



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ANÁLISE DAS MUDANÇAS NA COBERTURA E USO DA TERRA DA MICROBACIA
HIDROGRÁFICA DOS LAGOS BOLONHA E ÁGUA PRETA (BELÉM, PARÁ) E SEU
ENTORNO AO LONGO DE 36 ANOS.**

Trabalho apresentado por:

JACKISON MATEUS LOPES BARROS

Orientador: Prof. Dr. PEDRO WALFIR MARTINS E SOUZA FILHO (UFPA)

Coorientador: Prof. Dr. MARCELO ROLLNIC (UFPA)

BELÉM-PARÁ

2022



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ANÁLISE DAS MUDANÇAS NA COBERTURA E USO DA TERRA DA MICROBACIA
HIDROGRÁFICA DOS LAGOS BOLONHA E ÁGUA PRETA (BELÉM, PARÁ) E SEU
ENTORNO AO LONGO DE 36 ANOS.**

Trabalho apresentado por:

JACKISON MATEUS LOPES BARROS

Orientador: Prof. Dr. PEDRO WALFIR MARTINS E SOUZA FILHO (UFPA)

Coorientador: Prof. Dr MARCELO ROLLNIC (UFPA)

BELÉM-PARÁ

2022

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará**

Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

B277a Barros, Jackson Mateus Lopes.

Análise das mudanças na cobertura e uso da terra da microbacia hidrográfica dos lagos Bolonha e Água Preta (Belém, Pará) e seu entorno ao longo de 36 anos. / Jackson Mateus Lopes Barros. — 2022.

xiii, 33 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Pedro Walfir Martins e Souza Filho
Coorientador(a): Prof. Dr. Marcelo Rollnic

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Oceanografia, Belém, 2022.

1. Geobias. 2. Uso e ocupação. 3. Eutrofização. 4. Parque Estadual do Utinga. 5. Expansão Urbana. I. Título.

CDD 551.4607



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ANÁLISE DAS MUDANÇAS NA COBERTURA E USO DA TERRA DA
MICROBACIA HIDROGRÁFICA DOS LAGOS BOLONHA E ÁGUA PRETA
(BELÉM, PARÁ) E SEU ENTORNO AO LONGO DE 36 ANOS.**

Apresentado por:

JACKISON MATEUS LOPES BARROS

**Como requisito parcial para à obtenção do Grau de Bacharel em Oceanografia, Área de
concentração de Ciências da Terra: Geofísica e Linha de pesquisa de Oceanografia:
educação, pesquisa e tópicos relacionados.**

Data de Aprovação: 08/02/2022

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Pedro Walfir Martins e Souza Filho
(Orientador - UFPA)

Prof. Dr. Marcelo Rollnic
(Coorientador – UFPA)

Pro^a. Dr^a. Leilanche Almeida Ranieri -
(Membro – UFPA)

Prof. Dr. Wilson da Rocha Nascimento Júnior
(Membro – UFPA)

Aos meus pais e minhas irmãs, que sempre
estiveram ao meu lado nesta jornada.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a deus por todos os momentos felizes que me proporcionou nessa vida juntamente com familiares e amigos. Por guiar meu caminho, me ajudando nas conquistas que obtive ao longo desses anos.

Agradeço a todas as pessoas que estiveram comigo nesses últimos anos, que me ajudaram a me tornar uma pessoa melhor, na superação de desafios e barreiras da vida.

Aos meus pais **Joaci e Margarida**, por tudo amor e carinho que me proporcionaram a todo momento. Obrigado por sempre me apoiarem e me incentivarem nas minhas escolhas e por todo conhecimento que me passaram. A vocês todo meu amor e minha gratidão. Amo vocês!

As minhas irmãs **Jackeline, Jaqueline, Jackelane e Jackelia** por todo o suporte financeiro e emocional, e claro por todos os momentos felizes que passamos juntos em todos esses anos em que tivemos que aturar um ao outro. Vocês são a razão de muitas das minhas conquistas.

A minha sobrinha **Alice** por trazer luz e alegria para nossa família. E ao anjo **Gabriel** que está ao lado de deus nos iluminando nosso caminho diário, juntamente com meu falecido avó **Abel**, Amei e sempre amarei todos vocês!

Sou grato pela Universidade Federal do Pará e ao Instituto de Geociências por todo o apoio técnico, assim como a Biblioteca do Instituto de Geociências pelo apoio e orientação aos alunos.

Agradeço aos professores da Faculdade de Oceanografia por todo o conhecimento que me passaram ao longo dessa jornada acadêmica, em especial os professores **Renan Peixoto, Leilanne Ranieri, Marcelo Petracco, Sury Monteiro e Vinicius Kutter**, que além de ótimos mentores foram excelentes amigos durante o período de graduação.

Aos meus orientadores **Pedro Walfir e Marcelo Rollnic** por acreditarem no meu potencial, contribuindo na minha formação acadêmica e profissional. Vocês têm a minha eterna admiração e respeito.

Aos colegas que fiz nos Laboratórios em que passei durante o meu período acadêmico, em especial ao **Diogo Santos** e ao **João Paulo (o grande Paysandu)** do LAIT por me ajudarem no desenvolvimento do trabalho. E aos colegas do LAPMAR por toda a troca de conhecimento e bons momentos no laboratório.

À turma de Oceanografia 2017/2016, por todos os momentos de desespero e descontração que tivemos juntos, em especialmente a **Alina Criane, Allyson Antunes (Vulgo “Super Shock do Treme”)**, **Carlos Raimundo, Ian Viera, Ingrid Tavares, Lara Jaqueline, Luana Moraes, Matheus Fernandes, Ramon Alexandre, Renata Reis e Robinson Andrade (Famoso Robinho)** e aos diferentes amigos que a UFPA me presenteou, **Artur Gustavo, Augusto Mendes, Fernando Valdivino, Glendha Carvalho, Jack Mafra, Larissa Garcia e Lohan Baia**, pela amizade e por todos os momentos únicos em nossas viagens de campo, vocês tornaram tudo muito mais divertido.

“Não sei de nenhum momento da história da humanidade em que a ignorância foi uma opção melhor que o conhecimento”.

Neil deGrasse Tyson

RESUMO

As alterações humanas vêm causando vários impactos ambientais. Uma das problemáticas mais comuns é a expansão urbana, que causa danos em ambientes aquáticos, gerando a eutrofização dos mesmos por meio da contaminação via esgotos domésticos e industriais. Estes problemas são observados no Parque Estadual do Utinga (PEUt), onde está localizada a bacia hidrográfica dos Lagos Bolonha e Água Preta (MHLBA), principal fonte de abastecimento da Região Metropolitana de Belém (RMB). O sensoriamento remoto e o geoprocessamento são as principais técnicas para monitorar e avaliar o impacto das mudanças da cobertura e do uso do solo dos últimos 50 anos. O objetivo deste trabalho é avaliar as mudanças de cobertura e uso do solo da MHLBA de 1984 a 2020 a partir da análise de imagens Landsat e Sentinel baseada em objetos geográficos (GEOBIA). Os resultados obtidos indicam que a área urbana sofreu uma expansão de 0,13 km², enquanto 1,04 km² do espelho de água dos lagos foram convertidas em macrófitas, indicando um intenso processo de eutrofização. Por outro lado, a área de floresta do PEUt aumentou em 6,86 km² em relação a área de pastagem, sinalizando um processo de recuperação florestal. Este trabalho conclui que a GEOBIA é uma ferramenta poderosa para análises de ecossistemas aquáticos, podendo ter sua escala ampliada para tais fins.

Palavras-chave: Geobia; uso e ocupação; eutrofização; expansão urbana; Parque Estadual do Utinga.

ABSTRACT

Human changes have caused several environmental impacts. One of the most common problems is urban sprawl, which causes damage to aquatic environments, generating their eutrophication through contamination via domestic and industrial sewage. These problems are observed in the Parque Estadual do Utinga (PEUt), where the watershed of Lakes Bolonha and Água Preta (MHLBA) is located, the main source of supply for the Metropolitan Region of Belém (RMB). Remote sensing and geoprocessing are the main techniques for monitoring and evaluating the impact of land cover and land use changes over the last 50 years. The objective of this work is to evaluate the MHLBA land cover and use changes from 1984 to 2020 from the analysis of Landsat and Sentinel images based on geographic objects (GEOBIA). The results obtained indicate that the urban area underwent an expansion of 0.13 km², while 1.04 km² of the lake water mirror were converted into macrophytes, indicating an intense eutrophication process. On the other hand, the PEUt forest area increased by 6.86 km² in relation to the pasture area, signaling a process of forest recovery. This work concludes that GEOBIA is a powerful tool for analysis of aquatic ecosystems, and can be scaled up for such purposes.

Keywords: Geobia; use and occupation; eutrophication; urban expansion; Utinga State Park.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma geral das etapas realizadas no trabalho, com detalhes no processo de segmentação, sendo apresentado os parâmetros utilizados em nível 1 (N1) e Nível 2 (N2), onde E= Escala; F= Forma; C= Compacidade.	6
Figura 2 - Mapa de localização da área de estudo, destacando as localizações do canal do Aurá, a área de reabastecimento dos lagos e a delimitação da MHLBA e seu entorno, obtido a partir do MDE Alos Palsar. Também indica as áreas de: U = área urbana, V= floresta de várzea, TF = floresta de terra firme e P = pastagem. Imagem Sentinel-2A na composição colorida 4R3G2B, adquirida em 14/06/2020. Datum de referência WGS84. Fonte: Do autor.	7
Figura 3 – Exemplo de segmentação e classificação das imagens Landsat-5 TM 5R4G3B de 1989 e Sentinel-2B 4R3G2B de 2019. Sobre ambas as imagens colorida são ilustrados os segmentos nos níveis 1 e 2; assim como a classificação temática para objetos de níveis 1 e 2, resultado final da agregação temática.	14
Figura 4 - Resultado da classificação de nível 1 e 2 para as imagens Landsat-5 TM e Landsat-8 OLI.	17
Figura 5 – Resultado da Classificação de nível 1 e 2 para as imagens Sentinel-2A/B.	18
Figura 6 - Mapa de detecção de mudança entre os anos de 1984 e 2020 para o Lago Bolonha, região da antiga fazenda do Utinga e para o bairro de Águas Lindas.	19
Figura 7 – Gráfico de evolução de uso e ocupação dos solos da MHLBA entre os anos de 1985 a 2020.	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - comparação entre os satélites Landsat 5-TM e Landsat 8-OLI com as faixas espectrais de cada banda em nanômetro (μm) e resolução espacial em metros (m).	9
Tabela 2 - Bandas espectrais e resoluções espaciais do satélite Sentinel 2-A/B.....	10
Tabela 3 - Lista dos dados utilizados para a realização do trabalho, informando a data que o dado foi adquirido pelo respectivo satélite.	10
Tabela 4 - Descrição do sistema de classificação de cobertura e uso da terra neste estudo.....	12
Tabela 5 – Quantificação da área das classes para os anos de 1984 e 2020 com a mudança relativa de cada classe.....	20

LISTA DE ABREVIATURAS E/OU SIMBOLOS

APA	Área de Proteção Ambiental
MHLBA	Microbacia Hidrográfica dos Lagos Bolonha e Água Preta
GEOBIA	Geographic Object-Based Image Analysis
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
MDE	Modelo Digital de Elevação
PEUt	Parque Estadual do Utinga
RMB	Região Metropolitana de Belém
SIG	Sistema de Informação Geográfica
USGS	United States Geological Survey

