



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ
INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS – ICH
FACULDADE DE GEOGRAFIA – FG**

RAFAEL DOS SANTOS CARVALHO

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO À ANÁLISE TEMPORAL DA
COBERTURA VEGETAL DO PERÍMETRO URBANO DE MARABÁ/PA.**

**MARABÁ-PA
2018**

RAFAEL DOS SANTOS CARVALHO

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO À ANÁLISE TEMPORAL DA
COBERTURA VEGETAL DO PERÍMETRO URBANO DE MARABÁ/PA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Geografia da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, como requisito para a obtenção dos títulos de Licenciatura e Bacharelado em Geografia.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Rita Vidal

**MARABÁ-PA
2018**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Setorial Josineide da Silva Tavares

Carvalho, Rafael dos Santos

Geoprocessamento aplicado à análise temporal da cobertura vegetal do perímetro urbano de Marabá/PA / Rafael dos Santos Carvalho ; orientadora, Maria Rita Vidal. — Marabá : [s. n.], 2018.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Campus Universitário de Marabá, Instituto de Ciências Humanas, Faculdade de Geografia, Curso de Licenciatura e Bacharelado em Geografia, Marabá, 2018.

1. Imagens de sensoriamento remoto - Marabá. 2. Planejamento urbano - Sensoriamento remoto. 3. Crescimento urbano - Aspectos ambientais. 4. Vegetação - Mapeamento. I. Vidal, Maria Rita, orient. II. Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará. III. Título.

CDD: 22. ed.: 526.982098115

Elaborada por Miriam Alves de Oliveira – CRB-2/583

RAFAEL DOS SANTOS CARVALHO

**GEOPROCESSAMENTO APLICADO À ANÁLISE TEMPORAL DA
COBERTURA VEGETAL DO PERÍMETRO URBANO DE MARABÁ/PA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Geografia da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, como requisito para a obtenção dos títulos de Licenciatura e Bacharelado em Geografia.

Aprovado em ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Profª. Dra. Maria Rita Vidal (Orientadora)

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA)

Prof. Me. Abraao Levi dos Santos Mascarenhas

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA)

Profª. Esp. Ana Lenira Nunes Cysne de Souza

Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (UNIFESSPA)

À minha família, que esteve comigo vivenciando essa trajetória imperfeita e todos os momentos, com todo apoio e compreensão, sou eternamente grato. Essa vitória é principalmente de vocês.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por sua infinita misericórdia, bondade e auxílio em todas as horas e momentos vividos até aqui, bons e ruins.

À minha família, principalmente minha mãe: Ana Carvalho, pelo apoio incondicional e por acreditar, mesmo diante de tantas dificuldades que passamos, que era possível alcançar o sonho de alguém da família poder ingressar na universidade e concluir um curso de nível superior.

Aos amigos e colegas de curso, que durante mais de 5 anos de graduação puderam contribuir grandiosamente com a minha formação enquanto profissional e cidadão. Por todos os dias e momentos que vivemos, brigamos, sorrimos e, no final, conseguimos atingir nossos objetivos.

À querida Aubrey-Mar, que não mediu esforços em todos esses anos de curso para, sempre que possível, ajudar-me a construir esse sonho. Por incontáveis momentos, vivências, conversas, incentivos e força, sou eternamente grato.

Aos estimáveis amigos que tive o privilégio de conhecer na graduação: Amarildo Caldas; Fernando Lima; Lywelthon Silva.

À minha orientadora Maria Rita Vidal, por ter aceito a missão de orientar a realização desse trabalho. Pelo apoio, incentivo, disposição, palavras de conforto, inclusive no momento mais difícil que passei durante o curso, quando fragilizado por problemas de saúde. Por poder contribuir grandemente com a minha formação, como excelente professora que és.

Aos estimados professores da Faculdade de Geografia, em especial: Abraão Levi; Marcos Mascarenhas; Marcus Vinícius, Gustavo Silva e Hugo Serra. Sem dúvidas vocês marcaram cada momento de aprendizado, cada experiência, mesmo com suas especificidades, ambos excelentes professores. A minha formação só foi possível graças a vocês.

À Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, pelo privilégio de poder cursar Geografia nesta instituição por quem tenho muito orgulho e prestígio.

Ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, na pessoa de Maria Tereza Penha, que não mediu esforços nos momentos em que precisei me afastar do trabalho para realizar atividades de campo e pesquisas, e pela oportunidade de adquirir conhecimentos indispensáveis à minha formação enquanto Geógrafo.

Por fim, a todos os amigos, colegas e demais que contribuíram direta ou indiretamente nesses longos 5 anos de curso, por todo apoio e auxílio, todo o cuidado e presteza, dedicação e todos os momentos que juntos passamos, meu muito obrigado.

De modo geral, na realização de trabalhos que utilizam imagens de satélite com fins de levantamentos, monitoramento ou mapeamento, em qualquer que seja a área de conhecimento, devem ser seguidas as seguintes etapas: definição dos objetivos, escolha da área de estudo, solicitação dos produtos, revisão bibliográfica, coleta de dados, interpretação visual e relatório (ROSA, 2009).

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo proceder a análise temporal da vegetação do perímetro urbano de Marabá, utilizando-se de técnicas de sensoriamento remoto, sistemas de informações geográficas e processamento digital de imagem, com a utilização do plugin Semi-Automatic Classification Plugin – SCP, que compõem o geoprocessamento. Dessa forma, também busca verificar a aplicabilidade dessas técnicas na cobertura vegetal da área de estudo entre os anos de 2006 a 2016, período em que houve acentuada expansão urbana em função de fatores internos e externos à cidade de Marabá. Partindo da concepção de que o geoprocessamento é primordial nos estudos socioambientais, buscou-se na literatura os fundamentos teórico-metodológicos e as técnicas usadas de acordo com determinados objetivos nos diversos trabalhos existentes que pudessem auxiliar nesse estudo. A aquisição de imagem de satélites, tratamento e classificação constitui etapa imprescindível, passando a ser gerados mapas temáticos de cobertura do solo que possibilitaram a extração de dados da cobertura vegetal e a análise temporal objeto deste estudo. Os resultados foram bastante satisfatórios, pautados na dualidade entre a supressão da vegetação em função do avanço dos loteamentos privados, governamentais e assentamentos espontâneos de um lado e, de outro, a importante regeneração da cobertura vegetal nas áreas mais afastadas dos núcleos urbanos, quase em sua totalidade cadastradas como imóveis rurais. Verificou-se que no período de 10 anos (2006 a 2016) quando considerado o total da área do perímetro urbano, houve acréscimo de 4.557 hectares de vegetação regenerada. Por outro lado, em função das lógicas de produção do espaço urbano, as áreas urbanizadas perderam cobertura vegetal, como é o caso da Cidade Nova, onde a supressão foi de 89 hectares, cerca de 890.000m².

Palavras-chave: Geoprocessamento; Cobertura Vegetal; Perímetro Urbano; Expansão Urbana.

ABSTRACT

The objective of this work is to carry out the temporal analysis of the vegetation of the urban perimeter of Marabá, using remote sensing techniques, geographic information systems and digital image processing, using the Semi-Automatic Classification Plugin - SCP plugin. geoprocessing. In this way, it also seeks to verify the applicability of these techniques in the vegetation cover of the study area between the years 2006 to 2016, a period in which there was a strong urban expansion due to factors internal and external to the city of Marabá. Based on the idea that geoprocessing is paramount in socio-environmental studies, the theoretical-methodological foundations and techniques used in accordance with certain objectives in the various existing works that could assist in this study were searched in the literature. The acquisition of satellite image, treatment and classification is an essential step, with thematic maps of soil cover being generated that enabled the extraction of data from the vegetation cover and the temporal analysis object of this study. The results were very satisfactory, based on the duality between the suppression of vegetation due to the advance of private, governmental and spontaneous settlements on the one hand, and on the other, the important regeneration of the vegetation cover in the most remote areas of the urban nuclei, almost in their totality registered as rural properties. It was verified that in the period of 10 years (2006 to 2016) when considering the total area of the urban perimeter, there was an increase of 4,557 hectares of regenerated vegetation. On the other hand, due to the logics of urban space production, the urbanized areas lost vegetation cover, as in the case of Cidade Nova, where the suppression was 89 hectares, about 890,000m².

Key-words: Geoprocessing; Vegetal cover; Urban perimeter; Urban Expansion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da Cidade de Marabá e Perímetro Urbano	16
Figura 2 - Evolução do Perímetro Urbano de Marabá (de 1985 a 2018).....	22
Figura 3 - Principais imóveis rurais do Perímetro Urbano de Marabá.....	23
Figura 4 - Atividades envolvidas em Geoprocessamento.....	25
Figura 5 - Elementos envolvidos na fase de aquisição de dados.....	27
Figura 6 - Elementos envolvidos na fase de aquisição de dados.....	27
Figura 7 - Interação cíclica dos ambientes SIG.....	30
Figura 8 - Principais técnicas e funcionalidades do PDI.....	32
Figura 9 - Exemplo de agrupamento de pixels com similaridade.....	35
Figura 10 - Esboço Metodológico.....	36
Figura 11 - Imagens A e B: Bandas 5 e 4 do satélite Landsat 5, ano 2006. Imagens C e D: Recorte da imagem pela máscara vetorial do perímetro urbano de Marabá.....	41
Figura 12 - composições RGB para as imagens Landsat 5 (2006) e Landsat 8 (2016): a) cor natural; b) infravermelho; c) falsa cor; d) falsa cor utilizada no trabalho.....	42
Figura 13 - composição e equivalência RGB das bandas Landsat 5 (2006) e Landsat 8 (2016).....	42
Figura 14 - Coleta de pontos de controle e análise de macroclasse a partir do Google Earth	43
Figura 15 - Resposta espectral das amostras de acordo com o comprimento de ondas..	44
Figura 16 -Imagem classificada por Máxima Verossimilhança, de acordo com as macroclasses definidas	45
Figura 17 - Distância jeffreys-matusita em relação à resposta espectral das amostras..	49
Figura 18 - Expansão da mancha urbana no período de 2006 a 2016 (com e sem limiar).....	52
Figura 19 - Zona Especial de Interesse Ambiental (Cidade Nova)	62
Figura 20 - Zona Especial de Interesse Ambiental (Velha Marabá)	65

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Representação do quantitativo da Cobertura do Solo em 2006.....	56
Gráfico 2 - Representação do quantitativo da Cobertura do Solo em 2016.....	60
Gráfico 3 - Comparativo entre as macroclasses nos anos de 2006 a 2016.....	63

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 - Cobertura do Solo através da Classificação Supervisionada MAXVER.....	55
Mapa 2 - Mapa da Cobertura Vegetal em 2006.....	57
Mapa 3 - Mapa da Cobertura Vegetal em 2016.....	58
Mapa 4 - Mapa comparativo da vegetação entre 2006 e 2016.....	58
Mapa 5 - Mapa comparativo da vegetação entre 2006 e 2016 no Distrito Cidade Nova.....	61
Mapa 6 - Mapa comparativo da vegetação entre 2006 e 2016 no Distrito Velha Marabá.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características e aquisição das imagens utilizadas.....	38
Tabela 2 - Quantitativo da Cobertura do Solo para as macroclasses do perímetro urbano de Marabá em 2006	55
Tabela 3 - Quantitativo da Cobertura do Solo para as macroclasses do perímetro urbano de Marabá em 2016.....	59
Tabela 4 - Quantitativo da Cobertura do Solo para as macroclasses do Distrito da Cidade Nova em 2006 e 2016.....	62
Tabela 5 - Quantitativo da Cobertura do Solo para as macroclasses do Distrito da Velha Marabá em 2006 e 2016.....	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Principais técnicas e funcionalidades do PDI.....	32
Quadro 2 - Identificação das macroclasses, classes e amostras.....	44
Quadro 3 - Matriz de confusão da classificação da imagem Landsat 8.....	46
Quadro 4 - Matriz de confusão da classificação da imagem Landsat 5.....	47
Quadro 5 - Cálculo da precisão do Produtor.....	48
Quadro 6 - Cálculo da precisão do Utilizador.....	48

LISTA DE IMAGENS

Imagem 1 - Visualização da Imagem Landsat 5 no site da USGS.....	39
Imagem 2 - Visualização da Imagem Landsat 8 no site da USGS.....	39
Imagem 3 - Comparação mancha urbana e imagem entre 2006 a 2016.....	52
Imagem 4 - Comparação mancha urbana (2006) e imagem (2006 e 2016).....	54

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ALPA – Aços Laminados do Pará
CAR – Cadastro Ambiental Rural
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
MAXVER – Máxima Verossimilhança
OLI – Operational Land Imager
PDI – Processamento Digital de Imagens
PMCMV – Programa Minha Casa Minha Vida
PMM – Prefeitura Municipal de Marabá
PU – Perímetro Urbano
REM – Radiação Eletromagnética
SEPLAN - Secretaria de Planejamento de Marabá
SICAR/PA - Sistema de Cadastro Ambiental Rural do Pará
SIG – Sistema de Informações Geográficas
SCP - Semi-Automatic Classification Plugin
TM – Thematic Mapper
USGS – United States Geological Survey
ZEIA – Zona Especial de Interesse Ambiental

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. CAPÍTULO I: A CIDADE DE MARABÁ E A (RE) PRODUÇÃO DO ESPAÇO URBANO A PARTIR DE 2006.....	18
2.1 PRODUÇÃO DO ESPAÇO URBANO DE MARABÁ.....	18
2.2 PERÍMETRO URBANO DE MARABÁ	20
3. CAPÍTULO II: GEOPROCESSAMENTO: REFERENCIAL TEÓRICO E METODOLÓGICO	24
3.1 REFERENCIAL TEÓRICO	24
3.1.1 GEOPROCESSAMENTO	24
3.1.2 SENSORIAMENTO REMOTO	25
3.1.3 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA.....	28
3.1.4 PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM	30
3.2 METODOLOGIA	36
3.2.1 AQUISIÇÃO DOS DADOS E IMAGENS	37
3.2.2 PRÉ-PROCESSAMENTO	40
3.2.2 PÓS-PROCESSAMENTO.....	45
3.3 AVALIAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO.....	46
4. CAPÍTULO III: ANÁLISE TEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL DO PERÍMETRO URBANO DE MARABÁ DE 2006 A 2016	50
4.1 IMPACTOS NA COBERTURA VEGETAL.....	50
4.2 EXPANSÃO URBANA E CORRELAÇÃO COM A COBERTURA VEGETAL	51
4.3 ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE 2006 E 2016.....	54
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	66
6. REFERÊNCIAS	68

1. INTRODUÇÃO

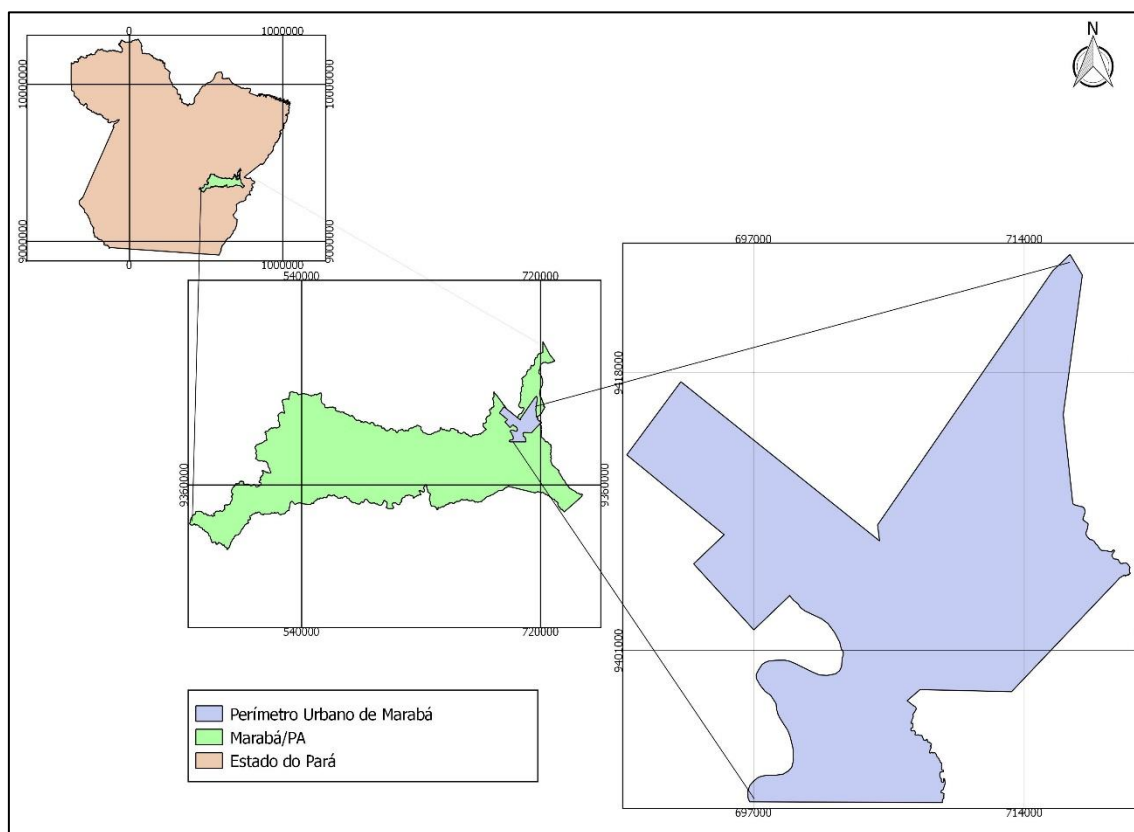
A análise temporal permite avaliar os estágios da cobertura do solo ao longo do tempo. Nela está incluída a análise da vegetação que é um importante indicador da qualidade socioambiental dos lugares onde estão inseridos. Para Lima et al. (2015), ao longo dos anos a ação humana tem alterado a dinâmica da cobertura vegetal que é responsável por funções de regulador do ciclo hidrológico, erosão, infiltrações e escoamento, fazendo-se necessário elaborar estudos direcionados que possam acompanhar a variação dessa dinâmica, essencial para o planejamento e conservação de áreas importantes e essenciais ao equilíbrio.

