estudado, o que permite reforçar o comportamento crescente da urbanização, ao longo dos anos, e a redução da vegetação secundária no mesmo período de estudo.

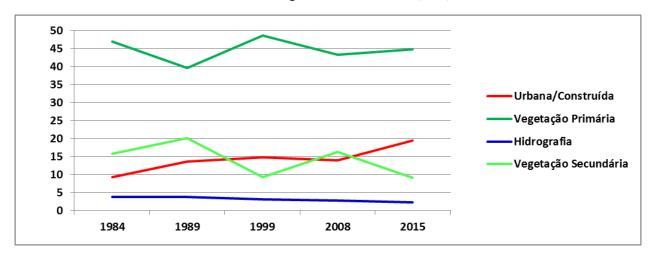


Gráfico 1. Dinâmica temporal das áreas das classes de uso e cobertura do solo.

Quanto à cobertura da vegetação primária, entre as classificações estudadas, esta foi a que teve menor alteração em área durante o período estudado, com perda de apenas 4.8%, equivalente a 2.24 Km². Analisando a dinâmica da vegetação primária e da vegetação secundária no Gráfico 1, é perceptível que as duas linhas comportam-se de forma simétrica, ou seja, quando uma cresce a outra decresce, o que permite inferir que possivelmente a vegetação passou nesse período por regeneração apresentando vegetação primária em muitas áreas que antes apresentava vegetação secundária.

Conforme observa-se no Gráfico 1, na classe hidrografia também houve redução na área de cobertura, de 3.88 Km² em 1984 para 2.4 Km² em 2015, correspondendo a 38.1%. A ação antrópica no entorno dos mananciais consequente da expansão populacional tem sido o principal fato causador dos lagos Bolonha e Água Preta estarem em estado de eutrofização. Os lagos estão passando por processo de degradação decorrente da crescente e desordenada urbanização que ocorre nos municípios de Belém e Ananindeua. Os estudos de Leão e Sousa (2016), concluíram que a ocupação irregular, o crescimento urbano e os impactos ambientais têm afetado direta e indiretamente a preservação da biodiversidade e a qualidade das águas dos Lagos Bolonha e Água Preta.

Santos et al. (2013), analisaram a média mensal do Índice de Estado Trófico (IET) no lago Água Preta, permitindo classificar o mesmo como um ambiente eutrófico. O lago Bolonha encontrase em estado de eutrofização tão avançado que sua superfície está totalmente coberta por macrófitas, o que explicaria a grande perda na classificação da cobertura da hidrografia.

O efeito visual do uso e cobertura do solo no interior da APA Belém é ainda mais perceptível observando-se a Figura 2. A urbanização crescente no entorno dos lagos está sendo representada pelas manchas vermelhas, a qual demonstra o aumento populacional dentro da APA Belém. A mancha vermelha a leste do lago Água Preta, cuja distância linear é 1.4 km, é a área onde foi instalado o aterro do Aurá, entre os anos de 1991 e 2015, este fato contribuiu demasiadamente para ocupação do local por catadores de lixo, corroborando negativamente para pressão antrópica sofrida pelos mananciais da RMB.

A perda de cobertura hidrográfica, representada por polígonos em tom azul, também é notória no Gráfico 1, permitindo observar a perda de 1.48 Km² de 1984 a 2015. Comparando-se as imagens de 1984 e 2015 na Figura 2, nota-se que muitas áreas que antes apresentavam vegetação secundária aparecem em 2015 ocupadas por área urbanizadas e vegetação primária, neste último caso consequente da regeneração.

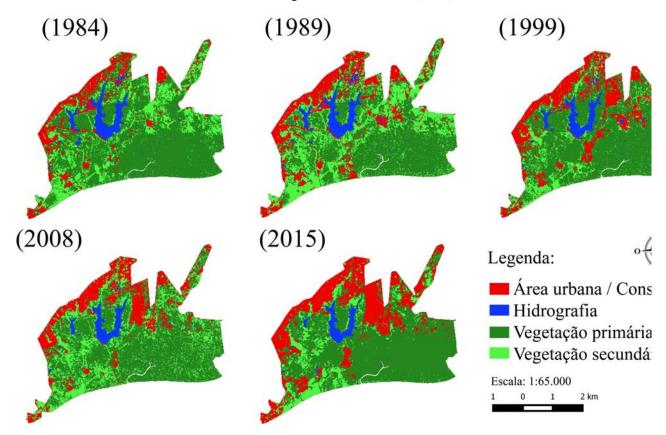


Figura 2. Uso e cobertura do solo no interior da APA Belém.