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
EPIÍGRAFE	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	x
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS E/OU SIMBOLOS	xii
1 INTRODUÇÃO	1
1.2 JUSTIFICATIVA	3
1.2 HIPÓTESE	4
2 OBJETIVOS	5
2.1 OBJETIVO GERAL.....	5
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	5
3 MATERIAIS E MÉTODOS	6
3.1 ÁREA DE ESTUDO	6
3.2 AQUISIÇÃO DE DADOS	8
3.3 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS	10
3.4 CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS BASEADA EM OBJETOS GEOGRAFICOS (GEOBIA)	11
3.4.1 Segmentação.....	11
3.4.2 Amostras de treinamento e classificação	13
3.4.3 Avaliação de Acurácia.....	14
5 RESULTADOS	16
6 DISCUSSÃO	21
7 CONCLUSÃO	23
REFERÊNCIAS	24
APÊNDICE A	29

1 INTRODUÇÃO

As alterações humanas no sistema terrestre vêm causando várias mudanças no ecossistema, em especial devido ao crescimento populacional associado a expansão urbana, responsáveis pela produção de resíduos sólidos, poluição hídrica e construções irregulares (Vitousek *et al.* 1997, Fidelis *et al.* 2015). Um dos impactos mais comuns em ambientes aquáticos urbanos, como os lagos, é a poluição por nutrientes a partir de esgotos domésticos e industriais (Rebouças *et al.* 2006) que, conseqüentemente, gera eutrofização dos ambientes lacustres (Moore *et al.* 2003, Cruz *et al.* 2015, Weber *et al.* 2020, Pu *et al.* 2021).

A eutrofização é um dos maiores problemas ambientais da atualidade (Tundisi 2001). Sendo caracterizada pelo excessivo crescimento de biomassa proveniente do enriquecimento de corpos aquáticos por nutriente (Smith e Schindler 2009). Normalmente quando esse processo ocorre de forma lenta, é definida como eutrofização natural, porém quando ocorre de forma acelerada é definido como eutrofização artificial. Vale ressaltar que os impactos da alta carga de nutrientes dependem de muitos fatores, como as características físicas do ambiente, composição das espécies e estado nutricional dos organismos ali presentes (Anderson *et al.* 2002).

Com base nisto, as técnicas de sensoriamento remoto mostram-se como excelentes ferramentas para monitorar e avaliar os impactos antrópicos, podendo cobrir uma vasta área espacial e temporal (Ritchie *et al.* 2003). Imagens de sensores remotos têm sido amplamente utilizada para o monitoramento ambiental em diversas áreas, como a análise de cobertura vegetal, níveis de erosão do solo, poluições de água e ar, queimadas e disposição irregular de resíduos (Teixeira 2015). Dados de sistemas sensores fornecem contribuições valiosas ao que diz respeito ao detalhe espacial, a disponibilidade temporal e ao custo de produção (Brauchler & Stoffels 2020), oferecendo uma boa visão espaço-temporal do ambiente (Rudorff *et al.* 2011).

Em 1972, a era moderna do sensoriamento remoto se inicia com o lançamento do satélite Landsat 1 (então denominado de Satélite de Tecnologia de Recursos Terrestres, ERTS), revelando a importância das medidas multiespectrais para o monitoramento dos processos biosféricos, para analisar a evolução sazonal e interanual das condições da terra (Williams *et al.* 2006). A missão principal do programa Landsat é compreender a extensão e conseqüências das mudanças da terra, tal como o monitoramento dos recursos naturais, através de uma perspectiva global, com um registro de longo prazo bem calibrado, seja ele utilizado em aplicações científicas, comerciais ou operacionais (Loveland & Dwyer 2012).

Quando as imagens Landsat surgem em 1972, seus dados eram considerados muito grosseiros (com 80 m de resolução espacial) para o uso comercial. Com o passar do tempo, a sua resolução espacial e espectral se tornou melhor (30 m) e agora estão disponíveis com sensores que permitem a interpretação de estruturas finas por observação direta das imagens (Donoghue & Watt 2006). A cobertura espacial e temporal da série de satélites Landsat transformou suas imagens em uma poderosa fonte de dados para o monitoramento das atividades humanas, como as mudanças da cobertura do solo e das mudanças climáticas globais (Mishra *et al.* 2016). Hoje em dia, esses dados são facilmente acessíveis, encontrando-se de forma gratuita com resolução máxima de 10 metros por pixel, como é o caso das imagens do satélite Sentinel-2.

Nos últimos anos, várias metodologias de processamento de imagens foram desenvolvidas para processar o número cada vez maior de dados de sensores remotos, como a análise de imagens baseada em objetos geográficos - GEOBIA, método esse que emula a percepção humana com relação a imagem e a percepção de objeto, levando em conta o tamanho, forma, tom, cor e textura dos mesmos (Hay & Castilla 2008, Blaschke *et al.* 2014). O que difere da análise por pixels de cores variadas, ou seja, apenas o valor de digital de brilho em cada pixel da imagem (Myint *et al.* 2011). Vários trabalhos utilizando GEOBIA foram realizados, empregando diferentes dados com distintas finalidades (Chen *et al.* 2012, Souza-filho *et al.* 2019, Nunes *et al.* 2019, Brauchler & Stoffels 2020).

Este estudo tem como objetivo analisar as mudanças da cobertura e uso do solo da Microbacia Hidrográfica dos Lagos Bolonha e Água Preta (MHLBA), sendo pertencente à Bacia hidrográfica do rio Murutucum, onde se encontra o Parque Estadual do Utinga (PEUt). Estes lagos são os mananciais que abastecem a região metropolitana de Belém (RMB) no estado do Pará. A problemática que há envolve é devido a expansão desordenado da área urbana, que de maneira geral, impacta os ecossistemas aquáticos, devido ao desmatamento, ineficiência do uso da água doce, introdução de descargas de agrotóxicos e emissão de efluentes domésticos e industriais (Silva *et al.* 2014).

Este ambiente vem sendo degradado desde 1966, quando a estrada de ferro Belém-Bragança foi desativada para abrir lugar à BR-316, que logo se tornou o principal eixo de expansão da cidade de Belém, acelerando a expansão urbana ao norte da MHLBA (Bordalo 2006). Bordalo (2006) enuncia que entre 1897 e 1899, a região do Utinga foi definida como manancial para o abastecimento da cidade e somente em 1984 as primeiras medidas legais foram tomadas para a proteção dos mananciais. Assim, foi criada uma área de proteção sanitária

com 15,99 km², e a área de proteção especial para fins de preservação dos mananciais da RMB com 18,25 km². Em 1993, esta região foi definida como Área de Proteção Ambiental (APA) com o objetivo de assegurar a qualidade das águas do manancial e a mesma tem sido modificada ao longo das últimas três décadas (Vasconcelos & Souza 2011, Guitierrez *et al.* 2017, Oliveira *et al.* 2018). Hoje, o PEUt (localizado dentro da APA) foi criado sobre a Área de Proteção Sanitária, com o intuito de proporcionar diversão e lazer à população da RMB.

1.2 JUSTIFICATIVA

A parcela da população urbana no mundo aumentou de 14% em 1900 para 29,1% em 1950 e 54% em 2014; e a população urbana é projetada para totalizar 66% da população global até 2050 (Mansour *et al.* 2020). A expansão dos centros urbanos em nações emergentes levou a uma mudança de cidades compactas e interconectadas para um desenvolvimento urbano extenso e descontrolado. Os efeitos dessas mudanças em termos de uso e cobertura da terra, bem como a expansão urbana, representam uma questão importante no que diz respeito, por exemplo a expansão urbana no entorno de barragens (Matlhodi *et al.* 2019) e mananciais de abastecimento de água urbana (Bordalo 2006).

A MHLBA localizada no PEUt, possui uma extrema importância para a RMB, visto que é utilizada como fonte de abastecimento público de água. O PEUt é uma das poucas áreas verdes remanescentes no processo de urbanização de Belém, com função de proteção da biodiversidade local e de seus mananciais, usados para abastecimento (Souza 2020). Mesmo após a implementação e a ampliação do sistema de abastecimento de água, a expansão urbana da cidade trouxe à tona os problemas de quantidade e qualidade de água para o abastecimento hídrico da região, sendo cada vez maior em virtude do crescimento populacional, que vem pressionando as fontes de abastecimento (Oliveira *et al.* 2015).

Portanto, o desenvolvimento atual e futuro dos recursos hídricos é dependente do estado em que seu entorno é encontrado, visto que o mesmo é muito sensível ao uso da terra e à intensificação das atividades humanas. A necessidade de dados sobre mudança da cobertura e uso do solo em amplas escalas espaciais e temporais e a quantificação destas mudanças é essencial para uma melhor compreensão das variabilidades espaciais e estruturais e seus efeitos ecológicos (Turner *et al.* 2007).

Além disso, o conhecimento abrangente sobre as mudanças na cobertura e uso do solo são úteis para reconstruir mudanças passadas e para prever mudanças futuras que podem, por sua vez, ajudar a explicar práticas de manejo sustentável destinadas a preservar funções

essenciais da paisagem (Hietel *et al.* 2004), como os lagos de abastecimento de águas urbanas. No entanto, entender o processo e o padrão de mudanças da paisagem ao longo do tempo e do espaço continua sendo um exercício desafiador, não apenas no campo da ciência da terra, mas também no campo das ciências geoespaciais (Murayama 2015).

Assim, os estudos de mudança da cobertura e uso do solo são realizados utilizando tecnologias de Sensoriamento Remoto (RS) e Sistema de Informações Geográficas (SIG). Essas tecnologias têm sido amplamente aceitas e têm uma longa história de apoio ao desenvolvimento e monitoramento da superfície terrestre para diferentes propósitos (Hathout 2002).

1.2 HIPÓTESE

A hipótese principal deste trabalho é que a expansão urbana que vem ocorrendo ao entorno da bacia hidrográfica tem alterado a cobertura do solo da região e a superfície das águas dos lagos Bolonha e Água Preta nos últimos anos, devido a uma pressão antrópica que se evidencia ao longo dos anos.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar as mudanças na cobertura da terra da bacia hidrográfica dos lagos Bolonha e Água preta e seu entorno utilizando técnica de classificação orientada ao objeto em imagens orbitais (GEOBIA) ao longo de 36 anos.