Os estudos da cobertura vegetal se tornaram possíveis graças ao advento de tecnologias que são capazes de detectar do espaço a assinatura espectral de objetos constituintes da cobertura do solo, em especial a vegetação, que apresenta assinatura espectral diferenciada, o que permite uma classificação satisfatória da área, diferentemente de outras classes como: construções, sedimentos, solo exposto e estradas, que fornecem assinaturas espectrais muito próximas, semelhantes, que dificulta e confunde a classificação em muitos casos.

A possibilidade de uso do sensoriamento remoto e demais recursos tecnológicos de geoprocessamento são cada vez mais viáveis devido a existência de softwares livres, adquiridos de forma gratuita e que são capazes de realizar diversas operações, como as análises espaciais. De mesmo modo, a aquisição de imagem em sites de grande relevância e de forma gratuita, como o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) e USGS (United States Geological Survey) tem possibilitado cada vez mais estudos dessa natureza.

Nos últimos anos, em especial a partir de 2006, a cidade de Marabá (Figura 01) tem passado por mudanças na cobertura do solo, em função do incremento das indústrias sidero-metalúrgicas (RIBEIRO, 2010; SOUZA, 2015), que provocou transformações tanto na composição da mancha urbana quanto do perímetro urbano de Marabá, afetando a cobertura vegetal em face do acelerado processo de urbanização que potencializa os impactos ambientais onerosos a população e ao meio ambiente.

Figura 1 - Localização da Cidade de Marabá e Perímetro Urbano



Fonte: Elaborado pelo autor.

A inquietação surge quando compreendemos que essa lógica é muito mais ampla. Ela perpassa a escala local e vem acontecendo de forma global, mesmo que atingindo os lugares de maneira heterogênea. Desse modo, os processos produtivos capitalistas, principalmente os industriais que se instalaram na Amazônia Oriental, provocou intensos processos migratórios e exploratórios dos recursos naturais, atingindo fortemente as cidades e suas áreas urbanizadas.

É a partir desses apontamentos que o interesse é despertado ao estudo da cobertura vegetal, constituindo o objetivo geral: proceder a análise temporal da vegetação do perímetro urbano e dos núcleos de Marabá, abrangendo as dinâmicas da cobertura vegetal entre 2006 a 2016. De forma complementar ao objetivo geral, surgem os objetivos específicos: verificar se a aplicabilidade das técnicas de geoprocessamento para o perímetro urbano é satisfatório e consegue gerar dados que possam traduzir com devidos graus de confiabilidade; compreender sobre quais lógicas os impactos sobre a vegetação tiveram sua gênese; analisar a dinâmica da cobertura vegetal, com atenção para os lugares de maior importância e impacto na supressão da vegetação; elaborar mapas temáticos e dados quantitativos a fim de mensurar (mesmo que simplificado) o

impacto na cobertura vegetal do perímetro urbano de Marabá no período espaço-temporal pré-definido.

Este trabalho está estruturado em 3 (três) capítulos. No primeiro capítulo é abordado aspectos da (re)produção do espaço urbano, levando em consideração os processos que propiciaram a expansão urbana, bem como as mudanças territoriais do perímetro urbano de Marabá.

No segundo capítulo é feita a abordagem teórico-conceitual e os procedimentos metodológicos considerados imprescindíveis, desde os levantamentos de dados, aquisição da imagem e seu respectivo tratamento e classificação, avaliação da classificação através da geração de matriz de confusão, até a geração do mapa temático, realizado através do classificador MAXVER (Máxima Verossimilhança). Por fim, o último capítulo apresenta os resultados da análise temporal da vegetação, fazendo a abordagem a partir dos impactos na cobertura vegetal extremamente associadas à expansão urbana entre 2006 e 2016, com dados comparativos para o perímetro urbano e alguns núcleos no período de referência.

O perímetro urbano utilizado neste trabalho não corresponde ao perímetro urbano em vigor, tendo em vista que a nova atualização do perímetro ocorreu após o início da realização deste trabalho, mantendo-se, assim, o perímetro urbano criado em 2014 para as análises realizadas.

2. CAPÍTULO I: A CIDADE DE MARABÁ E A (RE) PRODUÇÃO DO ESPAÇO URBANO A PARTIR DE 2006

A configuração do espaço urbano atual de Marabá é resultado de sucessivas mudanças, tempos e períodos socioespaciais. Essa configuração é característica da dinâmica vivenciada nas cidades da Amazônia Oriental, que possuem um padrão de ocupação denominado por Gonçalves (2005) de estrada-terra firme-subsolo, que é articulado aos grandes projetos de mineração. Ao passo que os projetos são instalados ou mesmo anunciados nessas cidades, surge atrelado ao desejo pelo “eldorado” migrações em grande escala, fazendo surgir aglomerações urbanas, e estas, por sua vez, contribuem com a precarização das condições sociais e ambientais, principalmente nas áreas urbanizadas.

2.1 Produção do Espaço Urbano de Marabá

A cidade de Marabá foi (e ainda continua sendo) constituída por vários períodos históricos que permitiram a configuração tanto do município quanto de sua área urbana. Esses períodos foram descritos por vários pesquisadores da questão urbana (RODRIGUES, 2015; RIBEIRO, 2010; SOUZA, 2015) em quatro ciclos ou fases: a) o ciclo da borracha; b) ciclo da castanha; c) ciclo agropecuário e madeireiro; d) ciclo minero-industrial. Entretanto, o período considerado nessa análise é apenas o último – quarta fase – que abrange a dinâmica da produção do espaço urbano e as interferências a partir dos projetos minero-industriais para a cidade de Marabá, sobretudo a partir de 2006.

A produção do espaço urbano em Marabá a partir de 2006 teve acelerado crescimento em relação à década passada. Essa expansão ocorreu sobre três frentes ou lógicas, denominadas de lógica estatal, mercadológica e da necessidade (SOUZA, 2015). Os grandes empreendimentos (indústrias, shopping, empresas de grande porte, loteamentos, empreendimentos imobiliários, dentre outros), promoveram um atrativo populacional e o crescente interesse em construções urbanas que pudessem atingir a demanda populacional atraídos para a cidade em face da expectativa de instalação desses empreendimentos, como a ALPA (Aços Laminados do Pará), que impulsionou a produção socioespacial.

De acordo com Rodrigues (2015), os novos vetores da urbanização que surgiram após 2005 foram responsáveis pelo rápido avanço da urbanização em Marabá,

fazendo que a mancha urbana passasse de 9,88km² em 2004 para 17,24km² já em 2010. Para Souza (2015) o processo desencadeado a partir desse período foi provocado pelo anúncio da ALPA, que passou a gerar expectativas dos mercados imobiliários de um lado e, de outro, funcionou como atrativo migratório que possibilitaram alterar a dinâmica da produção do espaço urbano na cidade.

A dinâmica da urbanização trazida pelo período industrial que teve como propulsor o anúncio da instalação da ALPA (SOUZA, 2015) que, ao conceber a cidade como mercadoria, gerou outros processos que se anteviram à sua instalação: a necessidade de adequação frente aos projetos que impactaria a cidade; a chegada de migrantes em busca de empregos futuros e a demanda que estes provocariam por moradia; o surgimento do boom imobiliário. Ambos compõem as lógicas dinamizadas da produção do espaço urbano (Estatual, Mercadológica e da Necessidade).

A lógica estatal pode ser traduzida pela expansão urbana que ocorreu em direção aos distritos de São Félix e Morda Nova pelo PMCMV (Programa Minha Casa Minha Vida). Essa lógica contribuiu significativamente para a expansão urbana nesses distritos, que em 2009 passou a compor o perímetro urbano de Marabá, conforme supracitado. Já lógica mercadológica representa os vários empreendimentos imobiliários que foram lançados a partir de um período denominado por Souza (2005) de pós-ALPA e que representa o principal vetor de expansão urbana, pois segundo este autor tal lógica

Representada pelo mercado formal de negócios imobiliários é a de maior destaque. Isso decorre em função da quantidade de empreendimentos deste tipo lançados no período compreendido entre 2008-2014, possibilitando o surgimento de mais de 30 mil novas 'parcelas' de solo urbano comercializáveis em Marabá, além de ser a lógica que mais contribuiu para a expansão do tecido urbano (amparada pela alteração dos limites do perímetro urbano, em 2009), haja vista que entre 2009 e 2013, de acordo com imagens de satélite disponíveis para análise, o tecido urbano cresceu 35% [...] (SOUZA, 2015, p. 292).

Nesse sentido, a proporção dos empreendimentos imobiliários que surgiram após o anúncio da ALPA, alteraram a dinâmica urbana e fez com que a lógica de mercado se tornasse o principal vetor de expansão urbana a partir de 2006. Por último, a lógica da necessidade representada pelas ocupações espontâneas, assentamentos informais ou aglomerados subnormais. Essa lógica, como o próprio nome sugere, surge da necessidade de se habitar a cidade e, como não possibilitado pelas outras lógicas

(Estatal e de Mercado), por diversos fatores, ocupam as áreas desapropriadas, geralmente mais afastadas do centro da cidade.

Para Carvalho (2016, p. 30), os agentes dessa lógica “são ‘motivados’ pela necessidade, já que não alcançam as demais formas de habitar produzidas atualmente”. Ao encontro dessas afirmações, Souza (2015) aponta que no período pós-ALPA o espaço urbano foi produzido não apenas pelos grandes empreendimentos e conjuntos habitacionais, mas também pela parcela dos agentes sociais mais pobres que, pautados pela lógica da necessidade, não possuem condições de estarem inseridos nas demais lógicas formais de produção dos espaços.

2.2 Perímetro Urbano de Marabá

A área urbana de Marabá passou por mudanças tanto no que se refere à sua configuração como características, em função dos processos produtivos e empreendimentos atraídos para a região principalmente a partir do ciclo minero-industrial. Dessa forma, a demarcação do perímetro urbano de Marabá foi instaurada ainda no ano de 1.985, pela Lei n° 6.848/85 que definiu os limites urbanos (PMM, 2011). A primeira demarcação abrangia apenas os Distritos da Velha Marabá, Nova Marabá, Cidade Nova e Industrial, tendo o plano do Plano Diretor Participativo de 2006 estabelecido a criação de um Distrito de Expansão Urbana.

A Lei ° 6.848/85 de demarcação do perímetro urbano de Marabá passou por diversas alterações e, em 2006, foi alterada pela Lei n° 17.213/06 que estabeleceu os limites do perímetro até 2009. Segundo dados da Prefeitura Municipal de Marabá (2011), a partir de 2009 os distritos de São Félix e Morada Nova, até então considerados como áreas rurais, foram incorporados ao perímetro urbano de Marabá, além de expandir o distrito industrial através da Lei n° 17.358/09, o que provocou alteração na composição de sua configuração e ocupação do solo (de acordo com a figura 02 abaixo).

É claro que essas alterações do perímetro urbano não são aleatórias e livres de interesses: o objetivo principal é permitir a regularização com destinação urbana de áreas até então situadas na zona rural, ou mesmo o parcelamento para fins de habitação, construção, indústrias, comércio e empreendimentos imobiliários previstos para a

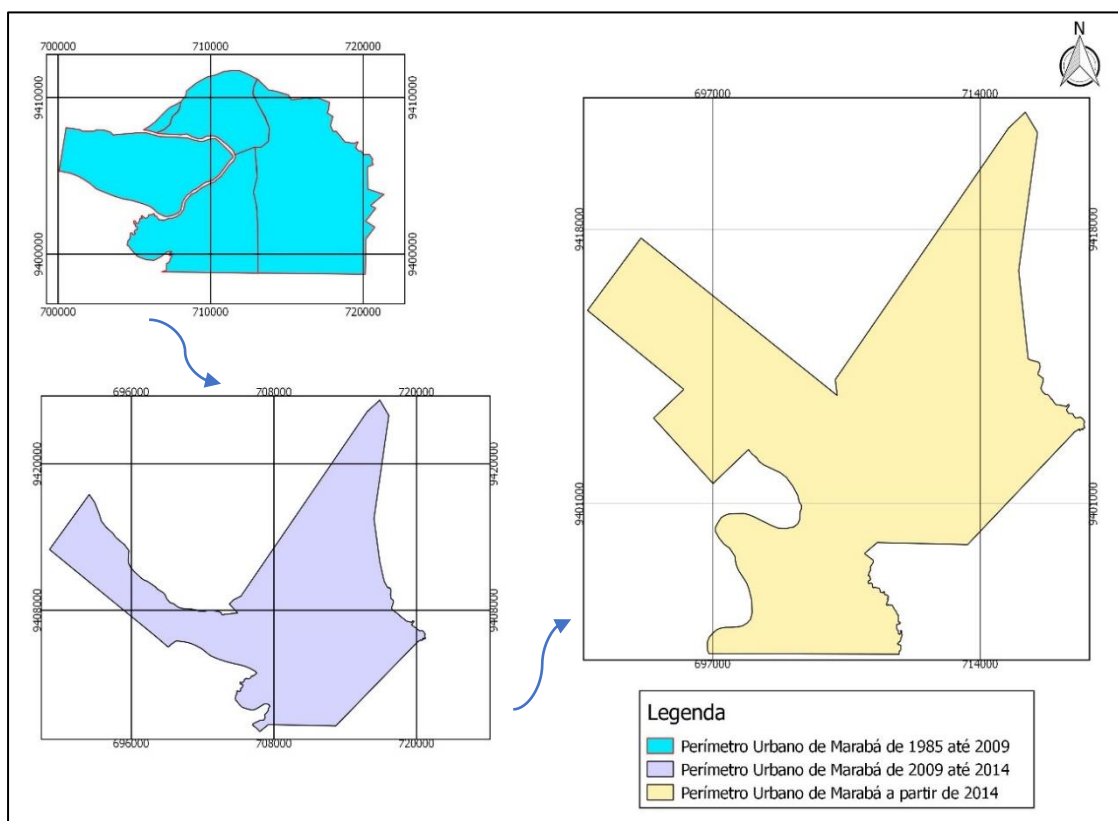
região. Como exemplo temos o anúncio dos programas Minha Casa Minha Vida, que segundo Souza (2015), a partir de 2009 passaram a articular empreendimentos em Marabá. Entretanto, as áreas onde esses empreendimentos se instalariam, até 2008, pertenciam à zona rural, e foram transformadas em áreas urbanas em 2009 pela Prefeitura de Marabá através de decreto, para que esses empreendimentos se localizassem na zona urbana.