A Figura 3 exibe a proporção temporal das áreas das classes de coberturas do solo nos anos de estudo, com objetivo de mostrar o percentual da

área ocupada por cada classe de cobertura estudada em cada ano de estudo.

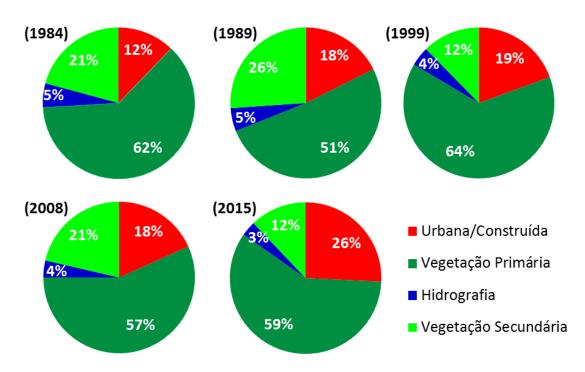


Figura 3. Proporção temporal das áreas das classes de uso e coberturas do solo.

A área urbanizada/construída em 1984 ocupava 12% da área estudada mantendo-se quase que estável nos anos de 1989, 1999 e 2008 e em 2015 aumentou para 26%, conforme Figura 3. Por outro lado, vegetação da área de estudo que é contemplado pela soma da área de vegetação primária e secundária, juntas cobriam 83% da área total em 1984, passando a ocupar apenas 71% em 2015. Dessa forma pode-se concluir que enquanto a área urbanizada/construída avançou 14% da cobertura da área total da APA Belém, a área de vegetação reduziu em 12%, inferindo-se que a urbanização está crescendo dentro desta Unidade de Conservação de forma descontrolada.

Análise Estatística Multivariada

A análise de componentes principais (PCA) foi executada para cada manancial através de 14 variáveis, sendo quatro classes de coberturas do Urbana/Construída, solo (Área Hidrografia, Vegetação Primária e Vegetação Secundária) e a média anual de dez parâmetros de água (pH, cor, turbidez, nitrogênio amonical, nitratos, nitritos, cloretos, dureza total, alcalinidade e matéria Portanto. foram orgânica). gerados componentes principais (CP), para cada manancial, equivalentes ao número de variáveis disponíveis.

De acordo com Cruz e Regazzi (2001), variações totais acima de 80% obtidos com os dois ou três primeiros componentes principais

possibilitam a análise de componentes principais, assim, somente as componentes que somam um total relevante de variância precisam de análises para explicar a variância dos dados. Assim, a primeira componente captura a maior variância entre as variáveis, dessa forma explicando o máximo de variabilidade total dos dados, por outro lado, a segunda componente captura a segunda maior variância entre as variáveis e assim sucessivamente.

PCA do lago Bolonha

Analisando a Tabela 2, a qual apresenta a matriz de correlação entre as variáveis de uso e cobertura do solo e dos parâmetros de água do lago Bolonha, cujos valores discriminam a correlação entre os pares de variáveis, observa-se que, com exceção do parâmetro nitratos, todas as demais variáveis apresentam coeficientes de correlação com valores absolutos superiores a 0,7 com outras seja, predominantemente variáveis. ou correlações entre as variáveis estudadas são fortes, pois segundo Cielo (2015), a classificação utilizada para os valores de correlação é a correlação bem fraca (0 a 0,19); correlação fraca (0,20 a 0,39); correlação moderada (0,40 a 0,69); correlação forte (0,70 a 0,89); correlação muito forte (0,90 a 1,00). As variáveis Cor, NTO, NTI e DT apresentam forte correlação com quatro ou mais variáveis.

Tabela 2. Matriz de correlação das variáveis do lago Bolonha

	U/C	VS	HD	VP	pН	Cor	TB	NTO	NTA	NTI	CL	DT	ALC	MO
U/C	1													
VS	-0.594	1												
HD	-0.828	0.658	1											
VP	-0.110	-0.733	-0.136	1										
pН	0.128	-0.512	-0.488	0.530	1									
Cor	0.908	-0.275	-0.819	-0.416	0.082	1								
TB	0.697	-0.065	-0.194	-0.534	-0.389	0.632	1							
NTO	0.612	0.271	-0.348	-0.849	-0.376	0.817	0.763	1						
NTA	0.185	0.093	-0.593	-0.228	0.307	0.493	-0.303	0.323	1					
NTI	0.825	-0.560	-0.657	-0.022	0.467	0.708	0.628	0.411	-0.008	1				
\mathbf{CL}	0.181	-0.410	-0.256	0.334	0.844	0.069	0.001	-0.228	-0.107	0.678	1			
DT	0.583	-0.646	-0.737	0.304	0.866	0.505	0.101	0.036	0.267	0.836	0.842	1		
ALC	-0.498	0.272	0.023	0.127	0.036	-0.280	-0.810	-0.303	0.643	-0.724	-0.455	-0.321	1	
MO	-0.395	0.526	0.146	-0.279	-0.436	-0.124	-0.449	0.078	0.557	-0.777	-0.803	-0.634	0.863	1