2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Classificar as imagens de satélite Landsat e Sentinel, no período de 1984 a 2020, através da metodologia GEOBIA.
- Mensurar as mudanças na cobertura e uso da terra no entorno dos lagos Bolonha e Água Preta.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho foram utilizadas imagens de sensores remotos orbitais dos programas Landsat, Copernicus Sentinel e modelos digitais de elevação (tabela 3). A metodologia compreende as etapas de aquisição de dados, processamento digital de imagens, análise orientada a objetos GEOBIA, avaliação de acurácia e exportação para o software de sistema de informação geográfica, como indicado no fluxograma a seguir (figura 1):

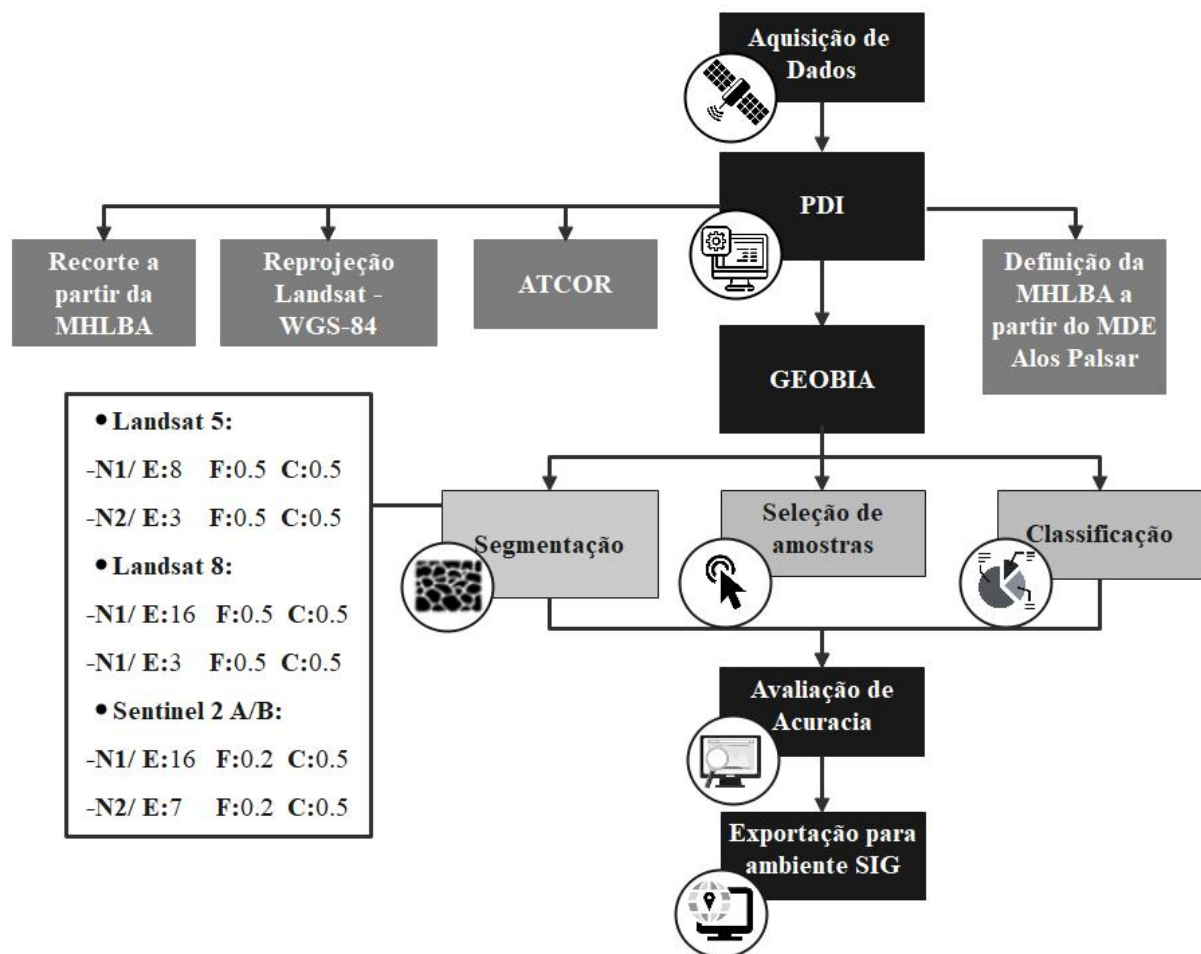


Figura 1 – Fluxograma geral das etapas realizadas no trabalho, com detalhes no processo de segmentação, sendo apresentado os parâmetros utilizados em nível 1 (N1) e Nível 2 (N2), onde E= Escala; F= Forma; C= Compacidade.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo (PEUt) está localizada na RMB no estado do Pará. Segundo a classificação climática de Koppen, essa região seria caracterizada como tropical sem estação seca, pois a mesma não possui uma estação seca propriamente dita, e sim uma estação menos chuvosa (Alvares *et al.* 2013). Assim sendo, podemos distinguir em duas estações distintas

nessa região, a estação de período chuvoso que se estende de janeiro a junho, e outra estação de período seco, se estendendo de julho a dezembro (Gloor *et al.* 2015). Isto limita as análises ligadas ao sensoriamento remoto óptico, devido a ocorrência de nuvens nessa região, restringindo os trabalhos de uso e ocupação do solo apenas ao período seco.

O PEUt possui dois lagos criados artificialmente, o Bolonha e o Água Preta. Estes lagos possuem um canal de ligação que conecta suas águas. Devido à alta demanda de água da região, o lago Água Preta é reabastecido artificialmente por um sistema de adução, que retira as águas do Rio Guamá próximo a desembocadura do canal do Aura, que passa próximo ao lixão do Aura como indicado na figura 1.

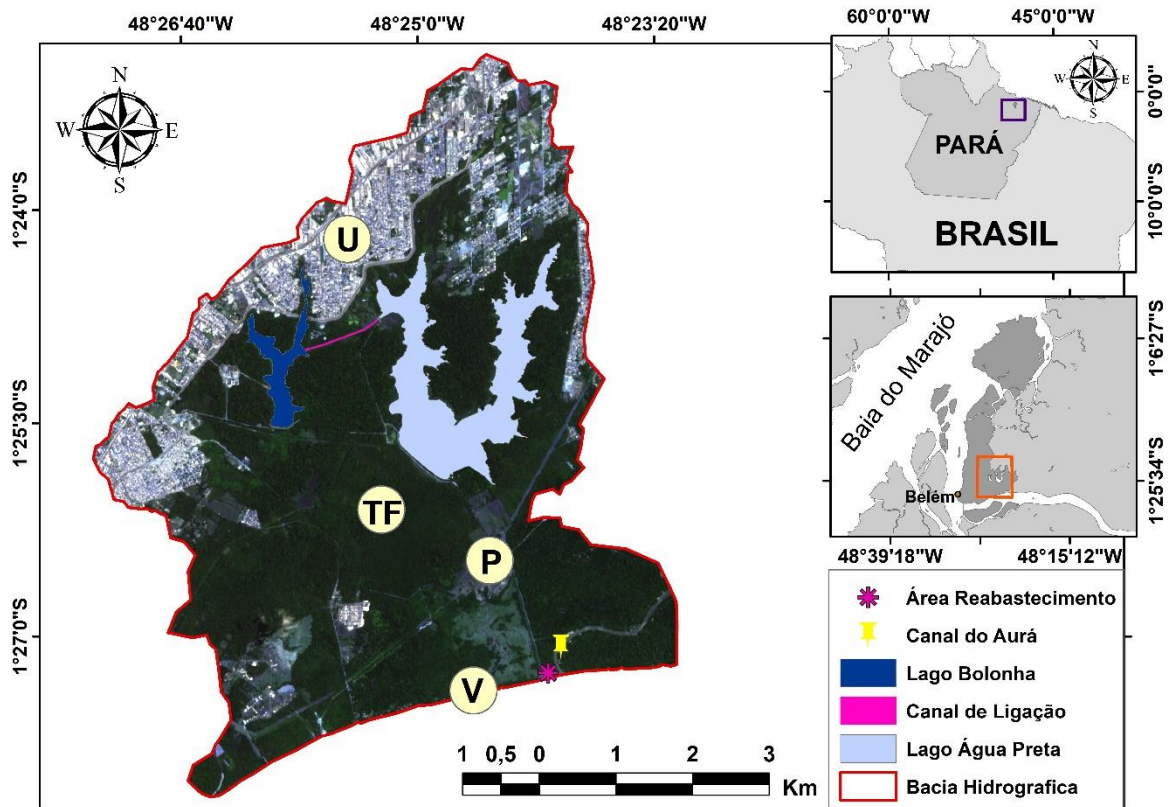


Figura 2 - Mapa de localização da área de estudo, destacando as localizações do canal do Aurá, a área de reabastecimento dos lagos e a delimitação da MHLBA e seu entorno, obtido a partir do MDE Alos Palsar. Também indica as áreas de: U = área urbana, V= floresta de várzea, TF = floresta de terra firme e P = pastagem. Imagem Sentinel-2A na composição colorida 4R3G2B, adquirida em 14/06/2020. Datum de referência WGS84. Fonte: Do autor.

Esses lagos são extremamente importantes para o abastecimento de água da RMB (Araújo *et al.* 2020). Apesar de sua importância, essa área atualmente vem sofrendo um intenso antropismo desde sua criação associado ao crescimento urbano (Fidelis *et al.* 2015). As alterações ambientais são causadas por diversos fatores, como presença de lixões a céu aberto,

expansão urbana descontrolada e esgotos sanitários que criam riscos para o ecossistema e para a população que é dependente dele (Pimentel *et al.* 2016).

Bordalo (2006), aborda que a MHLBA é usada para o abastecimento da RMB desde 1887, onde as águas dos mananciais “Aureliano”, “Buiussuquara” e “Antão” eram extraídas da mata do Utinga por um sistema de canalização. Porém, somente em 1906, durante o governo do Dr. Augusto Montenegro, as terras da antiga fazenda do Utinga foram desapropriadas com o objetivo de preservar as nascentes dos mananciais “Buiussuquara”, “Catu” e “Utinga”. Somente entre 1945 a 1951, foram realizadas as obras de engenharia que deram origem aos lagos Bolonha e Água Preta. Neste trabalho, esses lagos foram considerados como uma feição natural, pois existem a mais de 50 anos, mas originalmente, são artificiais.

3.2 AQUISIÇÃO DE DADOS

As imagens de sistemas sensores que foram utilizadas para a análise das mudanças da cobertura e uso do solo da área em estudo, consiste em um conjunto de dados de satélites dos programas Landsat (Earth Observation Satellite Program) e Sentinel-2A/B (Copernicus Programme), juntamente com um Modelo Digital de Elevação (MDE) da missão SRTM, (Shuttle Radar Topographic Mission) utilizado para correção radiométrica. Ambas as imagens foram adquiridas gratuitamente através do United States Geological Survey (USGS), no portal de dados Earth Explorer (earthexplorer.usgs.gov).

Para este trabalho também foi utilizado um segundo MDE, do satélite ALOS PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar - Advanced Land Observing Satellite) obtido pela plataforma Alaska Satellite Facility (search.asf.alaska.edu) produzido pela Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) em 2006, com uma resolução espacial de 12,5 metros por pixel (Bouvet *et al.* 2018). Este dado foi utilizado com o objetivo de determinar os limites da MHLBA.

O Uso de MDE's favorece o desenvolvimento de pesquisas em pequenas bacias hidrográficas, como é o caso da MHLBA, auxiliando no reconhecimento das características físico-ambientais, sendo de grande importância no processo da gestão de recursos naturais (Moraes & Sales 2016). O MDE Alos Palsar de resolução mais fina foi utilizado para a delimitação da bacia hidrográfica a partir do uso da ferramenta *ArcHydro Tools* do Software ArcGIS 10.5 (Silva *et al.* 2020).

Os dados de elevação da missão de topografia por radar SRTM foram utilizados para a Orthoretificação das imagens Landsat e Sentinel-2A/B. Esta missão foi iniciada em fevereiro

de 2000, e fez a varredura da superfície da terra durante 11 dias abordo da nave Endeavour, gerando dados da superfície terrestre com 1 segundo de arco (aproximadamente 30 metros no equador) de resolução espacial (Rabus *et al.* 2003).