Dessa forma, os distritos de São Félix e Morada Nova, onde se destinaram os empreendimentos estatais, eram rurais, passando a integrar o perímetro urbano somente a partir de 2009. De acordo com Souza (2015, p. 2016),

A partir de 2008, mas sobretudo após 2009, com a alteração do perímetro urbano, começam a serem lançados em Marabá os conjuntos habitacionais do PMCMV. A alteração do perímetro urbano foi importante neste momento pois, em sua totalidade, estes conjuntos estão localizados nos núcleos urbanos de São Félix e Morada Nova, que não faziam parte da área urbana antes de 2009. Assim, neste período surgiram os Residenciais Vale do Tocantins (2012), com 1.090 residências, no núcleo São Félix; Tiradentes (2013), com 1.410 moradias, em Morada Nova; além de outros dois que estão em fase de construção, como o Residencial Magalhães, em São Félix, que disponibilizará 2.500 novas residências; e o Jardim do Éden, em Morada Nova, com 993 moradias, totalizando 5.993 novas habitações disponíveis em Marabá

Se, por um lado, a alteração do perímetro urbano foi importante por abranger os empreendimentos estatais que proporcionaram habitação para diversas famílias, ela provocou mudanças na configuração urbana, contribuiu com a expansão da mancha urbana e gerou impactos na cobertura vegetal do perímetro.

Figura 2 - Evolução do Perímetro Urbano de Marabá

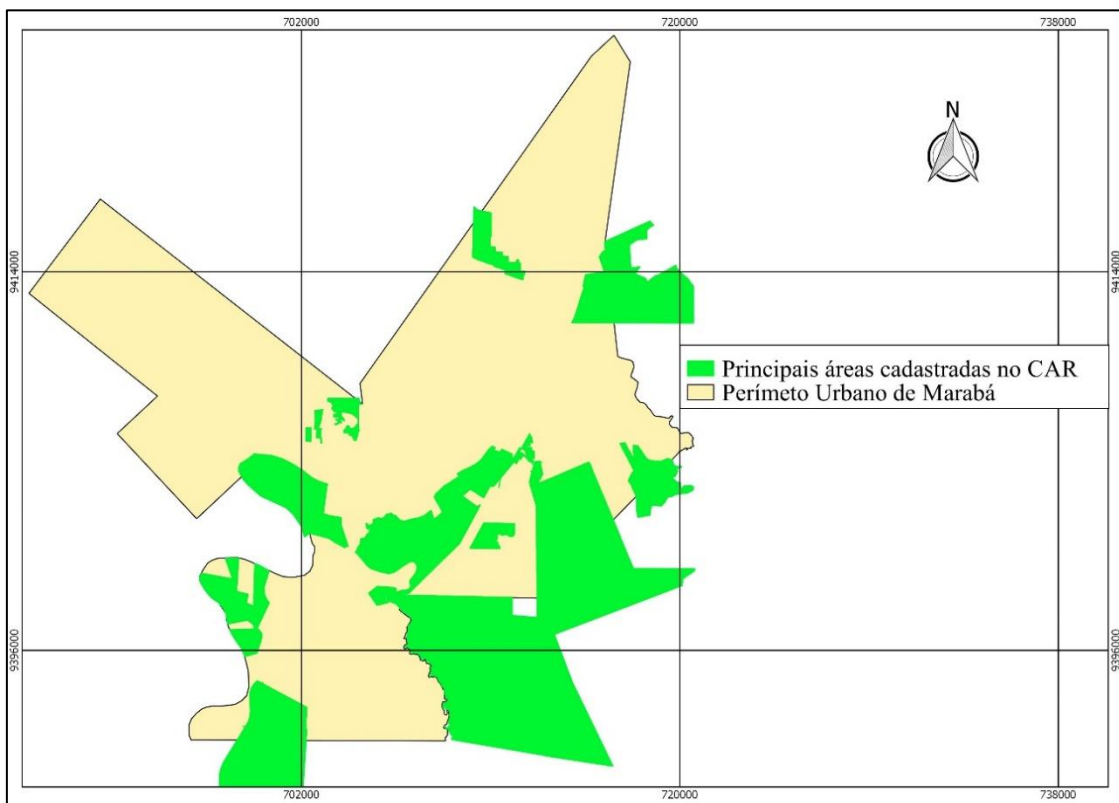


Fonte: PMM (2014). Elaborado pelo autor.

Outros empreendimentos anunciados para a Cidade de Marabá fizeram com que a partir de 2014 houvesse outra alteração do perímetro urbano de Marabá. Através da Lei n° 17.627/14 que, segundo a PMM (2014), foi essencial para inserir áreas municipais rurais no novo perímetro urbano, sendo essencial ao ordenamento e uso e ocupação do solo. De acordo a referida lei, só é possível o parcelamento de imóvel rural localizado em áreas rurais, se alguma lei municipal transformar essas áreas rurais em zona urbana.

Com a Lei de 2014 que alterou o perímetro urbano foram incorporadas áreas mais afastadas dos núcleos urbanos. Essa incorporação significou não apenas mudanças nos limites do perímetro, mas fez com a dinâmica da cobertura vegetal na área urbana fosse também alterada. Isso porque as áreas anexas ao novo perímetro possuem grandes remanescentes florestais, de vegetação nativa e secundária, inclusive cadastradas no SICAR/PA (Sistema de Cadastro Ambiental Rural do Pará), quase em sua totalidade, como propriedades rurais, como mostra figura abaixo.

Figura 3 - Principais imóveis rurais do Perímetro Urbano de Marabá



Fonte: SICAR/PA (2018); PMM (2014). Elaborado pelo autor

Para Vale e Baleiro (2013), os imóveis rurais do perímetro urbano de Marabá cadastrados no CAR (Cadastro Ambiental Rural) tem papel importante na conservação da cobertura vegetal, sendo instrumento de controle do desmatamento bem como de conservação de áreas de preservação ambiental. Cita-se, por exemplo, que os imóveis rurais pertencentes ao perímetro urbano cadastrados no CAR, representam mais de 40% do remanescente florestal e mais de 70% de vegetação nativa, quando somadas todas as áreas verdes do perímetro. Nesse sentido, observa-se que mesmo essas propriedades apresentando índices de desmatamento, elas são importantes para a manutenção da cobertura vegetal.

3. CAPÍTULO II: GEOPROCESSAMENTO: REFERENCIAL TEÓRICO E METODOLÓGICO

3.1 Referencial Teórico

As sociedades estão em constantes mudanças, transformando os lugares, paisagens e ambientes em que vivem. Nos últimos anos, porém, o impacto causado tem sido intensificado em larga escala. Essa intensificação levou ao surgimento de métodos, técnicas e procedimentos que pudessem auxiliar nas análises desses impactos, sejam eles socioeconômicos ou ambientais. É o caso das Geotecnologias; Sensoriamento Remoto; Processamento Digital de Imagens; Geoprocessamento; Sistemas de Informações Geográficas.

3.1.1 Geoprocessamento

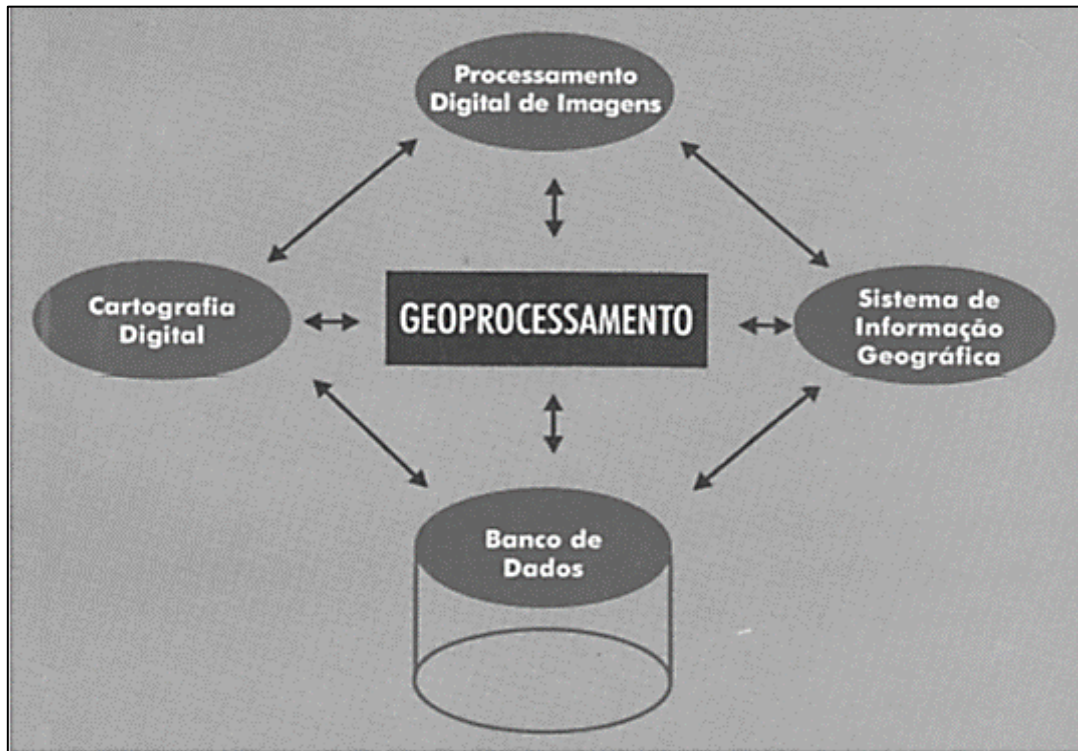
A utilização de geoprocessamento como ferramenta para a análise de séries temporais vem sendo bastante utilizada e tem se caracterizado como técnica essencial para estudos socioambientais. Apesar de ser um termo bastante amplo, o geoprocessamento é confundido com outros processos e técnicas que, mesmo inter-relacionadas, se distinguem em certos graus de compreensão, utilização e finalidades.

Entretanto, é consenso entre os profissionais da área que o geoprocessamento é um instrumento importante para as pesquisas, principalmente ambientais, pois agrega um conjunto de técnicas de coleta, aquisição, tratamento, manipulação de dados geoespaciais, imprescindíveis à resolução de problemas atrelados aos objetivos do pesquisador.

Na tarefa de conceituar o geoprocessamento, devido a abrangência do termo – e sua correlação com as geotecnologias, processamento de imagens, sensoriamento remoto, cartografia digital, sistema de informação geográfica – que leva à recorrente confusão conceitual, destaca-se Davis e Câmara (2004, p. 1), definindo que “o geoprocessamento denota a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica”; Rosa (2013, p. 59), afirmando que o “geoprocessamento pode ser definido como sendo um conjunto de tecnologias destinadas à coleta e tratamento de dados espaciais”.

Assim, podemos afirmar que o geoprocessamento é um conjunto de técnicas e procedimentos que estão diretamente relacionadas à coleta, ao armazenamento, tratamento, análise, promovendo um uso integrado e articulado às demais técnicas socioespaciais que o compõe. A imagem abaixo apresenta a sintetização das ações relacionadas ao geoprocessamento.

Figura 4 - Atividades envolvidas em Geoprocessamento



Fonte: ROSA (2013).

3.1.2 Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto é uma importantíssima ferramenta de obtenção de dados e sua utilização se dá, quase em sua totalidade, nos diversos levantamentos, seja em escala global ou local. Sobre essa premissa, pode-se afirmar que ao pensarmos em analisar fenômenos geoespaciais é fundamental e imprescindível utilizar dados espaciais, temporais, georreferenciados, sendo, portanto, esses dados obtidos, em parte ou de maneira integral, através do sensoriamento remoto.

Embora o termo “sensoriamento remoto” tenha surgido no início da década de 1960, de acordo com Meneses (2012), como uma tecnologia para coleta e levantamentos bem-sucedidos de dados, segundo Rosa (2009), essa técnica já vem

sendo utilizada desde o século XIX. Entretanto, somente a partir da década de 60 do século XX que o sensorialmente remoto teve seu apogeu, a partir da corrida espacial que impulsionou o envio de satélites ao espaço com as mais diversas finalidades e objetivos. Nesse sentido,

O sensoriamento remoto pode ser definido, de uma maneira ampla, como sendo a forma de obter informações de um objeto ou alvo, sem que haja contato físico com o mesmo. As informações são obtidas utilizando-se a radiação eletromagnética gerada por fontes naturais como o Sol e a Terra, ou por fontes artificiais como, por exemplo, o Radar (ROSA, 2009, p. 13).

Ao encontro do que afirma Rosa (2009), Meneses (2012, p. 3) define o sensoriamento remoto como sendo “uma ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres”.

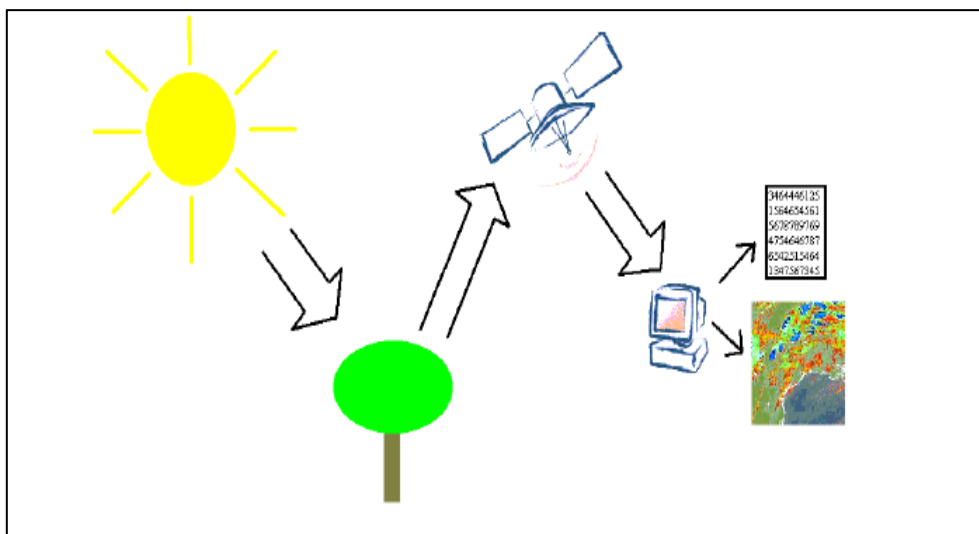
Fica evidente nas definições acima que não se trata de processos ou ações simplistas. São inúmeros processos, variáveis e instrumentos usados no sensoriamento remoto, desde a aquisição até a geração de dados tratados e aptos ao uso nas mais variadas pesquisas. Entre eles podemos citar: a detecção da radiação eletromagnética – e as variações dos efeitos atmosféricos, radiância, irradiância, emissividade, espalhamento, dentre outros –, os vários tipos de sistemas sensores e o comportamento espectral dos alvos, as resoluções (temporal, espacial, espectral e radiométrica) e a aquisição e transmissão dos dados, tudo isso sem contato físico com alvos. Dessa forma, é perceptível a complexidade dos processos de detecção remota.

Rosa (2013, p. 108), destaca que na “na metodologia de sensoriamento remoto duas fases podem ser destacadas: a aquisição de dados – relacionada com os processos de detecção e registro de informação, e a fase de utilização/analise dos dados – que compreende tratamento e a extração de informações dos dados obtidos”.