U/C-Área Urbana/Construída; HD-Hidrografia; VP-Vegetação Primária; VS-Vegetação Secundária; pH-Potencial Hidrogeniônico; Cor; TB-Turbidez; NTO-Nitrogênio Amonical; NTA-Nitratos; NTI-Nitritos; CL-Cloretos; DT-Dureza Total; AL-Alcalinidade; M0-Matéria Orgânica

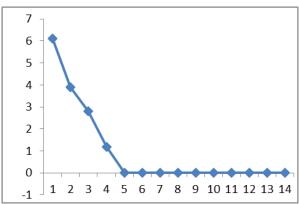
Analisando as correlações apresentadas na Tabela 2, constata-se a correlação forte e positiva entre as variáveis U/C e NTI (r = 0.825), pH e CL (r = 0.844), pH e DT (r = 0.866), Cor e NTO (r = 0.866)0.817), Cor e NTI (r = 0.708), TB e NTO (r =0.763), NTI e DT (r = 0.836), CL e DT (r = 0.842) e ALC e MO (r = 0.863). Pelo grau de correlação positiva podemos inferir que quando o valor de uma variável aumenta o valor da outra também aumenta.

Verificou-se ainda a correlação forte e negativa entre as variáveis, com comportamentos inversamente proporcionais, estas variáveis são a U/C e HD (r = -0.828), VS e VP (r = -0.733), HD e Cor (r = -0.819), HD e DT (r = -0.737), TB e AL (r = -0.810), NTI e AL (r = -0.724), NTI e MO (r = -0.810)= -0.777) e CL e MO (r = -0.803).

Destaca-se a correlação muito forte e positiva (r = 0.908) entre U/C e Cor, desta forma evidenciando-se a correlação forte e muito forte entre as variáveis estudadas para o lago Bolonha.

A análise de componentes principais resultou na redução para 3 componentes principais, que são conjuntos de autovetores associados, os quais apresentam os escores que expressam a capacidade discriminatória das 14 variáveis analisadas.

O Gráfico Scree Plot que associa os autovalores aos componentes foi criado, conforme Gráfico 2, para avaliar visualmente qual número de componentes seriam necessários para explicar a variabilidade das variáveis estudadas. Apesar do gráfico sugerir 4 componentes para explicar a variabilidade por causa da quantidade de pontos anteriores ao ponto de inflexão da curva, este estudo adotou o modelo proposto por Cruz e Regazzi (2001) que afirmam que variações totais acima de 80% são suficiente para explicar tais variações dos dados.



2. Scree Plot Gráfico (Autovalores Componentes) em relação ao lago Bolonha

Conforme Tabela 3, a componente 1 (CP1) explica 43.6% da variabilidade total, por outro lado, a componente 2 (CP2) explica 27.9% e a componente 3 (CP3) explica 20.1%, acumulando 91.6% do total de variância, ficando perceptível que as demais componentes expressam muito pouco da variação dos dados analisados, ou seja, 8.4%. Assim, as componentes CP1, CP2 e CP3, explicam 91.6% da variância total dos dados

Tabela 3. Variância das componentes principais em relação ao lago Bolonha

~		% Total da	%
Componente	Autovalores	Variância	Acumulado
1	6,104	43,597	43,597
2	3,904	27,888	71,485
3	2,810	20,069	91,554
4	1,182	8,446	100,000

A Tabela 4 apresenta a matriz das três componentes principais em relação ao lago Bolonha.