As imagens escolhidas do programa Landsat, são dados brutos da coleção 1 gerados a partir dos satélites Landsat 5 Thematic Mapper (TM) e Landsat 8 Operational Land Imager (OLI). As imagens dos anos correspondentes à 1984, 1989, 1994, 1999, 2004 e 2008 foram adquiridas pelo Landsat 5 TM, que possui sete bandas espectrais. Enquanto as imagens dos anos de 2014 e 2015 são referentes ao satélite Landsat 8 OLI que apresenta nove bandas multiespectrais. Detalhes das características destes sensores são apresentadas na Tabela 1.

Em geral, as bandas espectrais dos satélites Landsat são semelhantes, apresentando pequenas diferenças nos intervalos espectrais, porém as bandas do Landsat 8 são mais estreitas para evitar as características de absorção da atmosfera e do vapor de água. Além disso, é incluso duas bandas extras, uma banda na faixa do azul para detecção de aerossóis e uma banda cirrus para ajudar na detecção de nuvens (Loveland & Dwyer 2012, Mishra, *et al.* 2016). Isto se deve pelo avanço do conhecimento científico e aprimoramento dos sensores.

Tabela 1 - comparação entre os satélites Landsat 5-TM e Landsat 8-OLI com as faixas espectrais de cada banda em nanômetro (μm) e resolução espacial em metros (m).

Landsat 5-TM			Landsat 8-OLI		
<i>Bandas</i>	<i>F. Espectral</i>	<i>Resolução</i>	<i>Bandas</i>	<i>F. espectral</i>	<i>Resolução</i>
1 - Azul	0,45-0,52	30 m	1 - Azul costeiro	0,43-0,45	30 m
2 - Verde	0,52-0,60	30 m	2 - Azul	0,45-0,51	30 m
3 - Vermelho	0,63-0,69	30 m	3 - Verde	0,53-0,59	30 m
4 - InfraV. Próx.	0,76-0,90	30 m	4 - Vermelho	0,64-0,67	30 m
5 - InfraV. Médio	1,55-1,75	30 m	5 - Infra V. Próx.	0,85-0,88	30 m
6 - InfraV. Termal	10,4-12,5	120 m	6 - InfraV. Médio	1,57-1,65	30 m
7 - InfraV. Próximo	2,08-2,35	30 m	7 - InfraV. Médio	2,11-2,29	30 m
			8 - Pancromática	0,50-0,68	15 m
			9 - Cirrus	1,36-1,38	30 m

A missão Sentinel-2 é composta por dois satélites, o Sentinel-2A e o Sentinel-2B, equipados com um instrumento multiespectral, lançados em 2015 e 2017, respectivamente (Ardö 2021). Os satélites possuem 13 bandas espectrais, sendo quatro no visível e infravermelho próximo com 10 metros de resolução espacial, seis bandas com 20 metros de resolução e outras três com 60 metros, como apresentado na tabela 2. Para este trabalho foram utilizadas as bandas com resoluções espaciais de 10 metros, ou seja, as bandas 2, 3, 4 e 8. As imagens utilizadas destes satélites são referentes aos anos de 2017, 2018, 2019 e 2020.

Tabela 2 - Bandas espectrais e resoluções espaciais do satélite Sentinel 2-A/B.

Sentinel 2-A/B			
<i>Bandas</i>	<i>Bandas ESA</i>	<i>F. Espectral (μm)</i>	<i>Resolução (m)</i>
1 – Azul	1	0,433-0,453	60
2 – Azul	2	0,440-0,538	10
3 – Verde	3	0,537-0,582	10
4 – Vermelho	4	0,646-0,684	10
5 – Rededge 1	5	0,694-0,713	20
6 – Rededge 2	6	0,769-0,797	20
7 – Rededge 3	7	0,760-0,908	20
8 - BroadNIR	8	0,848-0,881	10
9 – NIR	8B	0,935-0,955	20
10 – NIR	9	1,360-1,390	60
11 – NIR	10	1,539-1,628	60
12 – SWIR 1	11	1,539-1,682	20
13 – SWIR 2	12	2,078-2,320	20

Todas as imagens utilizadas estão listadas na tabela com identificação do satélite e com a data de aquisição na tabela 3.

Tabela 3 - Lista dos dados utilizados para a realização do trabalho, informando a data que o dado foi adquirido pelo respectivo satélite.

Série Landsat.		Série Sentinel-2.	
<i>Data de aquisição</i>	<i>Satélite</i>	<i>Data de aquisição</i>	<i>Satélite</i>
27/07/1984	Landsat 5	20/07/2017	Sentinel-2B
10/08/1989	Landsat 5	14/08/2018	Sentinel-2B
21/06/1994	Landsat 5	25/07/2019	Sentinel-2B
21/07/1999	Landsat 5	14/06/2020	Sentinel-2A
15/05/2004	Landsat 5	Modelos Digitais Elevação.	
13/07/2008	Landsat 5	2000	Endeavour - SRTM
12/06/2014	Landsat 8	2007	Alos - Palsar
21/10/2015	Landsat 8		

3.3 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

A captura das imagens de satélite ocorre a uma grande distância da superfície terrestre, logo, há um grande percurso atmosférico que a radiação eletromagnética precisa percorrer antes de chegar ao sistema sensor (Santos *et al.* 2015). Esse percurso da radiação pode gerar erros nos dados devido a interferência da atmosfera ou pela própria deterioração do sistema sensor, gerando distorções radiométricas que causam erros na geometria e nos valores registrados dos pixels que precisam ser corrigidos (Zanotta *et al.* 2019).

As correções de tais erros contidos nas imagens podem ser feitas com base em modelos matemáticos que variam seus critérios de correção de satélite para satélite (Santos *et al.* 2015). Neste trabalho, foi adotado o modelo matemático *ATCOR - Ground Reflectance Wizard* para série Landsat e Sentinel. Assim, foi realizada a conversão dos valores dos pixels para refletância de acordo com a metodologia proposta por Richter e Schläpfer (2002), fundamentada em um modelo de transferência radioativa de espalhamento e absorção, levando em conta a altimetria do terreno extraída do MDE da missão SRTM.

Após o processo de correção, as imagens foram reprojetaadas para o DATUM WGS-84, zona 22 do hemisfério sul. Por fim, foi realizado o recorte da MHLBA com base no MDE da missão Alos Palsar.

3.4 CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS BASEADA EM OBJETOS GEOGRAFICOS (GEOBIA)

A classificação das imagens foi conduzida com base na metodologia GEOBIA. Esta metodologia tem como essência três processos: a segmentação de multiresolução, treinamento de amostras com base na segmentação e a classificação por classes (Souza-filho *et al.* 2018). Essas etapas foram realizadas no software eCognition®, após esses processos foi feita exportação dos dados para um ambiente de sistema de informação geográfica (SIG) (Vasconcelos 2019).

3.4.1 Segmentação

O processo de segmentação se dá pela divisão da imagem em segmentos que apresentam características similares, tais como, a forma, textura ou a cor, sendo capaz de incorporar informações espaciais e espectrais (Blaschke *et al.* 2014), mudando a representação da imagem para algo mais simples de se analisar, gerando segmentos que podem ou não representar um objeto geográfico (Zanotta *et al.* 2019).

No software eCognition®, a etapa foi realizada com o algoritmo *multiresolution segmentation*, que fragmenta a imagem considerando o parâmetro de escala dos alvos juntamente com a resolução da imagem (Definiens Developer 2012). Com isso foi definido dois níveis de segmentação, com parâmetro escala de 16 em nível 1, e 7 em nível 2 para as imagens Sentinel. Para as imagens Landsat, os níveis foram definidos com os valores 8 e 3 para os níveis 1 e 2, respectivamente.

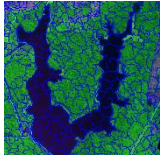

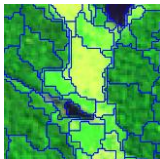

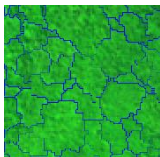

Além disso, foi considerada a magnitude da banda espectral ao atribuímos “pesos” às diferentes bandas. Com isso a segmentação se procedeu de forma individualizada para cada imagem afim de evitar a incorporação de segmentos de nuvens presentes em algumas cenas, gerando dois níveis com as seguintes classes:

- Nível 1 – Corpos Hídricos, Corpos não Hídricos e Sem dados. Para analisar a região ocupada pela água.
- Nível 2 – Corpos Hídricos, Ocupação Antrópica, Macrófitas, Floresta, Pastagem e Sem Dados que representa. Um nível de segmentação mais detalhada para analisar a dinâmica histórica da cobertura e uso do solo.

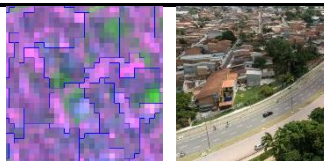
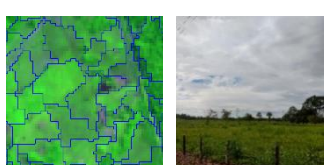
As definições de cada classe da classificação de nível 2 estão descritas na tabela 4, onde é apresentada uma imagem da classe segmentada e uma fotografia de cada classe mapeada em campo.

Tabela 4 - Descrição do sistema de classificação de cobertura e uso da terra neste estudo.

(continua)

Classes	Imagem Segmentada	Imagem Real	Descrição
<i>Classes de cobertura biofísica observadas na superfície da terra</i>			
Corpos Hídricos			Lagos e rios. Corpo d'água constituído por uma alta quantidade de sedimentos em suspensão provenientes do Rio Guamá.
Macrofilas			Conjunto de plantas aquáticas desenvolvidas na superfície dos lagos.
Floresta			Caracterizada por uma floresta ombrófila densa nativa e secundária, com dosséis abertos e fechados.
<i>Classes de uso do solo caracterizadas pelas alterações causadas por atividades humanas que produzem uma determinada mudança no ambiente.</i>			

(conclusão)

Ocupação Antrópica		Assentamentos urbanos constituídos com uma alta densidade populacional.
Pastagem		Área constituída por gramíneas (vegetação herbácea), por vezes, com pequenos arbustos destinada a atividades pastoris.

Obs: a classe de “Corpos não Hídricos” da classificação de nível 1 é caracterizada por todas as classes que não apresentam água associada a superfície do alvo.

3.4.2 Amostras de treinamento e classificação

Após as classes serem definidas, foram coletadas várias amostras de segmentos na imagem, para se ter um alto grau de representatividade das amostras de cada classe. Após a seleção das amostras, foi feita a classificação das cenas. A imagem de 2016 do satélite Landsat-8 OLI, juntamente com outra imagem de 2016 do satélite Sentinel-2A, foram desconsideradas devido à alta incidência de nuvens que atrapalharam o processo de classificação. A figura 2 ilustra o processo de segmentação das imagens em dois níveis hierárquicos, assim como a classificação.