Os dados que nós adquirimos para a efetiva realização de trabalhos científicos, na primeira fase apresentado por Rosa (2013), são obtidos por sensores acoplados aos satélites que detectam a radiação eletromagnética emitida e/ou refletida de todo e qualquer objeto com temperatura acima de 0° Kelvin. Nesse sentido, os sensores conseguem captar a radiação eletromagnética que é emitida pelo alvo/objeto, transformando-a em dados possíveis de serem registrados e convertidos, seja para a forma de imagem ou números possíveis de se atingir a segunda fase, que é a extração, tratamento e utilização das informações. As figuras a seguir apresentam de forma

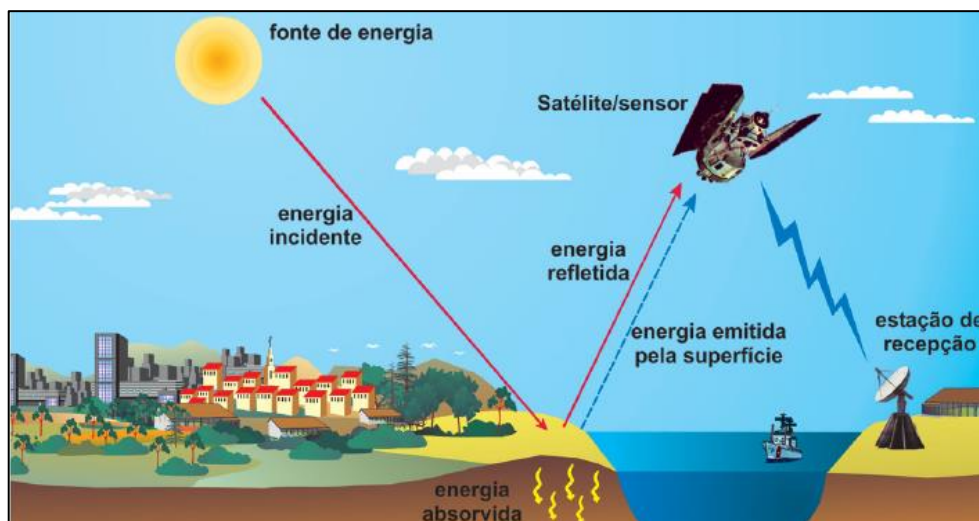
sucinta os processos de aquisição de informações e sua interação com a REM (Radiação Eletromagnética).

Figura 5 - Elementos envolvidos na fase de aquisição de dados



Fonte: Batista (2003)

Figura 6 - Elementos envolvidos na fase de aquisição de dados



Fonte: Florenzano (2007)

Os processos citados acima estão bem representados nas figuras 05 e 06. Nelas podemos verificar a radiação eletromagnética emitida pelo Sol que, ao entrar em contato com os alvos, sofre alterações: uma parte da energia é absorvida pelo alvo; outra parte é absorvida/dispersa por gases e partículas atmosféricas; parte é refletida ou emitida pelos objetos até chegar ao sensor que captam, transformam em valores/imagens e transmite

para a estação de recepção, para, nos ambientes SIG serem processados de acordo com a demanda do trabalho do pesquisador.

3.1.3 Sistema de Informação Geográfica

O surgimento dos sistemas de informações geográficas tem facilitado a realização dos mais variados tipos de trabalhos e pesquisas. Isto porque, tendo como base a noção de sistema, o SIG é uma ferramenta poderosa que consegue articular dados captados, tratamento, gerenciamento, armazenamento, análise, processamento, manipulação, modelamento, unindo os componentes de hardware, software e, sobretudo, o elemento humano.

O resultado dessa articulação – onde o pesquisador possui papel central – são produtos geoespaciais referenciados e utilizados para representar e solucionar os problemas e fenômenos que interferem na realidade socialmente construída. Os principais exemplos são: Mapas de diversas naturezas, Cartas Topográficas, Modelagens.

Os esforços de se trabalhar com dados espaciais e a exigência de formas e técnicas capazes de traduzir e auxiliar no armazenamento de dados e sua posterior manipulação e interpretação de elementos cada vez mais complexos, contribuíram para o surgimento do SIG que, embora não seja recente, teve avanços significativos somente a partir da revolução técnico-científico-informacional, com a criação de máquinas de alta tecnologia e microprocessadores capazes de processar grandes quantidades de dados e com boa qualidade.

Mas, afinal, o que é um SIG? Quais suas origens? O primeiro passo é não cair no erro recorrente do qual foi citado noutro tópico: a confusão que é feita entre SIG e Geoprocessamento; PDI e Sensoriamento Remoto; Geotecnologias e Geoprocessamento. Apesar de aparecerem como sinônimos e articulados, o conceito de SIG e Geoprocessamentos são diferentes. De acordo com Davis e Fonseca (2001, p. 15), “enquanto SIG são essencialmente sistemas de informação, que possuem recursos especiais para lidar com a informação georreferenciada, o termo ‘geoprocessamento’ se refere a todo um conjunto de técnicas para lidar com a informação geográfica”.

Dessa forma, quando nos referimos ao Geoprocessamento, estamos tratando de aspectos mais gerais, amplos, ou seja, do conjunto de tecnologias computacionais, matemática, dos processamentos inerentes às informações geográficas, conforme destacou Davis e Fonseca (2001). Por outro lado, o SIG trata-se de uma dimensão mais restrita, mais específica, sendo apenas um dos elementos (tecnologias) que compõem o grande conjunto de elementos que é o geoprocessamento.

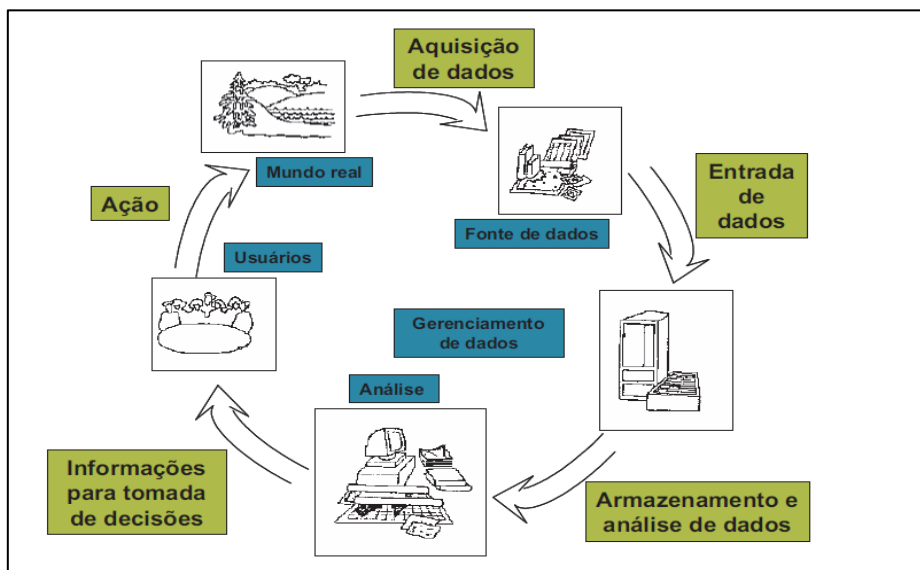
Assim como o sensoriamento remoto, segundo Hamada e Gonçalves (2007); Davis e Fonseca (2001), os SIG surgiram na década de 60, buscando suprir a necessidade de armazenamento e processamento de dados. Entretanto, à época, a tecnologia ainda era insuficiente para realizar complexas formas de modelagens e processamentos, sendo restrito a poucas pessoas devido alto custo e dificuldade de manipulação. A partir de 1980, com o incremento das novas tecnologias,

o SIG realmente decolou, especialmente na última metade da década, devido a dois fatores principalmente: o desenvolvimento significativo dos microprocessadores, que permitiram a redução de custos e a concentração de grande quantidade de memória em “chips” muito pequenos e, ainda, a proliferação de “softwares” de baixo custo, muitos deles disponíveis para computadores pessoais (PCs). Esses fatores propiciaram a emergência comercial do SIG como uma nova tecnologia de processamento de informações, oferecendo capacidades únicas de automação, gerenciamento e análise de uma variedade de dados espaciais (HAMADA; GONÇALVES 2007, p. 13)

Hoje, essas tecnologias são especializadas, desenvolvidas e de baixo custo (grande parte), as quais podem ser acessadas de forma gratuita, seja através de softwares livres ou mesmo aquisição de dados de vários sites e catálogos que disponibilizam gratuitamente, como o INPE e USGS.

As funcionalidades e a utilização dos Sistemas de Informações Geográficas ocorrem de forma cíclica. Nesse sentido, os SIG não são apenas os fins, mais também meios de interação com diversos processos até a compreensão da realidade, planejamento e a tomada de decisão. Os componentes e processos que envolvem o SIG estão representados na figura abaixo.

Figura 7 - interação cíclica dos ambientes SIG



Fonte: Hamada e Gonçalves (2007).

A figura 07 apresenta claramente os processos de representação/interação e como os SIG estão articulados às funcionalidades: parte-se da realidade com a captação de dados por meio da radiação eletromagnética incidente nos alvos, os quais são posteriormente transmitidos aos bancos de dados que os armazena e, a partir das análises e processamento feito pelos usuários – engenheiros, geólogos, geógrafos, biólogos e demais – é possível extrair informações importantes para as tomadas de decisão mais precisas sobre a realidade. Veja que todo o processo descrito é cíclico, partindo da realidade – do fenômeno desconhecido, que intriga e exige ação imediata - para chegar à própria realidade como produto mediado pelas ações.

3.1.4 Processamento Digital de Imagem

O processamento digital de imagem constitui etapa primordial para a realização deste trabalho e de quaisquer outros trabalhos que utilizaram o processamento de imagem como ferramenta de compreensão da realidade. Existem inúmeras técnicas, etapas e procedimentos no processamento que são utilizadas de acordo com os objetivos de determinado trabalho, não estando, portanto, o pesquisador obrigado a segui-las.

Quando falamos em PDI não podemos esquecer dos pressupostos do sensoriamento remoto. Os dados capitados pelo sensoriamento remoto, isto é, a radiação oriunda da emitância ou refletância dos alvos que são captados pelos sistemas sensores

dos satélites é convertida em valores/imagens. Todavia, essas imagens geradas pelos sensores possuem interferências e, por isso, precisam ser processadas para que possam ser sanados os obstáculos como: interferências das nuvens, geometria de imageamento, ruídos, dentre outros. É a partir desse momento que lançamos mão das técnicas de processamento.

Quando trabalhamos com dados espaciais e geográficos, é preciso ter em mente que tais dados são de difícil compreensão, sobretudo para a mensuração de áreas e dispersão de fenômenos, dentre outros elementos. Nesse sentido, os dados geoespaciais podem conter erros tanto de localização por parte do georreferenciamento, quanto por erros residuais correlacionados aos fenômenos nos locais onde ocorrem. Para esses casos, onde não é possível saber com precisão os fenômenos estudados, recorreremos à estatística e cálculos matemáticos desenvolvidos pelos diversos softwares de processamento. Os casos mais simples podem ir desde o cálculo de áreas de um polígono, até a classificação de um dado matricial. Este último é o que mais interessa neste trabalho.

O dado matricial é representado por células que formam uma matriz quadriculada, em que cada célula contém valores de tons de cinza correspondente ao valor do pixel dentro do espectro eletromagnético. Assim, “o formato matricial das imagens facilita operações matemáticas e estatísticas para se analisar o grande volume de dados que possuem as imagens de sensoriamento remoto.” (MENESES; ALMEIDA, 2012, p. 82).

Para Meneses e Almeida (2012), os softwares de processamento de imagens, principalmente de sensoriamento remoto, dividem as técnicas em dois tipos: realce e classificação. Já para ROSA (2009, p. 200) “as principais técnicas de processamento digital de imagens são: correção de imagens, realce de imagens, classificação de imagens e transformação de imagens.” O realce tem a função de melhorar a visualização da imagem, torná-la mais acessível e apropriada à análise visual, enquanto a classificação é, em si, a interpretação auxiliada por computador que consegue agrupar diferentes assinaturas espectrais para, dessa forma, discriminar os alvos/objetos em análise (ROSA, 2009; MENESES; ALMEIDA, 2012).

Figura 8 - Principais técnicas e funcionalidades do PDI

Fonte: ROSA (2009). Elaborado pelo autor.

Quadro 1 - Principais técnicas e funcionalidades do PDI

Técnicas de PDI	Conceitos – Funcionalidades e Aplicações
Correção de Imagens	A correção de imagens procura remover os efeitos e interferências. Pode ser subdividida em correção radiométrica e correção geométrica.
Realce de Imagens	O realce diz respeito a modificação de imagens para torná-las mais apropriadas as capacidades da visão humana.
Classificação de Imagens	Classificação significa a associação de pontos de uma imagem a uma classe ou grupo; por exemplo, água, cultura, área urbana, reflorestamento, cerrado etc., ou ainda o processo de reconhecimento de classes ou grupos cujos membros exibem características comuns.

Fonte: IBGE (2000); ROSA (2009). Elaborado pelo autor.

As técnicas de processamento de imagens nos permitem corrigir as interferências, ruídos e defeitos na imagem, mas sabendo que devido tais interferências,

as imagens processadas não correspondem à totalidade da realidade. No processamento, para podermos utilizar as imagens de acordo com o projeto, deve-se atentar para os procedimentos descritos na figura e quadro acima e aplicar esses procedimentos a partir de 3 fases, não necessariamente obrigatórias ou indispensáveis: a) pré-processamento; b) processamento; c) pós-processamento.

No fase de pré-processamento – cujo objetivo principal não é a transformação das imagens, mas melhorar sua acuidade visual – é preciso realizar a correção geométrica que permite sanar distorções da instabilidade da plataforma ou oriundas da rotação da terra produzindo georreferenciamento adequado; correção atmosférica (mitigação da degradação da imagem causada por variáveis atmosféricas) e correção radiométrica – distorções nos valores digitais de determinada imagem que ocorre a partir do registro da radiação eletromagnética (IBGE, 2000; ROSA, 2009; MENESES; ALMEIDA, 2012).

A fase 2 (dois) corresponde ao processamento, que ocorre após a fase de pré-processamento. Esta fase é, sem sombra de dúvidas, uma das mais importantes, sendo parte principal para a realização dos estudos resultantes dos objetivos deste trabalho. No processamento ocorre a transformação da imagem (classificação).

A classificação das imagens de satélite deve basear-se em alguns parâmetros: características dos sensores/satélites; funcionalidades das cenas/bandas de acordo com o espectro eletromagnético e as próprias técnicas de classificação: i) Não-supervisionada – Isodata; K média –, ii) Supervisionada – Máxima verossimilhança; Distância mínima –, iii) Segmentada e iv) Rede Neural, dentre outras.

Para ROSA (2009); IBGE (2000) a classificação é a transformação de imagens que envolve a associação de cada pixel à um objeto real, auxiliada por computador, que permite agregar informações de cor, textura, rugosidades, tendo como base as respostas espectrais. Venâncio (2017, p. 107) afirma que a classificação de imagens “surge como um processo de extração de informação que analisa as assinaturas espectrais de cada pixel, separando-os em classes consoante a similaridade das suas assinaturas”.

Podemos resumir a última fase (pós-processamento) como a avaliação da classificação. A avaliação da classificação é parte integrante da análise e não deve ser descartada, pois é a partir da precisão das amostras que teremos como verificar se o classificador – algoritmo de classificação – foi treinado adequadamente e se as amostras

correspondem a uma boa classificação do campo amostrado. A verificação através da avaliação das macroclasses e classes pré-estabelecidas no classificador (Máxima verossimilhança, por exemplo) nos permite gerar uma matriz de confusão (acurácia) das amostras e decidir se a classificação é aceitável ou não, dentro da margem de erro, para a aplicação no projeto. Essa etapa será mais detalhada nos tópicos de metodologia.

3.1.4.1 Classificação Supervisionada

Mesmo sabendo da existência de várias técnicas de classificação – com destaque para a Não-supervisionada e Supervisionada –, a que mais se adequou com os propósitos e objetivos deste trabalho e, por isso, optou-se por utilizar, foi a Classificação Supervisionada, especificamente o algoritmo de classificação por Máxima verossimilhança.