Tabela 4. Matriz de componentes principais em

relação ao lago Bolonha

	Componentes							
	CP1	CP2	CP3					
UC	,862	,373	,133					
VS	-,670	,468	-,077					
HD	-,758	-,059	-,608					
VP	,089	-,890	,030					
pН	,524	-,701	,346					
Cor	,727	,579	,364					
TB	,548	,687	-,467					
NTO	,351	,919	,101					
NTA	,066	,187	,956					
NTI	,986	,066	-,113					
CL	,654	-,558	-,157					
DT	,875	-,357	,239					
ALC	-,633	-,165	,755					
MO	-,729	,317	,596					

Na Tabela 4 os valores elevados dos pesos sugerem quais são as variáveis mais significativas em cada componente. As variáveis que tiveram maiores pesos para a componente 1 (CP1) foram UC(0.862), VS(-0.670), HD(-0.758), NTI(0.986), CL(0,654), DT(0.875) e MO(-0.729), permitindo inferir que esta componente está associada aos impactos do processo de crescimento urbanização no entorno dos mananciais, perda de vegetação secundária, perda da superfície hídrica, além de alteração nos parâmetros de nitritos, cloretos, dureza total e matéria orgânica. As variáveis que tiveram maiores escores para a componente 2 (CP2) foram VP(-0.890), pH(-0.701) TB(0.687) e NTO(0.919), enquanto que as variáveis que tiveram maiores escores para a componente 3 (CP3) foram NTA(0.956) e ALC(0.755).

PCA do lago Água Preta

A Tabela 5 apresenta a matriz de correlação das variáveis de uso e cobertura do solo e dos

parâmetros de água do lago Água Preta, na qual predominantemente as correlações entre as variáveis estudadas são fortes com pelo menos uma outra variável, ressaltando-se que as variáveis U/C, HD, pH e CL apresentam forte correlação com três ou mais variáveis, o que mais uma vez reforça o efeito do antropismo no local através dos scores altos para as variáveis área urbana/ construída e hidrografia.

Tabela 5. Matriz de correlação das variáveis do lago Água Preta

	U/C	VS	HD	VP	pН	Cor	TB	NTO	NTA	NTI	CL	DT	ALC	MO
U/C	1													
VS	-0.594	1												
HD	-0.828	0.657	1											
VP	-0.109	-0.733	-0.135	1										
pН	0.457	-0.364	-0.826	0.092	1									
Cor	0.893	-0.511	-0.948	-0.101	0.670	1								
TB	0.547	-0.584	-0.354	0.266	-0.214	0.476	1							
NTO	0.387	0.411	-0.027	-0.839	-0.243	0.334	0.303	1						
NTA	0.310	-0.001	-0.691	-0.228	0.860	0.660	-0.185	0.075	1					
NTI	0.817	-0.549	-0.656	-0.023	0.513	0.593	0.093	0.042	0.161	1				
\mathbf{CL}	-0.594	0.091	0.360	0.377	0.119	-0.617	-0.769	-0.804	-0.156	-0.059	1			
DT	0.279	-0.431	-0.614	0.301	0.881	0.365	-0.406	-0.566	0.558	0.591	0.500	1		
ALC	-0.472	0.322	0.010	0.041	0.236	-0.024	-0.183	-0.148	0.565	-0.702	0.024	-0.003	1	
MO	0.471	-0.447	-0.588	0.183	0.207	0.684	0.796	0.256	0.387	-0.073	-0.757	-0.157	0.359	1

U/C-Área Urbana/Construída; HD-Hidrografia; VP-Vegetação Primária; VS-Vegetação Secundária; pH-Potencial Hidrogeniônico; Cor; TB-Turbidez; NTO-Nitrogênio Amonical; NTA-Nitratos; NTI-Nitritos; CL-Cloretos; DT-Dureza Total; AL-Alcalinidade; MO-Matéria Orgânica

Conforme observa-se na Tabela 5, as correlações são forte e positiva entre as variáveis U/C e Cor (r=0.893), U/C e NTI (r=0.817), pH e NTA (r=0.860), pH e DT (r=0.881) e TB e MO (r=0.796). Verificou-se ainda a correlação forte e negativa entre as variáveis U/C e HD (r=-0.828), VS e VP (r=-0.733), HD e pH (r=-0.826), VP e NTO (r=-0.839), TB e CL (r=-0.769), NTO e CL (r=-0.804), NTI e AL (r=-0.702) e CL e MO (r=-0.757). Destaca-se a correlação muito forte e negativa entre as variáveis HD e Cor (r=-0.948), predominando assim a forte correlação entre as variáveis estudadas para o lago da Água Preta.

Conforme pode-se visualizar no Gráfico 3, Scree Plot (Autovalores x Componentes) em relação ao lago Água Preta, seriam necessários 4 componentes para explicar a variabilidade dos dados, há vista a inflexão ocorrer no ponto 5, mas devido ao modelo adotado no estudo a análise de componentes principais resultou em três componentes principais para explicar a variação dos dados.