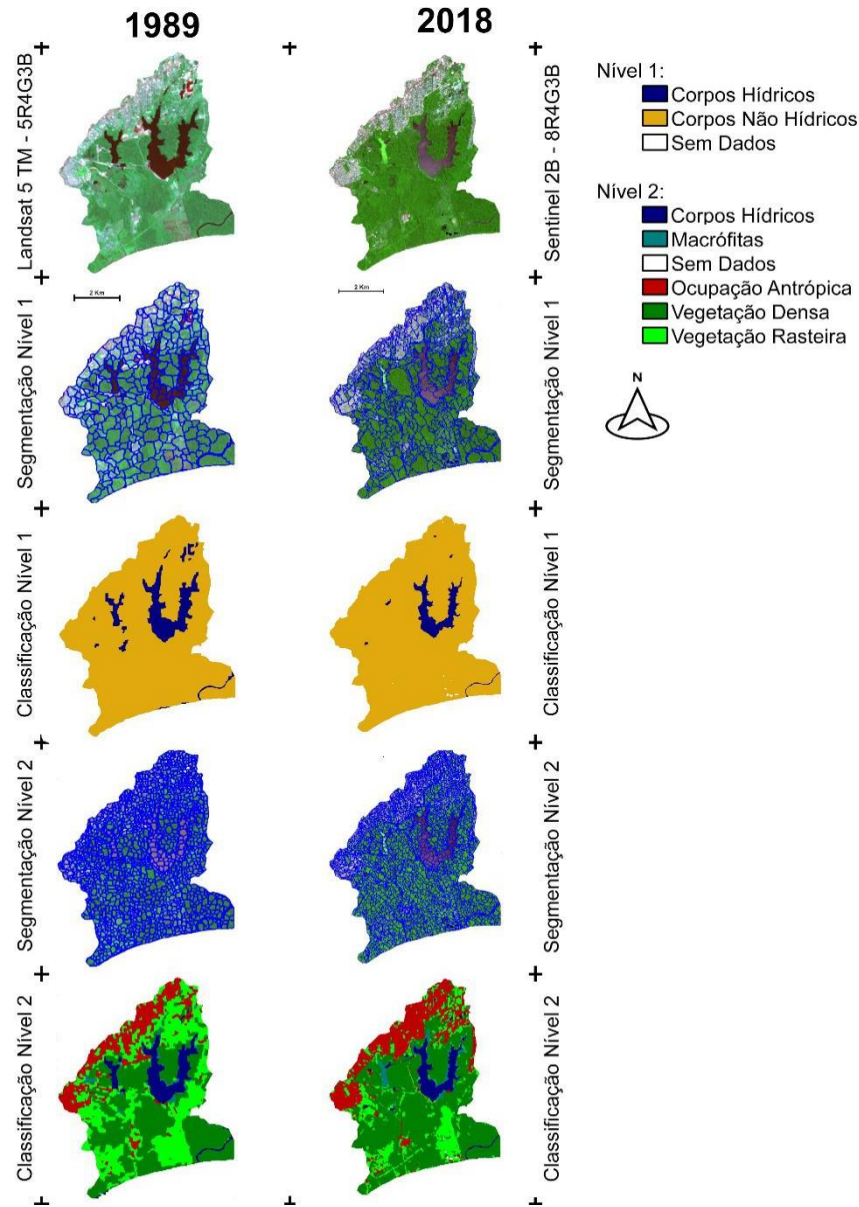


Figura 3 – Exemplo de segmentação e classificação das imagens Landsat-5 TM 5R4G3B de 1989 e Sentinel-2B 4R3G2B de 2019. Sobre ambas as imagens colorida são ilustrados os segmentos nos níveis 1 e 2; assim como a classificação temática para objetos de níveis 1 e 2, resultado final da agregação temática.

3.4.3 Avaliação de Acurácia

Dados de sensoriamento remoto que retratam as mudanças temporais dos solos exigem que sejam feitas avaliações quantitativas de acurácia para identificar os erros da classificação e as incertezas dessas estimativas afim de reforçar a confiança das informações geradas e das análises realizadas (Olofsson *et al.* 2014). Visto que a classificação da cobertura e uso do solo também está sujeita a erros (Powell *et al.* 2004).

Uma avaliação de acurácia de cobertura do solo se baseia em comparar a classificação com a condição observada no terreno, a partir de uma amostragem estatística, resumindo os

dados e gerando estimativas de acurácia geral e específica. Neste trabalho, foi adotada a matriz de erro ou confusão que apresenta a proporção da área que está corretamente classificada e mal classificada para os diferentes tipos de classes e as estimativas de acurácia (Stehman 2009).

Para a avaliação de erro será considerada a matriz de erro (Gallego 2004, Olofsson *et al.* 2014), o coeficiente de acurácia global, que se trata da relação entre as amostras classificadas e o número total de amostras (Congalton & Green 2009), e os índices de concordância e discordância (Pontius & Millones 2011). Os tradicionais índices de concordância Kappa não foram considerados, vistos que são redundantes e por vezes falhos para fins de aplicações práticas em sensoriamento remoto (Pontius & Millones 2011).

A classificação das imagens foi realizada no software Focus, que faz parte do pacote de software do PCI Geomatica (2015). Para a avaliação de acurácia foram distribuídos 500 pontos aleatórios em cada imagem, a partir dos quais foram realizadas as avaliações de acurácia da classificação de cada imagem (Apêndice).

5 RESULTADOS

Para avaliar a classificação a partir da GEOBIA, foram realizadas campanhas de campo na área de estudo com a finalidade de identificar os diferentes tipos de cobertura e uso do solo e avaliar a relação entre as interpretações das imagens e as classes reconhecidas no terreno. A figura 3 apresenta as imagens Landsat de 1984 a 2015 e a figura 4 apresenta as imagens Sentinel de 2017 a 2020, juntamente com as classificações de nível 1 e nível 2. A classificação se mostrou efetiva para as cinco classes que foram analisadas neste estudo. Ao observarmos a classificação de nível 1 podemos perceber que os corpos hídricos foram diminuindo e até mesmo desaparecendo ao longo dos anos. Com base na classificação de nível 2, podemos inferir que isso se deu pelo fato do adensamento populacional e pelo desenvolvimento de macrófitas aquáticas nos lagos, principalmente no lago Bolonha.

Também é possível perceber que a classe de floresta aumentou com o passar dos anos, indicando uma conversão de áreas de pastagens em floresta. A figuras 5 apresenta essa mudança na região da antiga fazenda do Utinga, onde parte da vegetação de pastagem foi convertida em floresta.

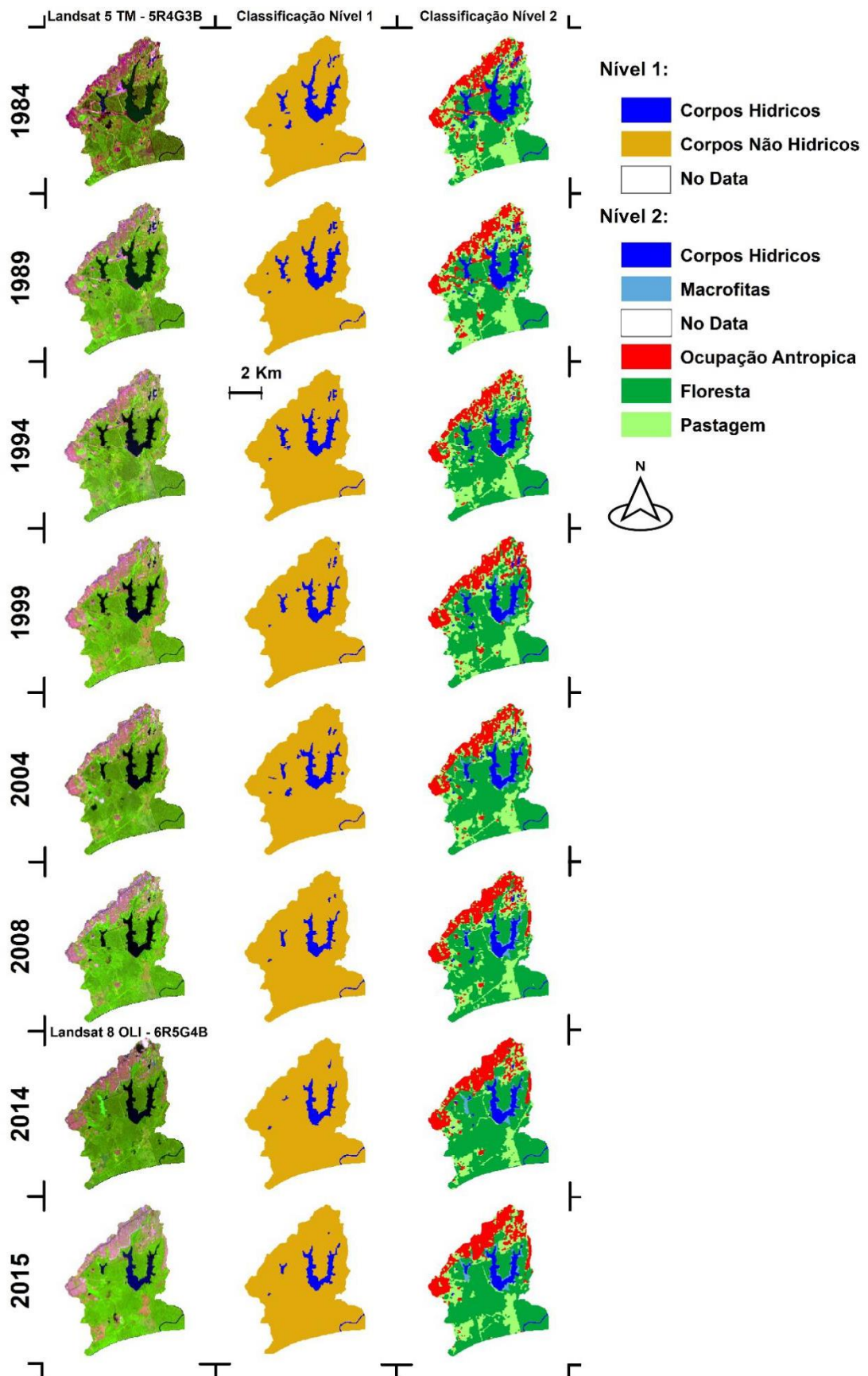


Figura 4 - Resultado da classificação de nível 1 e 2 para as imagens Landsat-5 TM e Landsat-8 OLI.