Para Meneses e Almeida (2012) e Rosa (2009), a classificação supervisionada exige o conhecimento prévio da área pelo pesquisador ou grande certeza dos alvos de determinadas áreas, afim de fazer inferências. Com o conhecimento prévio da área de estudo, coleta-se pontos de amostras de treinamento do classificador, a partir da geração de macroclasses e classes a qual cada amostra será associada. O total de amostras coletadas não tem quantidade fixa, depende tão somente do tamanho da área e da quantidade dos pixels essenciais para uma boa classificação das respostas espectrais de cada classe/alvo.

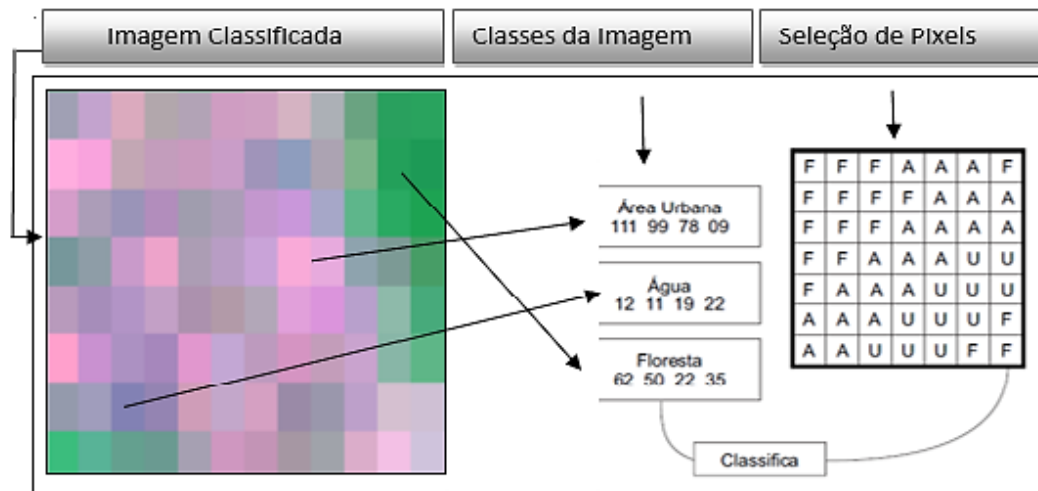
O pesquisador precisa controlar as amostras e conhecer suas características, pois de acordo com IBGE (2000, p. 76),

Para implementação da classificação supervisionada o analista, a partir do conhecimento da área ou por inferências, relaciona áreas da imagem com as classes de cobertura da terra que deseja separar. Nestas áreas são selecionadas amostras de treinamento que são um conjunto de pixels considerados mais representativos das classes de interesse. As classes são, portanto, definidas a priori e o processo de classificação visa a enquadrar cada pixel a uma classe. Todos os pixels das amostras de treinamento de uma dada classe constituem o conjunto de treinamento para aquela classe, o qual define um padrão de comportamento espectral da classe, geralmente expresso pelos parâmetros estatísticos.

É possível, ao final de todo o processo, fazer uma nova seleção de amostras a fim de validar/avaliar a classificação realizada. Na figura 09 observa-se, de forma

simplificada, o processo de seleção de pixels com similaridade de respostas espectrais de cada classe, para seu posterior agrupamento.

Figura 9 - Exemplo de agrupamento de pixels com similaridade



Fonte: Adaptado de IBGE (2000).

3.1.4.2 Classificação MAXVER

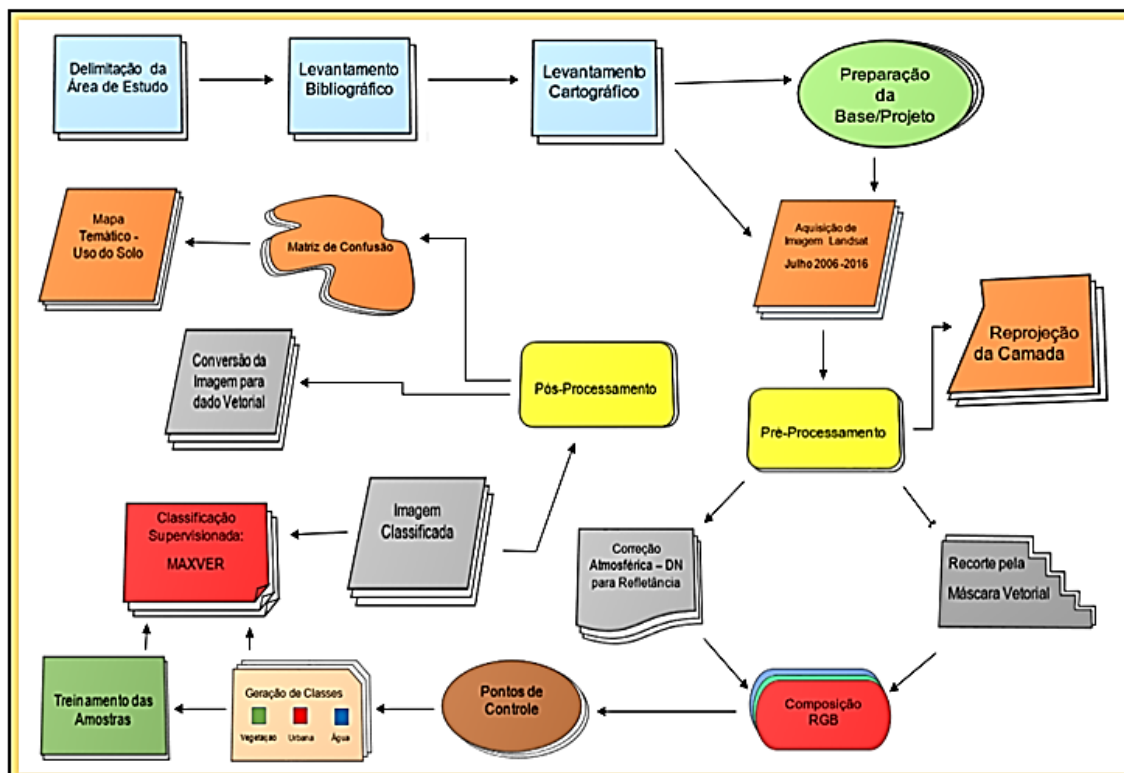
O classificador Maximum Likelihood (Máxima verossimilhança) é um algoritmo que vem sendo bastante utilizado nos trabalhos devido realizar uma classificação aceitável aplicando probabilidade pixel a pixel nas amostras selecionadas, definindo um padrão que permite agrupar estas amostras de acordo com as classes e macroclasses pré-estabelecidas. Nesse sentido, o classificador calcula a probabilidade das respostas espectrais de cada amostra pertencer a determinada classe.

A classificação por Máxima verossimilhança é uma das mais comuns. Este classificador aplica probabilidade em cada pixel (ponto a ponto) a fim de estimar se um pixel pertence a uma ou outra classe. Cada pixel é destinado à classe que tem a mais alta probabilidade, isto é, a máxima verossimilhança. (BETUDO, 2002; MENESES; ALMEIDA, 2012; VENÂNCIO, 2017).

3.2 Metodologia

As fases e etapas constituem parte indispensável do planejamento. Dessa forma, foram estabelecidos percursos metodológicos para alcançar os objetivos de realizar a análise temporal da vegetação no perímetro urbano de Marabá, conforme pode ser observado na figura 10.

Figura 10 - Esboço Metodológico



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Como pode ser observado, inicia-se como a delimitação da área de estudo, levantamento documental e cartográfico, necessários à elaboração da base do projeto já no ambiente SIG. Após essa preparação inicial, foi feito o download das imagens de satélite a ser utilizadas no trabalho e, logo em seguida, a etapa de pré-processamento teve início. Na etapa de pré-processamento, realizou-se a reprojeção da imagem, correção atmosférica e o recorte pela máscara vetorial referente à área de estudo.

Estes procedimentos foram essenciais para a preparação da imagem, passando então a ser realizado a composição RGB apropriada que pudesse diferenciar os alvos; a partir desse momento, foram coletados pontos de controle, necessários para definição de

macroclasses e classes do uso e ocupação do solo. Com as macroclasses e classes definidas, foi coletado amostras de treinamento na imagem, para que o algoritmo de classificação utilizado fosse treinado e pudesse classificar de forma adequada as macroclasses pré-estabelecidas.

Conforme observado na figura 10, já com a imagem classificada, seguiu-se para a fase de pós-processamento, passando a ser gerado os dados temporais da vegetação – e demais classes – e as análises comparativas entre os anos de 2006 e 2016 objeto desse estudo. Ainda nesta etapa de pós-processamento, a imagem classificada com formato GeoTIFF, foi convertida para dado do tipo shapefile, para que pudesse ser manipulado de acordo com as necessidades da pesquisa. Sucessivamente, foi gerado uma matriz de confusão para verificar o erro do processo de classificação em relação as classes definidas. Feitos esses procedimentos metodológicos, foram elaborados mapas temáticos que auxiliaram às análises espaciais e temporais da vegetação.

3.2.1 Aquisição dos dados e Imagens

Na etapa de levantamento bibliográfico e cartográfico, foi realizado consultas e aquisições da base cartográfica, como arquivos Shapefile e Raster, malha dos limites dos distritos, perímetro urbano de Marabá, leis de criação e alteração dos limites urbanos, documentos e publicações de materiais que abordam a análise espacial e referentes à área de estudo. Dessa forma, foi feito levantamento em órgãos e catálogos que disponibilizam tais dados, como o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE; United States Geological Survey – USGS; Secretaria de Planejamento de Marabá – SEPLAN.

Para a preparação do projeto, o software utilizado foi o QGIS versão 2.18 Las Palmas, de 32 bits, com instalação do plugin Semi-Automatic Classification Plugin - SCP, necessários para a realização da classificação supervisionada. As propriedades do projeto foram configuradas para o Datum WGS 84 e Sistemas de Coordenadas Planas, Zona UTM 22S, uma vez que seria necessário realizar cálculo de área e aplicação de análises geoespaciais e por a área de estudo estar localizada em um único fuso.

As imagens de satélite constituíram parte fundamental para a análise temporal da vegetação. Nesse sentido, para a aquisição das imagens utilizou-se alguns critérios:

órgão cedente; satélite e sensor apropriado para os objetivos do trabalho; data de aquisição das imagens pelo satélite; horário; quantidade de nuvem; bandas/cenas e suas propriedades.

De acordo com os critérios estabelecidos, as imagens foram adquiridas do United States Geological Survey (Serviço Geológico dos Estados Unidos), disponível no site <<https://earthexplorer.usgs.gov>> sendo selecionados os satélites Landsat 5, sensor TM – Thematic Mapper e Landsat 8, sensor OLI – Operational Land Imager, correspondendo ao período temporal de 2006 a 2016, pois o Landsat 8 entrou em operação apenas em 2013.

Para o Landsat 5, a data de aquisição da imagem selecionada foi 24/07/2006, órbita-223 ponto-064, às 13h17min, com 1% de cobertura de nuvem, bandas 1-2-3-4-5-6 e 7, Datum WGS 84 e projeção UTM 22N, sendo necessário reprojeção da imagem para UTM 22S, pois ela é originalmente direcionada ao norte verdadeiro.

Para o Landsat 8, a data de aquisição da imagem selecionada foi 19/07/2016, órbita-223 ponto-064, às 13h24min, com 1.48% de cobertura de nuvem, bandas 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10 e 11, Datum WGS 84 e projeção UTM 22N, sendo necessário, de mesmo modo, a reprojeção da imagem para UTM 22S, pois ela é originalmente direcionada ao norte verdadeiro. O procedimento de aquisição está descrito na tabela 1 e imagem 1 e 2 abaixo.

Tabela 1 - Características e aquisição das imagens utilizadas

Satélite	SENSOR	ÓRBITA/PONTO	DATA	HORA
LANDSAT 5	TM	223/064	24/07/2006	13h17min
	% NUVEM	DATUM	PROJEÇÃO	BANDAS
	1%	WGS	UTM Zona22N	1-2-3-4-5-7
Satélite	SENSOR	ÓRBITA/PONTO	DATA	HORA
LANDSAT 8	OLI	223/064	19/07/2006	13h24min
	% NUVEM	DATUM	PROJEÇÃO	BANDAS
	1,48%	WGS	UTM Zona22N	1-2-3-4-5-6-7

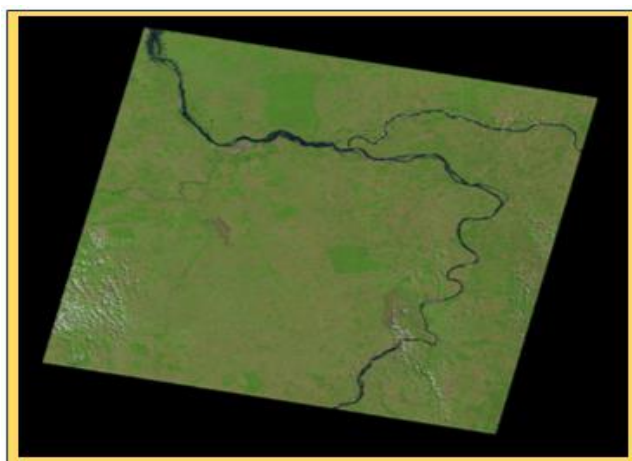
Fonte: USGS (2010). Elaborado pelo autor.

Imagem 1 - Visualização da Imagem Landsat 5 no site da USGS.



Fonte: United States Geological Survey. Elaborado pelo autor

Imagem 2 - Visualização da Imagem Landsat 8 no site da USGS.



Fonte: United States Geological Survey. Elaborado pelo autor

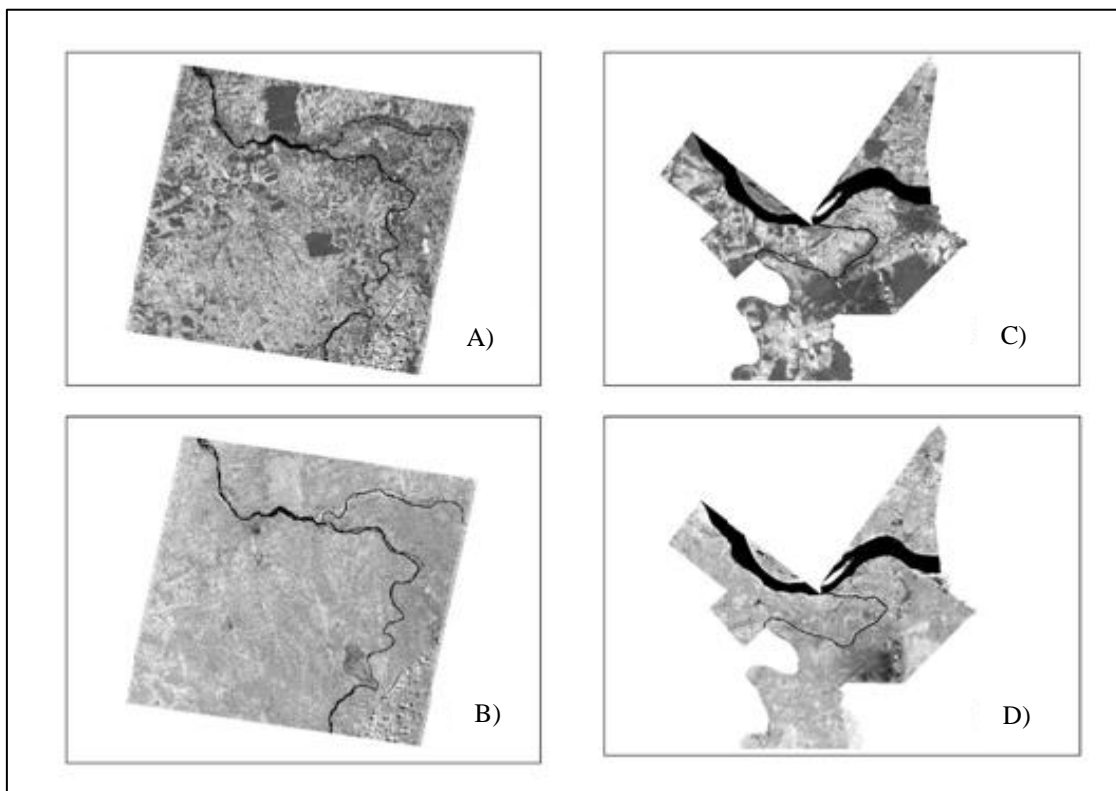
Os critérios adotados permitiram eliminar possíveis interferências e incoerências nas análises (porcentagem de nuvem, variação na insolação, afetando a resposta espectral dos alvos). Desse modo, para os anos de 2006 e 2016, a aquisição foi feita no mês de julho, com diferença de 5 dias entre as imagens do Landsat 5 e Landsat 8, ambas às 13h, com diferença de 7 minutos entre elas, e variação de 0,48% de nuvem.