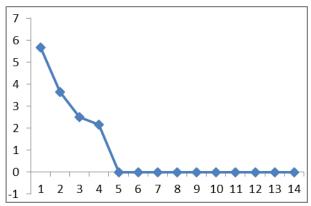


Gráfico 3. Scree Plot (Autovalores 2 Componentes) em relação ao lago Água Preta

A Tabela 6 apresenta Variância das componentes principais em relação ao lago Água Preta. De acordo com a Tabela 6, a componente 1 (CP1), capturou 40.7% da variância total, desta forma tornando-se a melhor componente para explicar a variabilidade dos dados. Por outro lado, a componente 2 (CP2) capturou 26% e a componente 3 (CP3) capturou 18%, assim as

componentes CP1, CP2 e CP3, explicam 84.7% da variância total dos dados.

Tabela 6. Variância das componentes principais em relação ao lago Água Preta

		% Total da	%
Componente	Autovalores	Variância	Acumulado
1	5,694	40,673	40,673
2	3,640	25,997	66,670
3	2,518	17,986	84,655
4	2,148	15,345	100,000

Analisando a matriz de componentes principais em relação ao lago Água Preta, Tabela 7, é possível observar que das 14 variáveis estudadas, 7 estão associadas a componente 1 (CP1), ou seja, a metade, as variáveis são UC(0.907), VS(0.680), HD(-0.982), pH(0.712), Cor(0.974), NTI(0.684) e MO(0.640). Dessa forma, evidencia-se associação desta componente área urbana/construída, área de vegetação secundária, área de hídrica e aos parâmetros de qualidade de água pH, cor, nitritos e e matéria orgânica. Nesta PCA para o lago Água Preta a CP1 esteve associada às classes de uso e cobertura do solo UC, VS e HD.

As variáveis que tiveram maiores escores para a componente 2 (CP2) foram TB(-0.626), NTO(-0.851), CL(0.861) e DT(0.857), enquanto que as

variáveis que tiveram maiores escores para a componente 3 (CP3) foram VP(-0.626), NTA(0.759) e ALC(0.680), permitindo inferir que os componentes principais de fato estão associados a antropização no entorno dos mananciais.

Tabela 7. Matriz de componentes principais em relação ao lago Água Preta

	Componentes								
	CP1	CP2	CP3						
UC	,907	-,218	-,168						
VS	-,680	-,243	,647						
HD	-,982	-,159	-,090						
VP	,092	,486	-,626						
pН	,712	,579	,397						
Cor	,974	-,144	,172						
TB	,491	-,626	-,485						
NTO	,151	-,851	,330						
NTA	,588	,246	,759						
NTI	,684	,234	-,282						
CL	-,495	,861	-,087						
DT	,483	,857	,108						
ALC	-,120	,098	,680						
MO	,640	-,446	,049						

Tabela 8. Matriz de correlação das variáveis do Ponto de Captação Guamá

	U/C	VS	HD	VP	pН	Cor	TB	NTO	NTA	NTI	CL	DT	ALC	MO
U/C	1													
VS	-0.594	1												
HD	-0.828	0.658	1											
VP	-0.110	-0.733	-0.136	1										
Ph	0.792	-0.547	-0.978	0.028	1									
Cor	0.976	-0.649	-0.929	-0.013	0.892	1								
TB	0.366	-0.427	-0.030	0.207	-0.155	0.270	1							
NTO	0.649	-0.443	-0.946	0.033	0.950	0.790	-0.185	1						
NTA	-0.383	0.205	-0.137	0.098	0.254	-0.209	-0.885	0.387	1					
NTI	0.722	-0.132	-0.325	-0.473	0.393	0.590	0.121	0.134	-0.463	1				
\mathbf{CL}	-0.429	-0.065	0.291	0.421	-0.187	-0.409	-0.549	-0.317	0.418	-0.083	1			
DT	-0.107	-0.282	-0.186	0.434	0.300	-0.015	-0.675	0.189	0.635	-0.004	0.871	1		
ALC	-0.336	0.164	-0.046	0.124	-0.033	-0.190	-0.029	0.279	0.408	-0.809	-0.443	-0.323	1	
MO	-0.452	0.547	0.585	-0.286	-0.676	-0.507	0.408	-0.480	-0.327	-0.444	-0.564	-0.835	0.536	1

U/C-Área Urbana/Construída; HD-Hidrografia; VP-Vegetação Primária; VS-Vegetação Secundária; pH-Potencial Hidrogeniônico; Cor; TB-Turbidez; NTO-Nitrogênio Amonic