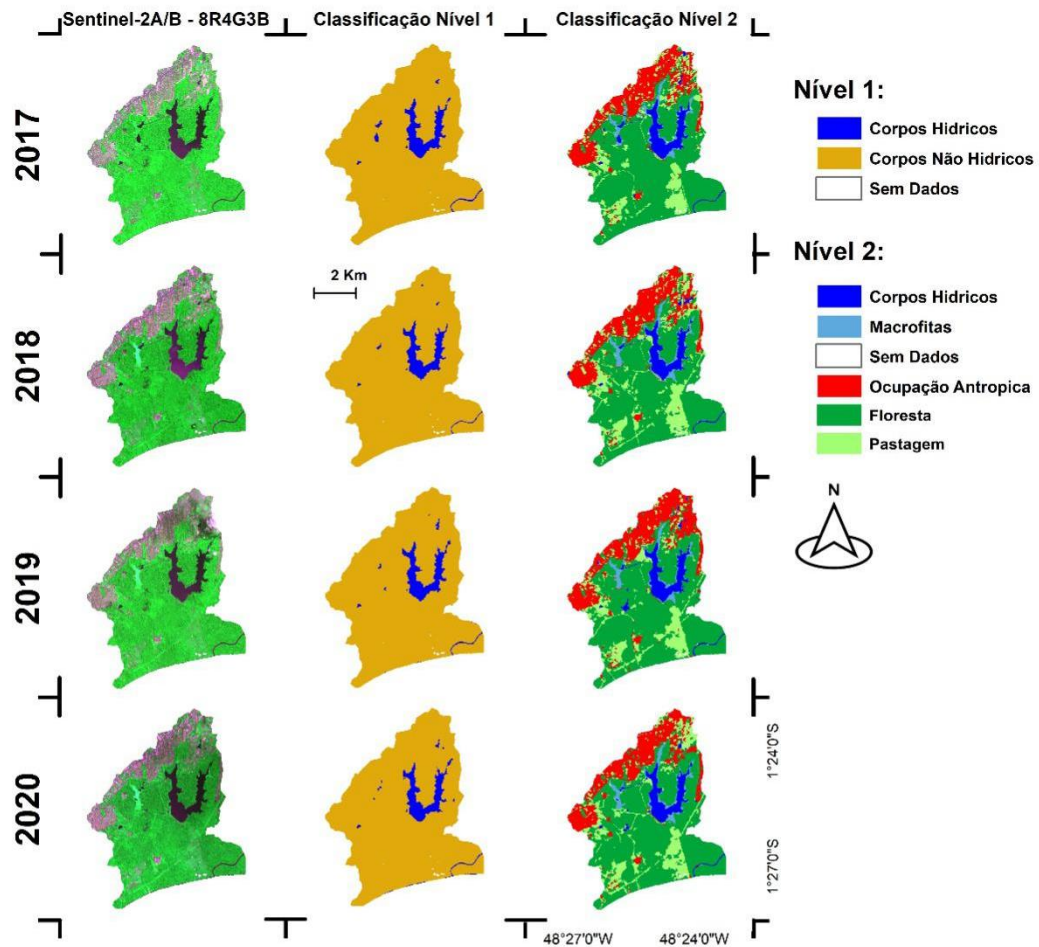


Figura 5 – Resultado da Classificação de nível 1 e 2 para as imagens Sentinel-2A/B.

Os resultados obtidos a partir da avaliação de acurácia indicam que uma grande maioria dos segmentos foram classificados corretamente. O erro mais comum nas imagens foi entre as classes de floresta e pastagem devido à alta semelhança da resposta espectral. Do mesmo modo, a classe de macrófitas apresentou confusão com as mesmas classes de floresta e pastagem, devido a presença da vegetação Anhinga, que se trata de uma planta aquática de grande porte.

Os coeficientes de acurácia global foram de 90.2%, 88.4%, 89.2%, 91.8%, 91.2% e 92.6% para as imagens Landsat-5 TM de 1984, 1989, 1994, 1999, 2004 e 2008, respectivamente. Para as duas imagens Landsat-8 OLI de 2014 e 2015, a acurácia global foi de 94.0% e 93.0%, respectivamente. Já as imagens Sentinel-2A/B de 2017, 2018, 2019 e 2020 apresentaram valores de acurácia de 95.4%, 92.4%, 90.2% e 92.6%, respectivamente.

Os maiores erros de omissão ocorreram na classe de ocupação antrópica (26,9%) na imagem Landsat-5 TM 1994, enquanto os maiores erros de comissão ocorreram na classe de pastagem para a imagem Landsat-5 TM 1989 (39,9%). Esta confusão pode ser explicada pela presença de diferentes tipos de vegetações em meio a cidade. Na imagem Landsat-5 TM 1994

se observou um erro de omissão de 50% na classe de macrófitas, devido a poucos pontos que foram distribuídos, onde apenas dois foram classificados corretamente e outros 2 foram classificados de maneira incorreta. Os resultados da avaliação de acurácia podem ser observados na tabela A1, no apêndice.

A quantificação das áreas de 1984 a 2020 mostra que a área de pastagem possuía uma área total de 12,11 km² (16,56%) e passou a ter 6,06 km² (8,24%). Já a classe de floresta aumentou cerca de 6,86 km², enquanto 14,61 km² permaneceram inalterados. A cobertura de macrófitas aquáticas também apresentou um aumento considerável, mostrando uma mudança relativa de 1,04 km², restando apenas 2,01 km² de espelho d'água. A classe de ocupação antrópica apresentou um aumento de 0,21 Km². A figura 5 ilustra essas alterações que ocorreram entre essas classes.

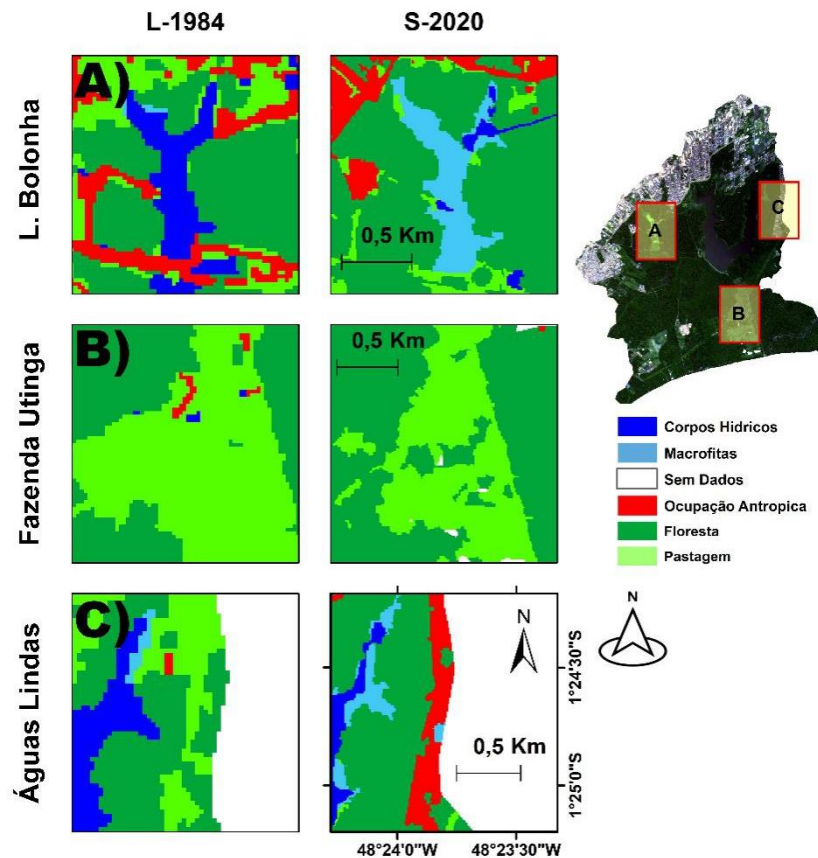


Figura 6 - Mapa de detecção de mudança entre os anos de 1984 e 2020 para o Lago Bolonha, região da antiga fazenda do Utinga e para o bairro de Águas Lindas.

A classe sem dados foi criada para separar a borda da imagem, porém as imagens Sentinel-2A/B apresentaram pixels sem dados espectrais, que fez aumentar a classe sem dados. A quantificação das classes de todos os anos analisados pode ser observada na tabela A2 em apêndice.

Tabela 5 – Quantificação da área das classes para os anos de 1984 e 2020 com a mudança relativa de cada classe.

Classes	1984		2020		Mudança relativa (Km ²)
	Área (Km ²)	%	Área (Km ²)	%	
Corpos Hídricos	4,11	5,62	2,29	3,11	-1,82
Macrófitas	0,16	0,22	1,20	1,63	1,04
Ocupação antrópica	7,06	9,66	7,20	9,79	0,13
Floresta	16,64	22,76	23,49	31,98	6,86
Pastagem	12,11	16,56	6,06	8,24	-6,05

6 DISCUSSÃO

Neste trabalho, quantificamos a área de macrófitas que cobrem os lagos Bolonha e Água Preta, bem como as demais classes de cobertura e uso do solo (figura 6). Esse afloramento de macrófitas ocorrente ao longo tempo, pode indicar que que esses lagos vêm sofrendo um processo de eutrofização ocasionada pela pressão antrópica no ambiente. Esse fato indica uma redução da qualidade do ambiente, e conseqüentemente, compromete a saúde dos seres que dependem desse ecossistema (Silva *et al.* 2014).

Ao considerar a ocupação antrópica na BHLB, percebe-se que houve um pequeno aumento nessa classe (figura 6). Guitierrez (2017) analisou o uso e ocupação do solo para toda APA de Belém e constatou que houve um aumento significativo de área urbanizada, bem como a perda da vegetação dentro da própria APA. Além disso, a contaminação por águas subterrâneas pode se tornar uma possível fonte de contaminação, pois, na maioria das cidades se faz o uso de fossa séptica, que tende a contaminar o lençol freático (Rebouças *et al.* 2006).

Fora a ocupação urbana desordenada, outro fator que dever ser discutido é o fato de que a água bruta captada pelo sistema de adução do Rio Guamá se localiza próximo à foz do canal do Aurá, onde a acima encontra-se o depósito de resíduos sólidos do Aurá. A localização deste depósito de lixo pode contaminar os mananciais pela lixiviação nos períodos chuvosos juntamente com o vazamento de redes de esgoto e descarte indevido de lixo (Rebouças *et al.* 2006).

Ainda que ações que visam recuperar esse ecossistema sejam tomadas, os nutrientes acumulados ao longo do tempo, ainda poderão estar em permanente troca nas interfaces sedimento e coluna d'água, mantendo as condições de eutrofização, como ocorre na lagoa Rodrigo de Freitas, no Rio de Janeiro (Soares *et al.* 2012). Altos valores de fósforo podem ser encontrados no lago Água Preta, resultado de esgotos doméstico e industrial que são lançados no lago, além de metais pesados de origem antrópica que estão presente nos sedimentos (Santos *et al.* 2015).

Silva *et al.* (2014), ao analisar a qualidade da água dos mananciais, concluiu que o índice de qualidade da água foi classificado como aceitável para o abastecimento humano, porém o autor frisa que esse índice não se mostra eficiente quando se trata da Amazônia. Em casos de sistema de tratamento coletivo, como é o caso dos lagos Bolonha e Água Preta, ao apresentar certos níveis de impureza, demanda-se tratamentos convencionais para que a água esteja dentro

de um padrão de qualidade aceitável, fazendo-se ser necessário o tratamento de água mais eficiente, podendo ser até antieconômico, já que envolve o melhor controle da água que será distribuída (Derisio 2017).

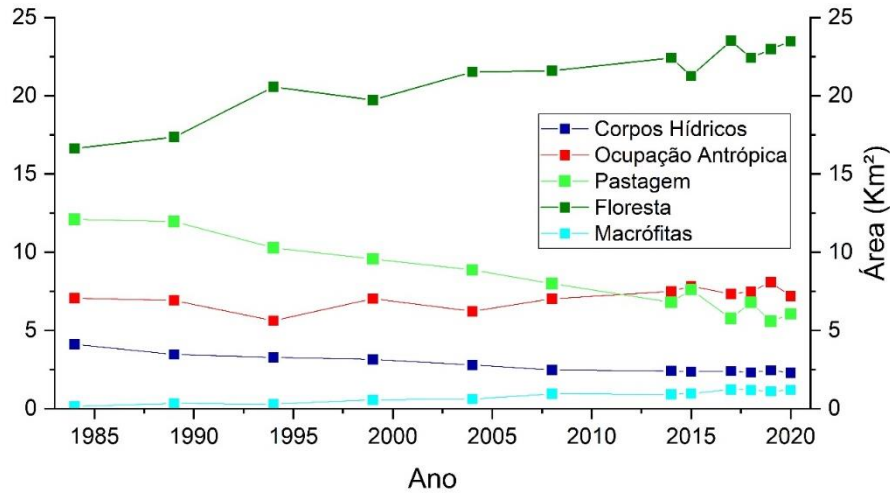


Figura 7 – Gráfico de evolução de uso e ocupação dos solos da MHLBA entre os anos de 1985 a 2020.