3.2.2 Pré-Processamento

Na etapa de pré-processamento, algumas técnicas e procedimentos foram adotados, pois essa etapa é de extrema importância para a correção de resíduos na imagem e melhoramento da visualização. Nesse sentido, as etapas realizadas correspondem: a) reprojeção da imagem, pois as imagens dos satélites Landsat são originalmente projetadas para o norte verdadeiro, sendo necessário realizar a reprojeção da imagem para o sistema de projeção definido no projeto, correlacionado ao fuso onde a área de estudo está inserida. Foi elaborado a reprojeção para a zona 22 S, mantendo-se a projeção UTM e código EPSG 32722; b) aplicação da correção atmosférica. A correção atmosférica permite converter os números digitais (ND's) para refletância, aplicando melhoramento da imagem em relação a interferências das nuvens existentes. Só é possível a conversão para refletância com os metadados da imagem, contendo dados como elevação do sol, distância da terra, dentre outros parâmetros.

Sequencialmente, com a imagem corrigida e a partir do perímetro da área de estudo, foi realizado recorte da imagem pela máscara vetorial, conforme figura 11. Esse procedimento foi realizado para as bandas dos Landsat 5 e 8, com exceção da pancromática.

Figura 11 - Imagens A e B: Bandas 5 e 4 do satélite Landsat 5, ano 2006. Imagens C e D: Recorte da imagem pela máscara vetorial do perímetro urbano de Marabá.

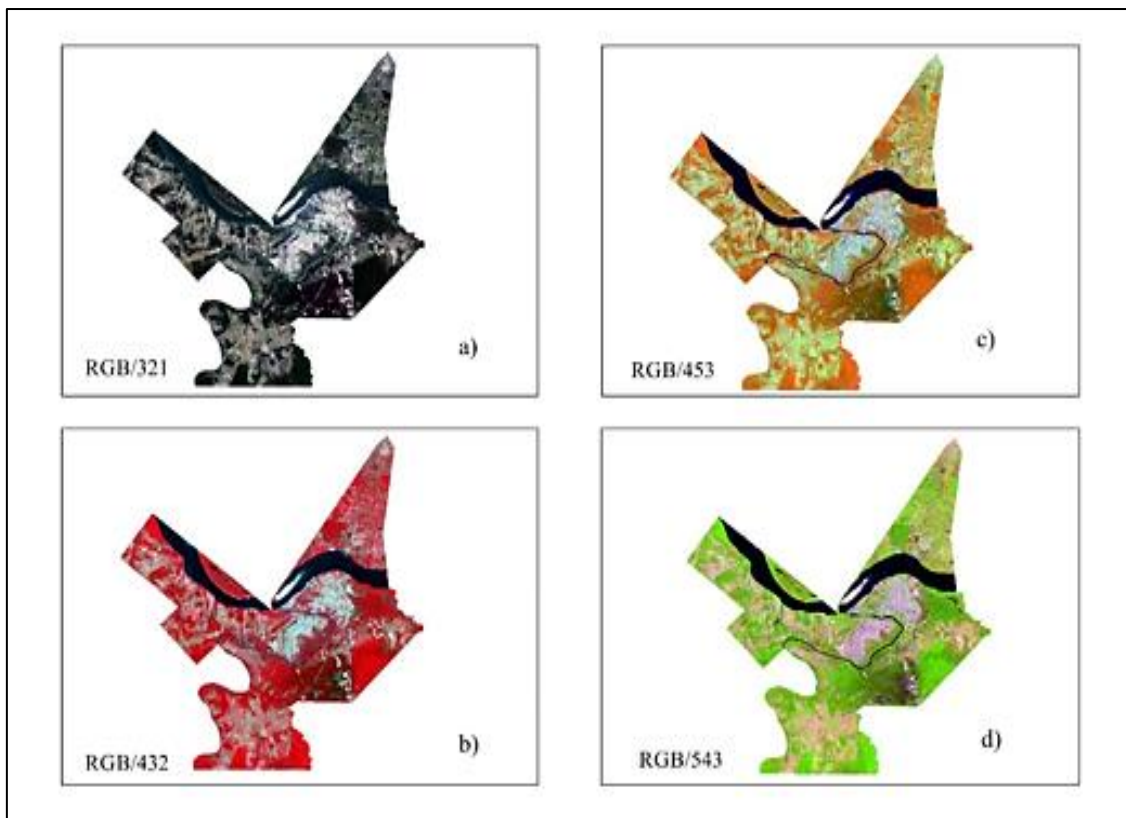


Fonte: Elaborado pelo autor.

As imagens em tons de cinza recortadas passaram por várias composições coloridas, para que pudesse ser definido a melhor combinação a fim de discriminar os alvos de forma heterogênia. As principais composições realizadas foram: a) RGB/3,2,1 – cor natural; b) RGB/4,3,2 – cor infravermelho; c) RGB/4,5,3 – falsa cor; d) RGB/3,4,2 – falsa cor; e) RGB/5,4,3 – falsa cor, para o Landsat 5.





Para o Landsat 8, as composições foram: a) RGB/4,3,2 – cor natural; b) RGB/5,4,3 – cor infravermelho; c) RGB/5,6,4 – falsa cor; d) RGB/4,5,3 – falsa cor; e) RGB/6,5,4 – falsa cor. A composição que melhor diferenciou os alvos uns dos outros foi a composição RGB/5,4,3 e RGB/6,5,4, respectivamente para os Landsats 5 e 8, sendo essas composições adotadas no trabalho por propiciar a coleta de amostras de forma que não houvesse confusão entre os alvos. A figura 12 apresenta as principais composições e a figura 13, a correspondência entre as composições coloridas das imagens Landsat 5 e 8.

Figura 12 - Composições RGB para as imagens Landsat 5 (2006) e Landsat 8 (2016): a) cor natural; b) infravermelho; c) falsa cor; d) falsa cor utilizada no trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 13 - Composição e equivalência RGB das bandas Landsat 5 (2006) e Landsat 8 (2016).

	Cor Natural	Landsat 5 RGB/3,2,1	Landsat 8 RGB/4,3,2
	Cor Infravermelho	RGB/4,3,2	RGB/5,4,3
	Falsa Cor	RGB/4,5,3	RGB/5,6,4
	Falsa Cor	RGB/5,4,3	RGB/6,5,4

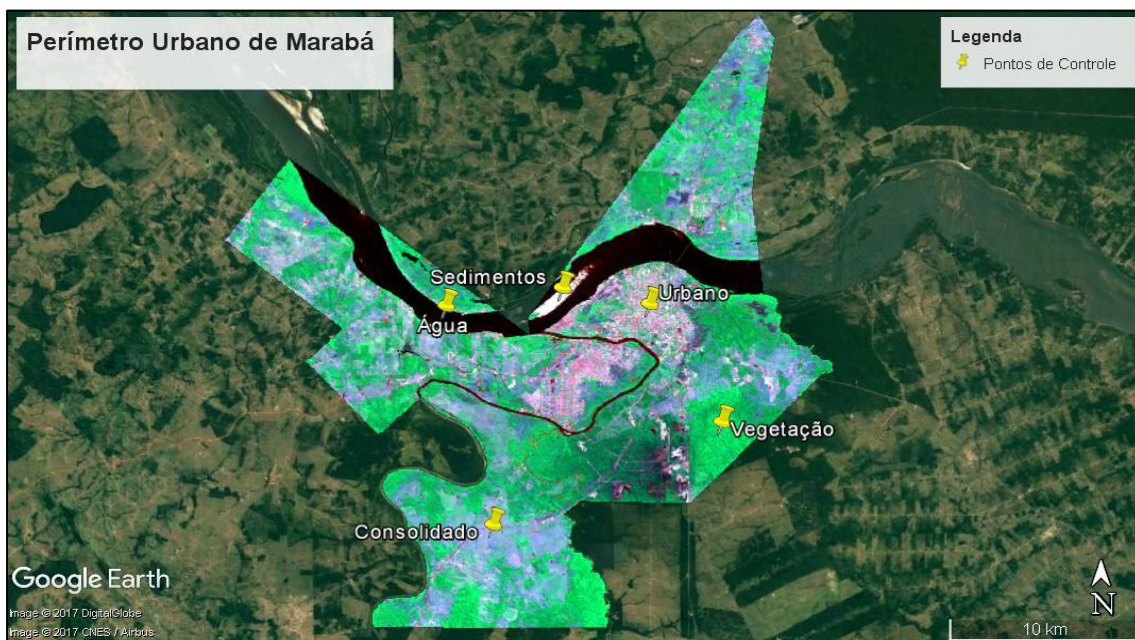
Fonte: Adaptado de USGS.

Feita a composição colorida para a área do perímetro urbano de Marabá, foi levantado pontos de controle com a utilização do Google Earth, para a geração das classes e coleta de amostras de treinamento.

Com os pontos de controle, foi definido 5 macroclasses: vegetação, urbano, consolidado, água e sedimentos, para que o treinamento do classificador fosse realizado. Para a Vegetação, considerou-se o total da área coberta por vegetação, seja ela vegetação nativa, floresta regenerada ou plantada existentes no perímetro. A macroclasse urbano corresponde às áreas construídas e de mineração, como casas, ruas, complexos industriais, residenciais, dentre outros. Consolidado, diz respeito às áreas antropizadas descobertas, onde há ausência de construções, como é o caso do solo exposto. Em relação à macroclasse água, abrange o conjunto de corpos d'água, como rios e seus afluentes existentes. Por fim, a macroclasse sedimentos representa o conjunto de grãos que quartzo que formam os bancos de areia pertencentes ao perímetro urbano analisado.

Foram coletadas 30 amostras para a macroclasse vegetação; 30 amostras para a macroclasse consolidado; 30 amostras para a macroclasse água; 30 para urbano e 20 para sedimentos, conforme observado na figura 14 e quadro 2.

Figura 14 - Coleta de pontos de controle e análise de macroclasse a partir do Google Earth



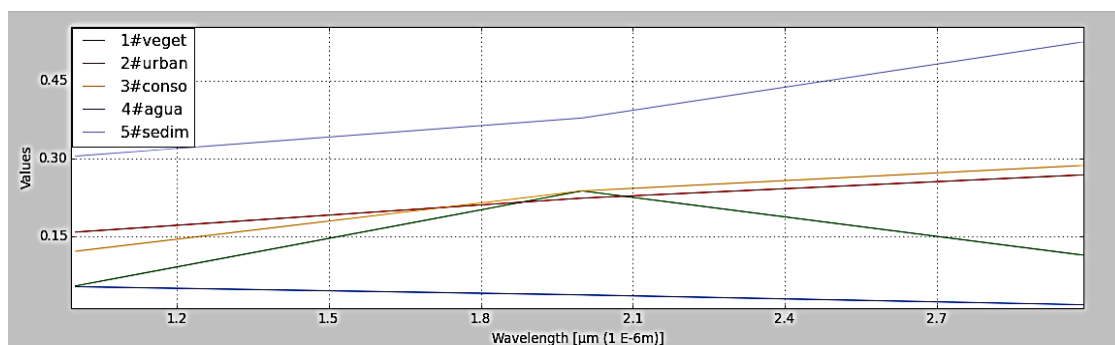
Fonte: Google Earth (2017). Elaborado pelo Autor.

Quadro 2 - Identificação das macroclasses, classes e amostras

ID	Macroclasse	Classe	Nº de Amostras	ID da Classe	Cor das Classes
1	Vegetação	Vegetação	30	1 a 30	Verde
2	Urbano	Área Urbana/Industrial	30	31 a 60	Vermelho
3	Consolidado	Área Consolidada	30	61 a 90	Amarelo
4	Água	Rio Tocantins/Itacaiúnas	30	91 a 120	Azul
5	Sedimentos	Areia	20	121 a 140	Branco

Fonte: Elaborado pelo Autor

Foi analisado a resposta espectral das amostras coletadas, verificando se estão aptas ou se apresentam confusão com outras amostras, pois nesse último caso, substituiu-se a amostra. Essa verificação é possível pois cada alvo se comporta de maneira diferente ao longo do espectro eletromagnético, de acordo com a figura 15.

Figura 15 - Resposta espectral das amostras de acordo com o comprimento de ondas

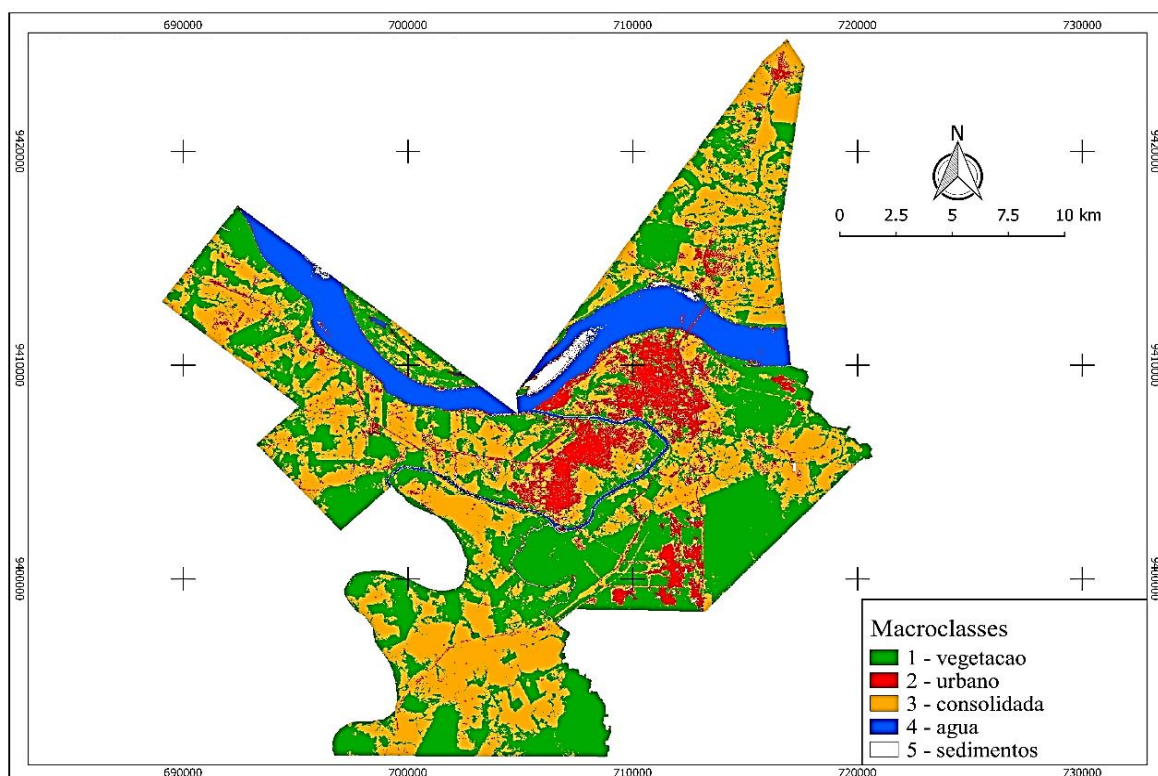
Fonte: Gerado pelo SCP.