De acordo com as correlações entre os pares de variáveis apresentados na Tabela 8, observa-se que existe correlação forte e positiva entre as variáveis U/C e pH (r = 0.792), pH e Cor (r = 0.792)

0.892), Cor e NTO (r = 0.790) e CL e DT (r = 0.871). Coeficiente de correlação forte e negativa também aparece entre as variáveis U/C e HD (r = -0.828), VS e VP (r = -0.733), NTI e ALC (r = -0.828)

0.809) e DT e MO (r = -0.835). Verificou-se a correlação muito forte e negativa entre a variável HD e pH (r = -0.978), HD e Cor (r = -0.929) e HD e NTO (r = -0.946). Por outro lado, as correlações muito fortes e positivas apareceram nos pares U/C e Cor(r = 0.976) e pH e NTO(r = 0.950). Todas as variáveis apresentaram correlações forte ou muito forte com pelo menos outra variável. A matriz de correlação no ponto de Captação Guamá revelou que a variável HD apresenta correlação muito forte e negativa com os parâmetros pH, cor e nitrogênio, o que permite inferir que a medida que esses parâmetros aumentam, a área superficial da cobertura hídrica no interior da APA Belém reduz, evidenciando que a presença das macróficas que cobrem grande parte da superfície dos lagos possivelmente está associada a água bruta que é captada do rio Guamá num ponto que localiza-se a 200 metros da foz do rio Aurá, cujas águas transportam o lixiviado gerado pelo depósito de resíduos sólidos do lixão do Aurá.

No ponto de Captação Guamá, conforme Gráfico 4, também se faz necessário 4 componentes para explicar a variabilidade dos dados, mas adotou-se três componentes para explicar a variabilidade conforme modelo de Cruz e Regazzi (2001).

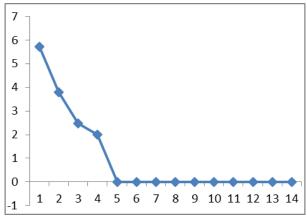


Gráfico 4. Scree Plot (Autovalores x Componentes) em relação ao Ponto de Captação Guamá

A Tabela 9 apresenta a variância das componentes principais em relação ao Ponto de Captação Guamá, nela a componente 1 (CP1), explica 40,9% da variância total, a componente 2 (CP2) explica 27,1% e a componente 3 (CP3) explica 17,7%, assim as componentes CP1, CP2 e CP3, representam 85.7% da variância total dos dados.

Tabela 9. Variância das componentes principais em relação ao Ponto de Captação Guamá

		% Total da	%
Componente	Autovalores	Variância	Acumulado
1	5,734	40,955	40,955
2	3,796	27,115	68,071
3	2,475	17,680	85,751
4	1,995	14,249	100,000

A Tabela 10 apresenta a Matriz de componentes principais em relação ao Ponto de Captação Guamá.

Tabela 10. Matriz de componentes principais em relação ao Ponto de Captação Guamá

	Componentes							
	CP1	CP3						
UC	,909	-,390	-,127					
VS	-,711	-,038	,076					
HD	-,954	-,002	-,300					
VP	,119	,379	,062					
pН	,947	,125	,248					
Cor	,961	-,271	,042					
TB	,076	-,811	-,143					
NTO	,823	,106	,538					
NTA	-,019	,816	,514					
NTI	,551	-,278	-,660					
CL	-,160	,854	-,469					
DT	,260	,939	-,214					
ALC	-,254	-,065	,956					
МО	-,715	-,617	,327					

Pode-se observar na Tabela 10 que as variáveis que tiveram maiores pesos para a componente 1 (CP1) foram UC(0.909), VS(-HD(-0.954), pH(0.947), Cor(0.961), 0.711), NTO(0.823) e MO(-0.715), dessa forma deixando ainda mais evidente a associação deste componente com o antropismo na área de estudo através das variáveis relacionadas a urbanização, vegetação secundária e superfície hídrica, além dos parâmetros pH, cor, nitrogênio e matéria orgânica. As variáveis que tiveram maiores escores para a componente 2 (CP2) foram VP(0.379), TB(-0.811), NTA(0.816), CL(0.854) e DT(0.939), enquanto que as variáveis que tiveram maiores pesos para a componente 3 (CP3) foram NTI(-0.660) e ALC(0.956).