O aumento da floresta indica que a floresta do PEUt está passando por um processo de recuperação, avançando sobre as antigas áreas de pastagem, como pode ser observado na figura 6. Esses resultados se devem ao fato da proibição de atividade econômicas ao tornar a região parte da APA, minimizando os possíveis impactos causados pela expansão antrópica. Evidenciando o processo de regeneração natural no processo de restauração florestal (Chini *et al.* 2015).

A presença da linha de transmissão de energia elétrica (“linhão”) da cidade, que corta o PEUt, teve influência no resultado, pois em imagens em que o algoritmo de segmentação não identificou o linhão como um segmento, acabou classificando o mesmo como floresta, como é o caso da classificação em 2017, onde se tem uma variação na classe de floresta e na classe de pastagem. Em 2015 outra variação se mostra presente, neste caso, essa interferência possivelmente se deu devido ao aparecimento de uma nuvem na cena Landsat.

7 CONCLUSÃO

A análise de sensoriamento com base na metodologia GEOBIA foi importante para poder mapear e quantificar as áreas discriminadas pelas classes, demonstrando uma classificação efetiva para poder determinar as mudanças no uso e ocupação dos solos da MHLBA.

Com base neste estudo podemos dizer que em decorrência da pressão antrópica que ocorre neste local, os lagos Bolonha e Água Preta vem sofrendo um processo de eutrofização, processo esse que gerou um aumento significativo de macrófitas aquáticas presentes nos lagos, conseqüentemente fez com que o espelho d'água fosse reduzido. Além disso foi possível observar que várias regiões de pastagem vêm passando por um processo de recuperação florestal natural, decorrente da determinação da APA. Determinação essa que de forma legal limita o avanço urbano aos arredores do PEUt, gerando um adensamento populacional nos assentamentos urbanos.

Com base nos resultados, é importante que a MHLBA seja monitorada, tanto pelo governo, quanto pela sociedade civil, para evitar o avanço da degradação ocorrente neste ambiente que possui uma grande importância para RMB. Enquanto as áreas urbanas continuarem a crescer, os limites urbanos continuam a se expandir, ameaçando cada vez mais o processo eutrofização nos mananciais do Utinga.

Por fim conclui-se que a GEOBIA é uma ferramenta poderosa para análises de ecossistemas aquáticos, podendo ter sua escala de uso ampliada para tais fins.

REFERÊNCIAS

- Alvares C.A., Stape J.L., Sentelhas P.C., Gonçalves J.L.M., Sparovek G. 2013. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, **22**: 711-728,
- Anderson D. M., Glibert P. M., Burkholder J. M. 2002. Harmful algal blooms and eutrophication: Nutrient sources, composition, and consequences. *Estuaries*, **25**: 704–726.
- Araújo T. F. de., Blanco C. J. C., Alves C. da S., Holanda P. da S., Secretan Y. 2020. Hydrodynamic modeling of the Utinga source in Belém, Pará, Brazil. *Modeling Earth Systems and Environment*, **7**(1): 317-329.
- Ardö J. 2021. A sentinel-2 data set for Uganda. *Data*. **6**(4): 35.
- Blaschke T., Hay G. J., Kelly M., Lang, S., Hofmann P., Addink E., Feitosa R.Q., Meer F.V.D., Werff H., Collie F., Tiede D. 2014. Geographic object-based image analysis – towards a new paradigm. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **87**: 180–191.
- Bordalo C. A. L. 2006. *O desafio das águas numa metrópole amazônica: uma reflexão das políticas de proteção dos mananciais da região metropolitana de Belém-Pa (1984 – 2004)*. MS Dissertation, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido, Universidade Federal do Pará, 282p.
- Bouvet A., Mermoz S., Toan T. L., Villard L., Mathieu R., Naidoo L., Asner G. P. 2018. An above-ground biomass map of African savannahs and woodlands at 25 m resolution derived from Alos Palsar. *Remote Sensing of Environment*, **206**: 156-173.
- Brauchler M. & Stoffels J. 2020. Leveraging OSM and GEOBIA to Create and Update Forest Type Maps. *Isprs International Journal of Geo-Information*, **9**(9): 499.
- Chen G., Hay G. J., St-Onge B. 2012. A Geobia framework to estimate forest parameters from lidar transects, Quickbird imagery and machine learning: a case study in Quebec, Canada. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, **15**: 28–37.
- Congalton R. G. & Green K. 2009. *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. 2nd. [S.l.], CRC Press. 183 p.
- Cruz J. V., Pacheco D., Porteiro J., Cymbron R., Mendes S., Malcata A., Andrade C. 2015. Sete Cidades and Furnas lake eutrophication (São Miguel, Azores): Analysis of long-term monitoring data and remediation measures. *Science of the Total Environment*. **520**: 168-186.
- Definiens Developer. 2012. *Ecognition reference Book*. [S. l., s. n.].
- Derisio J. C. 2017. *Introdução ao controle de poluição ambiental*. 5ª ed. São Paulo, Oficina de Textos. 232 p.
- Donoghue D. N. M. & Watt P. J. 2006. Using LiDAR to compare forest height estimates from IKONOS and Landsat ETM+ data in Sitka spruce plantation forests. *International Journal of Remote Sensing*, **27**(11): 2161–2175.
- Fidélis J. F. M. A., Lima S. Q., Lima, A. M. M. de, Krag M. N., Guerreiro Q. L. M. 2015. Bio-geoindicadores aplicados ao ecoturismo em Unidades de Conservação localizadas em espaços urbanos. *Revista Brasileira de Ecoturismo (Rbecotur)* **8**(2): 212-233.

- Gallego F. J. 2004. Remote sensing and land cover area estimation. *International Journal of Remote Sensing*, **25**(15): 3019–3047.
- Gloor M., Barichivivh J., Brienen R., Schongart J., Peylin P., Cintra B. B. L., Feldpausch T., Phillips O., Baker J. 2015. Recent Amazon climate as background for possible ongoing and future changes of Amazon humid forests. *Global Biogeochemical Cycles*, **29**(9): 1384-1399.
- Gutierrez C. B. B., Ribeiro H. M. C., Morales G. P., Gutierrez D. M. G., Santos L. S., Paula M. T. 2017. Análise espaço-temporal do uso e cobertura do solo no interior da APA Belém e correlação com os parâmetros de água dos seus mananciais. *Revista Brasileira de Geografia Física*, **10**(01): 521-534.
- Hathout S. 2002. The use of GIS for monitoring and predicting urban growth in East and West St Paul, Winnipeg, Manitoba, Canada. *J. Environ. Manag.*, **66**: 229–238.
- Hietel E., Waldhardt R., Otte A. 2004. Analysing land-cover changes in relation to environmental variables in Hesse, Germany. *Landsc. Ecol.*, **19**: 473–489.
- Loveland T. R. & Dwyer J. L. 2012. Landsat: Building a strong future. *Remote Sensing of Environment.*, **122**: 22-29.
- Mansour S., Al-Belushi M., Al-Awadhi T. 2020. Monitoring land use and land cover changes in the mountainous cities of Oman using GIS and CA-Markov modelling techniques. *Land Use Policy.*, (91): 104414.
- Matlhodi B., Kenabatho P.K., Parida B.P., Maphanyane J.G. 2019. Evaluating land use and land cover change in the Gaborone Dam Catchment, Botswana, from 1984–2015 Using GIS and Remote Sensing. *Sustainability*, **11**: 5174.
- Mishra N., Helder D., Barsi J., Markham B. 2016. Continuous calibration improvement in solar reflective bands: Landsat 5 through Landsat 8. *Remote Sensing of Environment.*, **185**: 7-15.
- Moore J. W., Schindler D. E., Scheuerell M. D., Smith D., Frodge J. 2003. Lake Eutrophication at the Urban Fringe, Seattle Region, USA. *Ambio: A Journal of the Human Environment*. **32**(1):13-18.
- Morais R. C. de S. & Sales M. C. L. 2016. Draining automatic extraction: a comparative analysis of different from the tools and databases. *Revista Brasileira de Geografia Física*, **9**(6): 1849-1860.
- Murayama Y., Estoque R.C., Subasinghe S., Hou H., Gong H. 2015. Land-Use/Land-Cover Changes in Major Asian and African Cities. *In: Annual Report on the Multi-Use Social and Economy Data Bank; University of Tsukuba: Ibaraki, Japan, 2015. v. 92.*
- Myint S. W., Gober P., Brazel A., Grossman-Clarke S., Weng, Q. 2011. Per-pixel vs. object-based classification of urban land cover extraction using high spatial resolution imagery. *Remote Sensing of Environment*, **115**(5): 1145–1161.
- Nunes S., Cavalcante R. B. L., Nascimento W. R., Souza-Filho, P. W. M., Santos D. 2019. Potential for Forest Restoration and Deficit Compensation in Itacaiúnas Watershed, Southeastern Brazilian Amazon. *Forests*, **10**(5): 439.

- Oliveira I. S., Pimentel M. A. S., Rodrigues J. C. M., Araújo A. K. A. A. 2015. Gestão dos recursos hídricos: a problemática do abastecimento de água no município de Belém-Pa. *Boletim Amazônico de Geografia*, **2**(4): 53-60.
- Oliveira G. M. T. S., Oliveira E. S., Santos M. de L. S., Melo N. F. A. C., Krag M. N. 2018. Concentrações de metais pesados nos sedimentos do lago Água Preta (Pará, Brasil). *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, **23**(3): 599–605.
- Olofsson P., Foody G. M., Herold M., Stehman S. V., Woodcock C. E., Wulder M. A. 2014. Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. *Remote Sensing of Environment*, **148**: 42–57.
- Pimentel M. A. da S., Oliveira I. da S., Rodrigues J. C. M. 2012. Dinâmica da paisagem e risco ambiental na ilha de Caratateua, Distrito de Belém-Pa. *Revista Geonorte*, **1**(4): 624-633.
- Pontius R. G. & Millones M. 2011. Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. *International Journal of Remote Sensing*, **32**(15): 4407–4429.
- Powell R., Matzke N., de Souza C., Clark M., Numata I., Hess L., Roberts D. 2004. Sources of error in accuracy assessment of thematic land-cover maps in the Brazilian Amazon. *Remote Sensing of Environment*, **90**(2): 221–234.
- Pu J., Wang S., Ni Z., Wu Y., Liu X., Wu T., Wu H. 2021. Implications of phosphorus partitioning at the suspended particle-water interface for lake eutrophication in China's largest freshwater lake, Poyang Lake. *Chemosphere*, **263**: 128334.
- Rabus B., Eineder M., Roth A., Bamler R. 2003. The shuttle radar topography mission—a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, **57**(4): 241-262.
- Rebouças A. C., Braga Jr B. P. F., Tundisi J. G. (ed) 1999. *Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação*. São Paulo, Escrituras Editora. 732 p.
- Richter R. & Schläpfer D. 2002. Geo-atmospheric processing of airborne imaging spectrometry data. Part 2: Atmospheric/topographic correction. *International Journal of Remote Sensing*. **23**(13): 2631–2649.
- Ritchie J. C., Zimba P. V., Everitt J. H. 2003. Remote Sensing Techniques to Assess Water Quality. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **69**(6): 695–704.
- Rudorff N. de M., Kappel M., Rezende C. E. 2011. Spectral mapping of the Paraíba do Sul River plume (Brazil) using multitemporal Landsat images. *Journal of Applied Remote Sensing*, **5**(1): 053550-1.
- Santos M. L. S., Sousa R. R., Pereira J. A. R., Silva J. P., Lima M. W. 2015. Diffuse sources of pollution and their influence on the nature of the sediments in Água Preta Lake. *Acta Scientiarum. Technology*, **37**(2): 259-264.
- Santos T. C. C., Antunes M. A. H., Sousa G. M., Seoane J. C. S. 2015. Correção atmosférica de imagem WorldView-2 utilizando um modelo de transferência radiativa. In: 27º Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil. *Anais[...]*, p. 5522.