É possível verificar nos alvos sedimentos, vegetação e água que suas respostas espectrais se diferem das demais em praticamente todas as bandas utilizadas. Entretanto, para a os alvos da área urbana e consolidada, existe uma grande similaridade em algumas amostras coletadas, gerando confusão no classificador. No gráfico acima, ao longo do comprimento de ondas esses alvos encontram-se paralelos, com pequena diferença de valor, mas como refletância bastante similar. Essa similaridade é devido a área consolidada ser aqui considerada áreas antropizadas, onde houve supressão da vegetação, como solo exposto, mas que não possuem edificações, enquanto a área urbana é considerada como às demais áreas urbanizadas com edificações: casas,

edifícios, estradas, indústrias, dentre outros. Ambos possuem assinatura espectral semelhantes.

O classificador escolhido, após a realização de alguns testes, foi o Maximum Likelihood (Máxima Verossimilhança), uma vez que apresentou a melhor classificação para as classes definidas. A figura 16 representa a imagem classificada por Máxima Verossimilhança.

Figura 16 - Imagem classificada por Máxima Verossimilhança, de acordo com as macroclasses definidas.



Fonte: Gerado pelo SCP. Elaborado pelo autor

3.2.2 Pós-Processamento

O pós-processamento permite avaliar se o resultado do processamento está de acordo com os objetivos esperados. É nesta etapa que podemos analisar a imagem classificada, verificando: a) se a classificação está adequada; b) possível confusão na classificação de amostras; c) possibilidade de correção de erros; d) possibilidade de substituição de amostras.

Esses procedimentos são verificados principalmente através da matriz de confusão e/ou da resposta espectral de cada amostra que é gerada no classificador (ver figura 17 acima). Segundo Venâncio (2017), a matriz de confusão consiste na geração

de dados de retorno que define a quantidade de pixels classificados corretamente – ou erroneamente – para cada classe.

Para que possa ser criada uma matriz de confusão, é necessário criar áreas de validação da qual se tenha grande certeza de qual classe pertença. Após criadas as áreas de validação, é feito o cruzamento dessas áreas (amostras) com a imagem classificada utilizando o método de estatística multivariada discreta, passando a gerar os dados de precisão da imagem. A avaliação é realizada principalmente através de duas formas: Matriz de Confusão e Coeficiente de Concordância – índice KAPPA.

3.3 Avaliação da Classificação

Como descrito anteriormente, a etapa de avaliação da classificação faz parte do pós-processamento. Após essa etapa, seguiu-se, então, para a geração dos mapas temáticos e demais resultados que serão utilizados de acordo com a necessidade do estudo. Os dados que serão apresentados a seguir constituem a avaliação da classificação das imagens que auxiliaram a análise temporal da vegetação do perímetro urbano de Marabá, objeto de estudo deste trabalho.

Quadro 3 - Matriz de confusão da classificação da imagem Landsat 8

Macro Classe	ID	Vegetação	Urbano	Consolidado	Água	Sedimentos	Total
		1	2	3	4	5	
Vegetação	1	7770	1	3	0	0	7774
Urbano	2	0	1120	14	28	1	1163
Consolidado	3	0	21	2784	0	3	2808
Água	4	0	0	0	2858	0	2958
Sedimentos	5	0	0	0	0	324	324
	Total	7770	1142	2801	2886	328	14927
Precisão ao Produtor		100%	98%	99%	99%	98%	

Legenda:

	Número de pixels corretamente classificados	Precisão Global	99%
	Número de pixels incorretamente classificados		
	Número de identificação de cada Macroclasse	Índice kappa	99%

Fonte: Gerado pelo SCP. Elaborado pelo autor.

Quadro 4 - Matriz de confusão da classificação da imagem Landsat 5

Macro Classe		Vegetação	Urbano	Consolidado	Água	Sedimentos	Total
	ID	1	2	3	4	5	
Vegetação	1	6358	0	0	0	0	6358
Urbano	2	0	236	28	0	0	264
Consolidado	3	0	0	4007	0	0	4007
Água	4	0	0	0	7338	0	7338
Sedimentos	5	0	10	0	4	363	377
	Total	6358	246	4035	7342	363	18344
Precisão ao Produtor		100%	95%	99%	99%	100%	

Legenda:

	Número de pixels corretamente classificados	Precisão Global	99%
	Número de pixels incorretamente classificados		
	Número de identificação de cada Macroclasse	Índice kappa	99%

Fonte: Gerado pelo SCP. Elaborado pelo autor.

Conforme pode ser observado na matriz de confusão (quadro 03 e 04), a classificação foi bastante satisfatória. Isto porque grande parte dos pixels das amostras coletadas foram corretamente classificados para a classe de referência.

Se analisarmos, por exemplo, a coluna macroclasse urbano (ID = 2) do quadro 04, verificamos que há um total de 1142 pixels. Entretanto, apenas 1120 (número de pixels corretamente classificados, fundo verde do respectivo quadro) foram classificados satisfatoriamente. 21 pixels foram classificados na macroclasse consolidado (ID = 3) e 1 pixel foi classificado na macroclasse vegetação (ID = 1). Essa avaliação da classificação mostrou que a precisão do produtor para a macroclasse urbano foi de 98%.

A precisão do produtor é obtida através da divisão da quantidade de pixels corretamente classificados em cada macroclasse (fundo verde) pelo total de pixels da coluna referente a cada macroclasse (soma dos valores do fundo verde + fundo vermelho). Na prática, tendo os valores da macroclasse urbano descritos acima, como referência, tem-se a precisão do produtor:

Quadro 5 - Cálculo da precisão do Produtor

$$1120 \div 1120 + 21 + 1 =$$

$$1120 \div 1142 =$$

$$0,98\%$$

Onde:

1120 = total de pixels classificados corretamente
 1120+21+1 = somas dos pixels corretos e incorretos
 1120 ÷ 1142 = divisão dos corretos pelo total (corretos + incorretos)
 0,98% = precisão do produtor

Fonte: Gerado pelo SCP. Elaborado pelo autor.

Outro referencial importante obtido a partir da matriz de confusão, de acordo com Venâncio (2017) e Congedo (2016) é a precisão do utilizador. Esta precisão diz respeito à precisão da probabilidade dos produtos gerados na classificação (mapas, por exemplo) estarem corretos em relação a sua utilização em campo.

O cálculo da precisão do utilizador é semelhante ao do produtor, mas ao invés de dividir os pixels de determinada macroclasse classificados corretamente em cada **coluna** pelo total dos pixels resultantes da soma dos pixels classificados corretamente e erroneamente, na geração da precisão do utilizador divide-se o total de pixels classificados corretamente em cada macroclasse pela soma dos pixels da **linha** – e não mais a coluna – de determinada macroclasse.

Utilizando o exemplo dado acima, verificamos que na linha urbano (ID = 2) do quadro 03, verificamos que há um total de 1163 pixels. Por outro lado, apenas 1120 foram classificados satisfatoriamente. Então, se dividirmos os 1120 (classificados corretamente na linha urbano pelo total da referida linha que é de 1163, temos a precisão do utilizador. Essa avaliação da classificação mostrou que a precisão do utilizador para a macroclasse urbano foi de 96%, conforme segue:

Quadro 6 - Cálculo da precisão do Utilizador

$$1120 \div 1120 + 14 + 28 + 1 =$$

$$1120 \div 1163 =$$

$$0,96\%$$

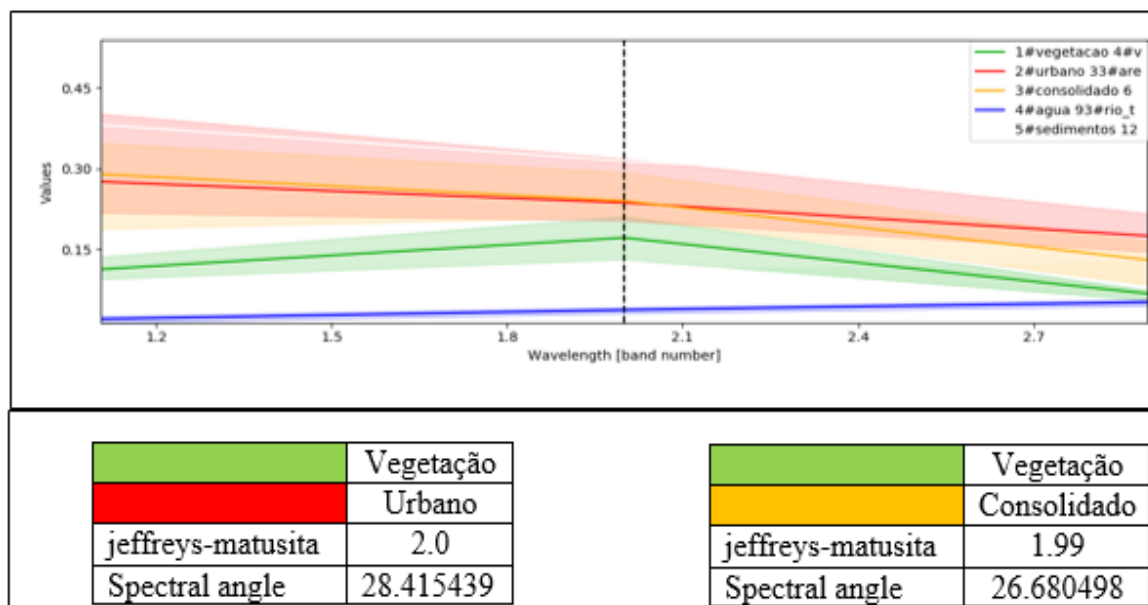
Onde:

1120 = total de pixels classificados corretamente
 1120 + 14 + 28 + 1 = somas dos pixels corretos e incorretos
 1120 ÷ 1163 = divisão dos corretos pelo total (corretos + incorretos)
 0,96% = precisão do utilizador

Fonte: Gerado pelo SCP. Elaborado pelo autor

Com base na avaliação satisfatória, foi analisado algumas amostras de cada classe a partir das distancias espectrais, verificando os parâmetros de distância para a classificação por Máxima verossimilhança. Para Congedo (2016), o parâmetro de distância ideal para Máxima verossimilhança é a distância de jeffrey-matusita, onde: (0 = amostras semelhantes e quanto mais próximas de 2 = amostras mais heterogêneas).

Figura 17 - Distância jeffreys-matusita em relação à resposta espectral das amostras



Fonte: Gerado pelo SCP. Elaborado pelo autor.

A figura 17 apresenta ótimo parâmetro entre as macroclasses vegetação (ID 1) e Urbano (ID 2), mantida a distância espectral, reduzindo a probabilidade de erro. Já para as macroclasses vegetação e consolidado (ID 1 e ID 2) a distância de jeffrey-matusita apresentou valor 1.99, ótimo parâmetro, mas com probabilidade de semelhança entre algumas amostras. Não houve necessidade de analisar outros parâmetros (como o de Distância euclidiana; ângulo espectral) nem de realizar a comparação com as demais macroclasses, pois este trabalho trata-se da análise temporal da vegetação – e não da análise de cobertura do solo –, sendo suficiente as comparações apenas desta macroclasse (vegetação) pois é o principal objeto estudo.

4. CAPÍTULO III: ANÁLISE TEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL DO PERÍMETRO URBANO DE MARABÁ DE 2006 A 2016

O atual processo de desenvolvimento das sociedades tem provocado mudanças socioambientais em escala local e global. O local é onde temos a percepção mais acentuada dos fenômenos que nos cerca, pois podemos perceber os efeitos diretos de ações de poluição e degradação da natureza. Nas últimas décadas, com o crescente processo de urbanização, as cidades e os centros urbanos passaram a exercer influência significativa sobre a poluição e contaminação dos espaços onde vivem a maior parte da população.

A análise temporal é importante instrumento de verificação das alterações dessas influências que impacta diretamente a vida tanto em áreas urbanas quanto nas demais áreas em constante transformação. A análise em questão está centrada apenas na cobertura vegetal do perímetro urbano de Marabá, para, a partir dessa variável, serem elaboradas as correlações com as outras variáveis que compõem o uso e ocupação da terra/solo.

Nesse sentido, algumas técnicas de geoprocessamento são fundamentais para a análise da alteração ou manutenção dos aspectos sociais e ambientais, pois permitem avaliar os avanços no tempo. Um dos aspectos principal de diagnóstico socioambiental é a vegetação. Assim, com o auxílio de imagens de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento será verificado a evolução da cobertura vegetal do perímetro urbano de Marabá no período temporal compreendido entre 2006 e 2016.

4.1 Impactos na Cobertura Vegetal

A cobertura vegetal engloba o conjunto da vegetação de determinada área, desde a vegetação nativa até a vegetação secundária. Embora a conceituação de cobertura vegetal gere interpretações conceituais diversas quando nos referimos a áreas urbanas, como exemplo: áreas verdes, livres, é utilizado neste trabalho o termo cobertura vegetal de forma análoga e abrangendo todos os outros. Portanto, quando nos referirmos à cobertura vegetal, as terminologias conceituais de área verde e área livre estará contemplada, uma vez que no estudo realizado, será tratado unicamente de cobertura vegetal. Porém, para fins conceituais, será feita a distinção entre eles.

Em relação à cobertura vegetal, pode ser definida como a projeção da vegetação resultantes de áreas verdes e as unidades de conservação urbanas ou rurais que podem ser identificadas por fotografias aéreas. Já as áreas verdes são espaços providos de vegetação na área urbana em que o principal elemento que compõe essas áreas seja a vegetação e exerçam função estética, lazer e ecológico-ambiental, como as zonas ambientais urbanas, bosques, praças. (NUCCI e CAVALHEIRO, 1999; LUZ e RODRIGUES, 2012).

O desmatamento da cobertura vegetal nas cidades tem tronado a vida urbana cada vez mais precária, pois influencia diretamente outros aspectos, como: a qualidade da água, assoreamento das nascentes/áreas de preservação, qualidade do ar, humidade. Segundo Nucci e Cavalheiro (1999); Lima e Amorim (2006), a cobertura vegetal é relacionada pela população com função cultural e de satisfação, mas ela vai além: exerce funções físicas de estabilização dos solos, proteção de nascentes e mananciais, fornecedor de alimentos, equilíbrio da humidade, redução de ruídos, obstáculo contra os ventos, filtração do ar, ordenamento visual e organização dos espaços. Dessa forma, percebemos que a cobertura vegetal é essencial para o desenvolvimento da sociedade e, nas áreas urbanas, é indicador de qualidade de vida.

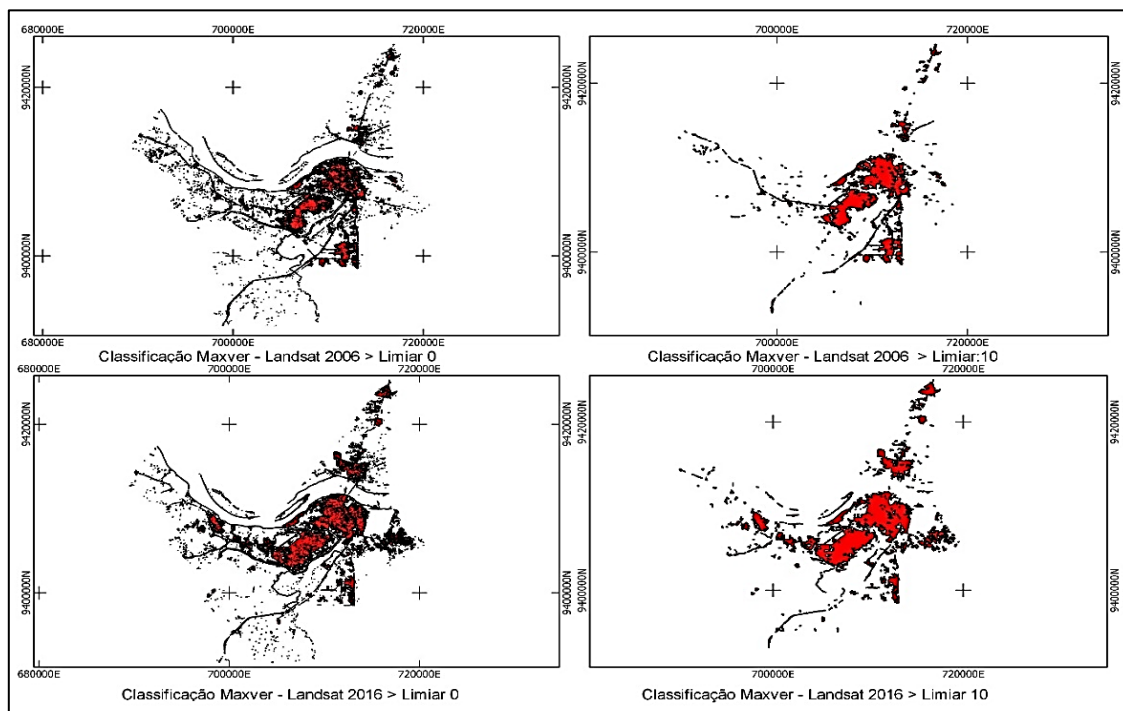
4.2 Expansão Urbana e correlação com a Cobertura Vegetal

O perímetro urbano (PU) de Marabá, sobretudo nos últimos anos, passou por mudanças significativas, seja na sua configuração ou nos processos de intensificação dos problemas socioambientais. As lógicas de produção do espaço urbano possibilitaram ocupações em áreas de interesse ambiental, matas ciliares, avanço sobre a vegetação nativa e desmatamento de áreas rurais, o que tem contribuído com impactos na cobertura vegetal dessa área, provocando desequilíbrio ambiental. Soma-se a esse desequilíbrio os provocados pelos desmatamentos de áreas cadastradas como rurais no perímetro urbano.