Conclusões

Os resultados deste estudo expõem que o uso de técnicas de sensoriamento remoto através dos sistemas de informação geográfica é uma ferramenta poderosa que pode ser utilizada para o monitoramento de ecossistemas e para tomada de decisão na gestão ambiental. Respaldado no uso do sensoriamento remoto foi possível medir e identificar áreas urbanas e construídas, áreas de vegetação primária, áreas de vegetação secundária e áreas de superfícies hídricas dos mananciais da RMB, revelando o aumento significativo da área urbanizada e construída, bem como a perda de vegetação dentro da APA Belém, evidenciando que a antropização nesta área está atingindo proporções descontroladas e impactantes.

O estudo constatou que as classes de uso e cobertura e os parâmetros de qualidade de água dos mananciais da RMB, estão fortemente correlacionados, evidência está confirmada pelas análises feitas através da aplicação de análise de componentes principais, o que reforça a justificativa do uso desta análise multivariada, uma vez que esta só deve ser aplicada quando os dados estudados apresentam correlações significativas.

A PCA revelou que as componentes principais sempre estiveram associadas fortemente à área urbanizada e construída, vegetação primária, vegetação secundária e superfície hídrica, reforçando definitivamente a evidência da ação antrópica dentro da APA Belém.

A criação da APA Belém, uma unidade de conservação, cujo objetivo seria a preservação e conservação dos mananciais e da vegetação local, está sendo alvo de intenso antropismo. A análise espaço-temporal da área de estudo e o monitoramento dos parâmetros de qualidade de água mostrou-se eficiente, podendo contribuir para gestão ambiental por parte da COSANPA e da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade através da adoção de medidas que contribuam para preservação e conservação da área, dessa forma mitigando os impactos provocados pelo antropismo do entorno.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Companhia de Saneamento do Pará - COSANPA, por ter concedido acesso às análises dos parâmetros de água concernentes aos períodos deste estudo.

Referências

Albuquerque, E. L. S., Souza, M. J. N., 2016. Condições ambientais e socioeconômicas nas

- bacias hidrográficas costeiras do setor leste metropolitano de Fortaleza, Estado do Ceará. Revista Brasileira de Geografia Física 9, 110-124.
- Araújo Jr., A. C. R., Azevedo, A. K. A., Oliveira, I. S., 2014. Problemática da água na Região Metropolitana de Belém (RMB) Pará: aspectos histórico-geográficos. Acta Geográfica 7, 117-131.
- Araújo, T. D., Fonseca, E. L., 2016. Análise Multitemporal dos Lençóis Maranhenses entre 1984 a 2014 utilizando Sensoriamento Remoto orbital. Revista Brasileira de Geografia Física 9, 280-295.
- Bordalo, C. A. L, Ferreira, C. A. C., Silva, F. A. O., Moraes, R. C., 2016. 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. Revista Geonorte 3, 1181-1193.
- Carvalho, P. B. L., Dall'Igna, L. G. 2016. Evolução do Desmatamento na Floresta Nacional de Jacundá-RO, no período de 2013 a 2015. Farociência 2, 163-168.
- Cielo, C. A., Gonçalves, B. F. T., Lima, J. P. M., Christmann, M. K., 2015. Maximum phonation time of/a/, maximun phonation time predicted and respiratory type in adult women without laryngeal disorders. Cefac 17, 358-363.
- Coelho, I. A. M., Duarte, S. M. A., Coelho, O. A. M., 2015. Estudo da dinâmica da cobertura vegetal no município de Floresta/PE através de processamento digital de imagens. Revista Geama 2, 7-24.
- CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2005. Resolução nº 357, dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências. Brasília.
- Cruz, C. D., Regazzi, A. J., 2001. Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético. Editora da UFV, Viçosa.
- Dos Santos, L. S., Gutierrez, C. B. B., Pontes, A. N., Souza, A. A. A., Martorano, L. G., Silva Jr., O. M., 2016. Geotecnologia aplicada na análise de bacias hidrográficas e rede de drenagem: estudo das bacias hidrográficas do Murucutu e Aurá, Belém, Pará. Revista Sodebrás 11, 131-135.
- Dos Santos, L. S., Gutierrez, C. B. B., Dias, N. M., Pontes, A. N., 2015. Análise Espacial na Gestão de Recursos Hídricos: Bacia Hidrográfica do Rio Uriboca, Belém, Pará. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer 11, 161-172.