- Silva J. S. A., Rodrigues R. S. S., Bittencourt G. M. 2020. Aplicação de diferentes MDE's para extração de variáveis morfométricas de uma bacia hidrográfica. *Journal Of Hyperspectral Remote Sensing*, **10**(1): 10, 16.
- Silva L., Morales G., Lima, A.M. 2014. Avaliação da qualidade das águas superficiais dos mananciais do Utinga e dos rios Guamá e Aurá, Belém, Pará. *Enciclopédia Biosfera*, **10**(18): 3161.
- Smith V. H. & Schindler D. W. 2009. Eutrophication science: where do we go from here?. *Trends in Ecology & Evolution*, **24**(4): 201–207.
- Soares M. F., Domingos P., Soares F. F. L., Telles L. F. R. 2012. 10 Anos de monitoramento da qualidade ambiental das águas da lagoa Rodrigo de Freitas. *Oecologia Australis*, **16**(3): 581-614.
- Souza C. B. G. 2020. Territorial conflicts in the management of urban parks in the Amazon: The case of Utinga State Park - Belém / PA. *Brazilian Journal of Development*, **6**(1): 1377-1394.
- Souza-Filho P., Nascimento W., Santos D., Weber E., Silva R., Siqueira J. 2018. A Geobia Approach for Multitemporal Land-Cover and Land-Use Change Analysis in a Tropical Watershed in the Southeastern Amazon. *Remote Sensing*, **10**: 1683.
- Souza-Filho P. W. M., Giannini T. C., Jaffé R., Giulietti A. M.; Santos D. C., Nascimento W. R., Guimarães J. T. F., Costa M. F., Imperatriz-Fonseca V. L., Siqueira J. O. 2019. Mapping and quantification of ferruginous outcrop savannas in the Brazilian Amazon: a challenge for biodiversity conservation. *Plos One*, **14**(1): e0211095.
- Stehman S. V. 2009. Sampling designs for accuracy assessment of land cover. *International Journal of Remote Sensing*, **30**(20): 5243–5272.
- Teixeira M. R. 2015. *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*. Especialização, Pós-Graduação Lato Sensu em Análise ambiental e desenvolvimento sustentável, Centro Universitário de Brasília, 40 p.
- Tundisi J.G. 2001 *Planejamento e gerenciamento de lagos e reservatórios: uma abordagem integrada ao problema da eutrofização*. Osaka, UNEP International Environmental Technology Centre, 385 p.
- Vasconcelos K. A. V. 2019. *Imagens de satélite de alta resolução para avaliar a recuperação de áreas degradadas em minas de ferro a céu aberto*. MS Dissertation em Uso Sustentável de Recursos Naturais em Regiões Tropicais. Instituto Tecnológico Vale Desenvolvimento Sustentável. 66 p.
- Vasconcelos V. M. M. & Sousa C. F. 2011. Characterization of water quality parameters of the reservoir Utinga, Belém, PA, Brazil. *Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, **6**(2): 305-324.
- Vitousek P. M., Mooney H. A., Lubchenco J., Melillo J. M. 1997. Human Domination of Earth's Ecosystems. *Science*, **277**(5325): 494-499.

Weber M. J., Wilkinson G. M., Balmer M. B., Bevil M. C. 2020. Restoration of eutrophic lakes in Iowa, USA. *Hydrobiologia*, **847**(21): 4469-4486.

Williams D. L., Goward S., Arvidson T. 2006. Landsat: yesterday, today, and tomorrow. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **72**(10): 1171-1178.

Zanotta D. C., Zortea M., Ferreira M. P. (ed). 2019. *Processamento de imagens de satélite*. São Paulo, Oficina de Textos. 320 p.

APÊNDICE A

Tabela A 1 - Matriz de confusão para classificação de imagens usando: A) 1984 Landsat-5 TM; B) 1989 Landsat-5 TM ; C) 1994 Landsat-5TM; D) 1999 Landsat-5TM E) 2004 Landsat-5 TM; F) 2008 Landsat-5 TM; G) 2014 Landsat-8 OLI; H) 2015 Landasat-8 OLI I) 2017 Sentinel-2B; J) 2018 Sentinel-2B; K) 2019 Sentinel 2-Be L) 2020 Sentinel 2-A; . A matriz mostra o número de pontos de verificação, erros de omissão e comissão, precisão do usuário e do produtor e a Acurácia geral.

(continua)

A) 1984 Landsat-5 TM	CH	M	ND	AO	F	P	Total	Precisão do Usuário (%)	Erro de Comissão (%)
Corpos Hídricos (CH)	24	2	0	2	0	0	28	85,7	14,3
Macrófitas (M)	0	0	0	0	0	0	0	0,0	100,0
No Data (ND)	0	0	226	0	0	0	226	100,0	0,0
Ocupação Antrópica (OA)	1	0	0	46	0	2	49	93,9	6,1
Floresta (F)	1	0	0	0	97	16	114	85,1	14,9
Pastagem (P)	1	0	0	6	18	58	83	69,9	30,1
Total	27	2	226	54	115	76	500		
Precisão do Produtor (%)	88,9	0,0	100,0	85,2	84,3	76,3			
Erro de Omissão (%)	11,1	100,0	0,0	14,8	15,7	23,7			
Acurácia Geral	90.2%								
B) 1989 Landsat-5 TM	CH	M	ND	AO	F	P	Total	Precisão do Usuário (%)	Erro de Comissão (%)
Corpos Hídricos (CH)	20	0	1	0	1	2	24	83,3	16,7
Macrófitas (M)	0	2	0	0	0	0	2	100,0	0,0
No Data (ND)	0	0	224	1	1	0	226	99,1	0,9
Ocupação Antrópica (AO)	0	0	3	38	0	6	47	80,9	19,1
Floresta (F)	1	0	0	3	108	7	119	90,8	9,2
Pastagem (P)	0	0	2	9	21	50	82	61,0	39,0
Total	21	2	230	51	131	65	500		
Precisão do Produtor (%)	95,2	100,0	97,4	74,5	82,4	76,9			
Erro de Omissão (%)	4,8	0,0	2,6	25,5	17,6	23,1			
Acurácia Geral	88.4%								
C) 1994 Landsat-5 TM	CH	M	ND	AO	F	P	Total	Precisão do Usuário (%)	Erro de Comissão (%)
Corpos Hídricos (CH)	21	0	0	0	1	0	22	95,5	4,5
Macrófitas (M)	0	2	0	0	0	0	2	100,0	0,0
No Data (ND)	0	0	227	0	0	0	227	100,0	0,0
Ocupação Antrópica (AO)	0	0	0	38	1	1	40	95,0	5,0
Floresta (F)	4	1	0	0	114	21	140	81,4	18,6
Pastagem (P)	0	1	0	14	10	44	69	63,8	36,2
Total	25	4	227	52	126	66	500		
Precisão do Produtor (%)	84,0	50,0	100,0	73,1	90,5	66,7			
Erro de Omissão (%)	16,0	50,0	0,0	26,9	9,5	33,3			
Acurácia Geral	89.2%								

Tabela A 2 – quantificação das classes para os anos de 1984, 1989, 1994, 1999, 2004, 2008, 2014, 2015, 2017, 2018, 2019, 2020.

Classe	1984		1989		1994	
	Area (Km ²)	%	Area (Km ²)	%	Area (Km ²)	%
Corpos Hídricos	4,11	5,62%	3,47	4,75%	3,28	4,48%
Macrófitas	0,16	0,22%	0,33	0,45%	0,30	0,41%
No Data	33,03	45,18%	33,07	45,24%	33,05	45,21%
Ocupação Antrópica	7,06	9,66%	6,92	9,46%	5,62	7,69%
Floresta	16,64	22,76%	17,36	23,74%	20,57	28,14%
Pastagem	12,11	16,56%	11,97	16,37%	10,28	14,06%
Total	73,10	100,00%	73,11	100,00%	73,10	100,00%
Classe	1999		2004		2008	
	Area (Km ²)	%	Area (Km ²)	%	Area (Km ²)	%
Corpos Hídricos	3,15	4,31%	2,80	3,83%	2,48	3,39%
Macrófitas	0,56	0,77%	0,62	0,85%	0,95	1,30%
No Data	33,05	45,21%	33,07	45,23%	33,06	45,22%
Ocupação Antrópica	7,03	9,62%	6,23	8,52%	7,03	9,62%
Floresta	19,74	27,00%	21,53	29,44%	21,60	29,54%
Pastagem	9,57	13,09%	8,88	12,14%	8,00	10,94%
Total	73,11	100,00%	73,12	100,00%	73,12	100,00%
Classe	2014		2015		2017	
	Area (Km ²)	%	Area (Km ²)	%	Area (Km ²)	%
Corpos Hídricos	2,41	3,30%	2,37	3,24%	2,41	3,28%
Macrófitas	0,92	1,26%	0,97	1,33%	1,23	1,67%
No Data	33,02	45,19%	33,01	45,18%	33,24	45,24%
Ocupação Antrópica	7,50	10,26%	7,84	10,73%	7,32	9,96%
Floresta	22,43	30,69%	21,27	29,11%	23,52	32,01%
Pastagem	6,80	9,31%	7,61	10,41%	5,76	7,84%
Total	73,07	100,00%	73,07	100,00%	73,48	100,00%
Classe	2018		2019		2020	
	Area (Km ²)	%	Area (Km ²)	%	Area (Km ²)	%
Corpos Hídricos	2,32	3,16%	2,45	3,33%	2,29	3,11%
Macrófitas	1,19	1,62%	1,12	1,52%	1,20	1,63%
No Data	33,24	45,24%	33,24	45,25%	33,24	45,24%
Ocupação Antrópica	7,49	10,20%	8,09	11,01%	7,20	9,79%
Floresta	22,42	30,52%	22,98	31,29%	23,49	31,98%
Pastagem	6,81	9,27%	5,59	7,60%	6,06	8,24%
Total	73,48	100,00%	73,47	100,00%	73,48	100,00%