- Fidélis, J. F. M. A., Lima, S.Q., Lima, A. M. M., Krag, M. N., Guerreiro, Q. L. M., 2015. Biogeoindicadores aplicados ao ecoturismo em unidades de conservação localizadas em espaços urbanos. Revista Brasileira de Ecoturismo 8, 212-233.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico. Disponível: http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=160030&search=||infinf%E1ficos:-informa%E7%F5es-completas. Acesso: 25 mar.2016.
- Leão, E. C., De Sousa, F. H. F., 2016. A questão da ocupação irregular no entorno de áreas protegidas ambientalmente—uma análise do caso do parque estadual do utinga no município de Belém-PA. Revista Eletrônica de Direito da Faculdade Estácio do Pará1, 1-15.
- Luz, L. M., Rodrigues, J. E. C., 2014. Análise do Índice da Cobertura Vegetal em Áreas Urbanas: Estudo de Caso da Cidade de Belém-PA. Boletim Amazônico de Geografia 1, 43-57.
- Moreira, M. A., 2011. Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação. 4 ed. Editora da UFV, Viçosa.
- Oliveira, V. R., Campos, C. L. M., Machado, F. F., Mendonça, M. J. S. F., 2014. Integração Universidade-Escola Pública a Partir da Temática Saúde e Qualidade Ambiental de uma População Amazônida: Relato de uma Experiência. Revista Universo & Extensão 1, 1-15.
- Padilha, R., Portugal, J. L., Dos Santos, A. V.,
 Pereira, S. V., Do Carmo, T. V. B., 2016.
 Proposição de Modelo de Corredores
 Ecológicos com Base no Sistema de
 Informações Geográficas na Região de Suape,
 Pernambuco, Brasil. Revista Brasileira de
 Geografia Física 9, 079-090.
- PARÁ. Secretaria Executiva de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente. Parque Estadual do Utinga (PEUt) e Área de Proteção Ambiental da Região Metropolitana de Belém. Disponível: http://www.sema.pa.gov.br. Acesso: 21 abr. 2016
- Pimentel, M. A. S., Oliveira, I. S., Rodrigues, J. C. M., 2016. Dinâmica da Paisagem e Risco Ambiental na Ilha de Caratateua, Distrito de Belém-Pa. Revista Geonorte 3, 624-633.

- Ponte, F. C., Furtado, A. M. M., Da Silva, C. N., Da Silva, J. M. P., Lima, R. S., 2016. Parâmetros Fisiográficos e Impactos Ambientais da Rodovia Santarém-Cuiabá (BR-163), Estado do Pará, Brasil. REDE-Revista Eletrônica do PRODEMA 9, 53-64.
- Sampaio, A. C. P., Cordeiro, A. M. N., Bastos, F. de H., 2016. Susceptibilidade à Erosão Relacionada ao Escoamento Superficial na Sub-Bacia do Alto Mundaú, Ceará, Brasil. Revista Brasileira de Geografia Física 9, 125-143.
- Santo, V. C. P., 2014. Aurá de Gentes, Lixo e Água: Ação Pública e Racionalidades em confronto em Belém (Pa). Revista de Direito da Cidade 6, 65-89.
- Santos, M. L. S., Bordalo, A. O., Pereira, J. A. R.,
 Chira, P. A., Alves, I. C. C., Sodré, S. S. V. S.,
 2013. Influência Da Expansão Urbana Na
 Qualidade Da Água Em Reservatório Da Região
 Amazônica (Belém, Pará). Boletim Técnico
 Científico do Cepnor / Tropical Journal of
 Fisheries and Aquatic Sciences 13, 15-22.
- Silva, J. S., Da Silva, R. M., Silva, A. M., 2016. Mudanças do Uso e Ocupação do Solo e Degradação Eco-Ambiental Usando Imagens Orbitais: o estudo de caso da bacia do Rio Bacanga, São Luís (MA). Revista Brasileira de Geografia Física 8, 265-279.
- Souza, A. C. C., Da Silva, M. L., 2016.
 Geoprocessamento aplicado ao levantamento de solos no Município de Inconfidentes-MG.
 Revista Brasileira de Geografia Física 9, 200-214
- Spinelli, M. V. P., Carvalho, R. M. C. M. O., Da Silva, H. P., Brandão, S. S. F., Frutuoso, M. N. M. A., 2016. Estudo Sustentável da Capacidade de Carga Antrópica e a sua Influência no Ponto de Equilíbrio da Resiliência Ambiental. Revista Brasileira de Geografia Física 9, 185-199.
- Teixeira, M. R., 2016. A Utilização do Geoprocessamento na Análise Ambiental e sua Importância na Tomada de Decisões: um estudo sobre o uso do geoprocessamento em pesquisas sobre ocupação desordenada do solo. TCC (Especialização). Brasília, Uniceub.
- Tucci, C. E. M., 2006. Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica. Ministério do Meio Ambiente, Brasília.