A partir de 2006 houve grande intensificação no processo de expansão urbana, que mantém correlação direta com a supressão da cobertura vegetal do perímetro urbano de Marabá. A intensificação da urbanização impactou a cobertura vegetal nos diversos núcleos de Marabá, incluindo as áreas de expansão do PU. Dessa forma, foi verificado

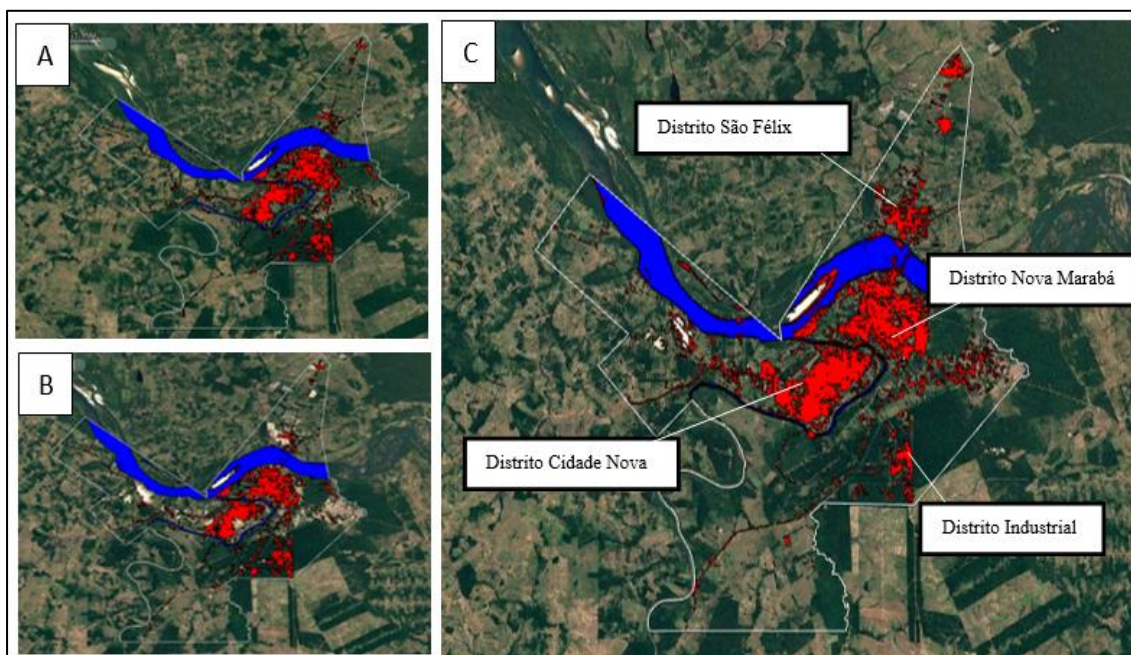
avanços em São Felix, Morada Nova, Nova Marabá, Cidade Nova, e áreas de expansão – grande parte cadastradas como rurais. A figura e imagens a seguir mostram a expansão da macha Urbana entre 2006 e 2016.

Figura 18 - Expansão da mancha urbana no período de 2006 a 2016 (com e sem limiar).



Fonte: Gerado pelo SCP. Elaborado pelo autor

Imagem 3 - Comparação mancha urbana e imagem entre 2006 a 2016



Fonte: Google Earth (2016); PMM (2014). Elaborado pelo autor.

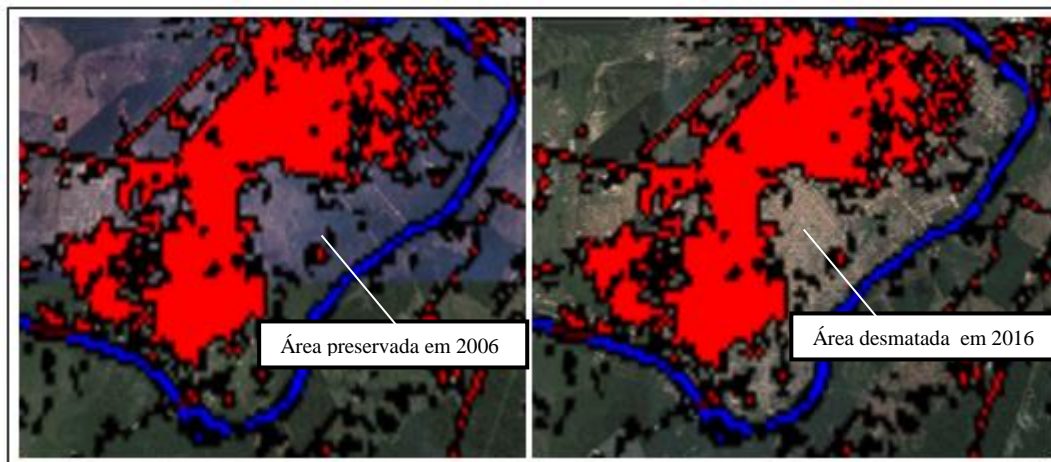
A figura 18 trata-se da expansão urbana do perímetro urbano de Marabá, de 2006 a 2016 – nas imagens a direita foi aplicado um “crivo” através do classificador sieve a fim de tornar a imagem mais homogênea –, onde fica evidente a ideia da expansão em diversas frentes. Porém, dois dados extremamente importantes (que serão abordados com profundidade mais a frente) são: expansão da mancha urbana sobre a Zona Especial de Interesse Ambiental – ZEIA, definida no Plano Diretor de Marabá e em direção à margem do rio Itacaiúnas, impactando profundamente a mata ciliar do rio.

Já na imagem 3 é apresentado a comparação entre a mancha urbana de 2006 com a área urbana para os anos de 2006 e 2016, através de 3 imagens, respectivamente A, B e C. Na imagem A, temos a mancha urbana e imagem (ambas de 2006) onde é possível verificar a concentração da área urbanizada na Nova Marabá e Cidade Nova, com baixos índices nos demais núcleos, além da manutenção da mata ciliar do rio Itacaiúnas com grande quantidade de cobertura vegetal nas áreas de proteção e interesse ambiental.

Na imagem B (com mancha urbana de 2006 e imagem de 2016) o contraste entre a mancha urbana e a expansão a partir de 2006 é bastante acentuada. A partir desse momento verificamos o avanço para os demais núcleos (como exemplo o Distrito de São Félix). Isso ocorreu devido a intensificação da urbanização em Marabá a partir do período Pós-ALPA, conforme denominado por Souza (2015). Os resultados dos intensos processos de urbanização podem ser verificados na imagem C, onde a mancha urbana em 2016, após os processos citados, demonstra grande quantidade de área urbanizada com crescimento em praticamente todos os núcleos da cidade.

A imagem 4 faz a comparação entre duas imagens, uma de 2006 e outra de 2016, ambas com mancha urbana de 2006. Nela é possível verificar, considerando o Distrito Cidade Nova, que entre 2006 e 2016 esse distrito também passou por intensos processos de expansão, inclusive gerando impacto sobre a Zona Especial de Interesse Ambiental. A área as margens do rio Itacaiúnas aparece bastante conservado em 2006, mas em 2016, essa mesma área aparece desmatada, passando a existir grande quantidade de habitações, oriundas das lógicas de expansão do espaço urbano, discutido no Capítulo I desse trabalho.

Imagem 4 - Comparação mancha urbana (2006) e imagem (2006 e 2016)



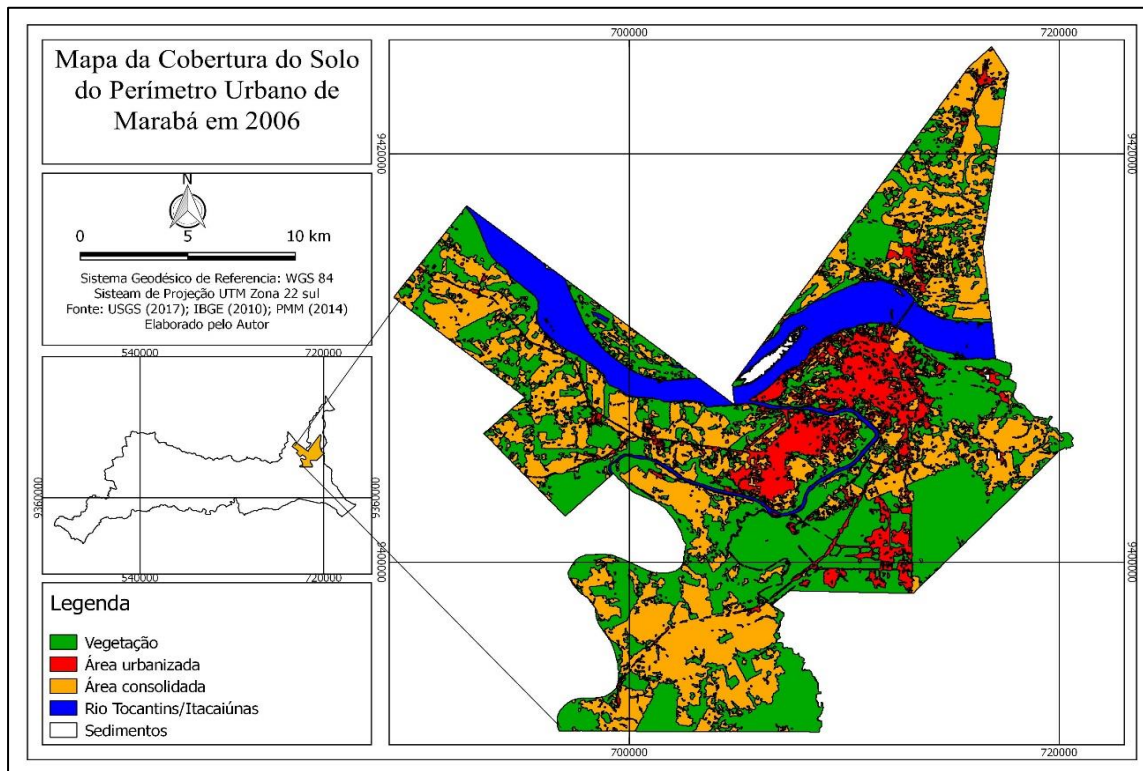
Fonte: Google Earth (2016). Elaborado pelo autor

A verificação da correlação entre a cobertura vegetal e a expansão urbana foi essencial para a obtenção dos resultados. Embora a expansão urbana exerça papel secundário nesse trabalho, constituiu-se elemento importante para a compreensão dos dados, pois se houve grande expansão urbana nos últimos anos (como demostramos), ela impactou diretamente outro elemento da cobertura da terra/solo, e esse elemento é, quase em sua totalidade, a cobertura vegetal do perímetro urbano de Marabá.

4.3 Análise comparativa entre 2006 e 2016

A cobertura vegetal do perímetro urbano de Marabá no curto período analisado (2006 a 2016) passou por processos de supressão e ainda continua avançando. Duas frentes principais e antagônicas se destacam: a expansão urbana e o desmatamento de áreas cadastradas como rurais. De acordo com Leite et al. (2017), à medida que a os processos de expansão urbana avançam, a vegetação existente é suprimida e a cobertura vegetal é intensamente reduzida.

Para a realização da análise comparativa entre a cobertura vegetal de 2006 a 2016 foi elaborado, primeiramente, mapa temático da cobertura do solo, posteriormente extraídos os dados de vegetação – e construídos mapas temáticos comparativos entre o espaço temporal definido – e, por fim, a geração de mapas da cobertura vegetal para alguns núcleos da cidade.

Mapa 1 - Cobertura do Solo através da Classificação Supervisionada MAXVER

Fonte: Elaborado pelo autor.

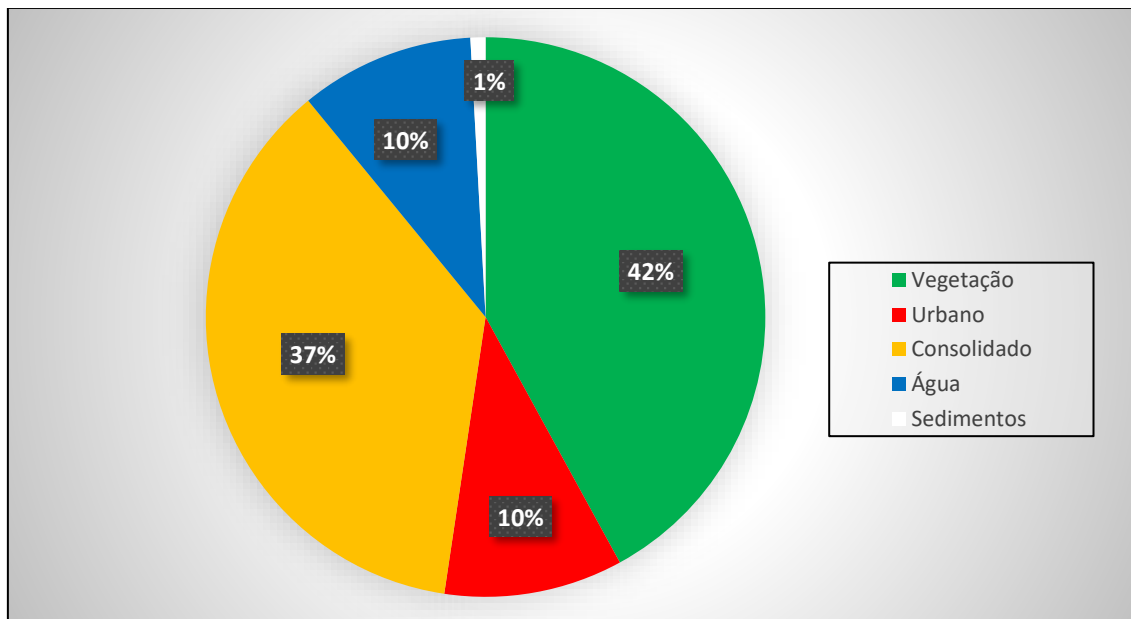
A elaboração do mapa de cobertura do solo foi etapa importante para a extração dos primeiros dados de observação e análise, como, por exemplo, o total da área das classes e a verificação de onde ocorreu impactos na cobertura vegetal espalhados pelo perímetro. Dessa forma, para a cobertura do solo foi gerado os seguintes dados:

Tabela 2 - Quantitativo da Cobertura do Solo para as macroclasses do perímetro urbano de Marabá em 2006

Macroclasses	Área	
	(ha)	(%)
Vegetação	18.192	42.03
Urbano	4.472	10.33
Consolidado	15.888	36.71
Água	4.355	10.06
Sedimentos	0,366	0,87
Total	43.273	100

Fonte: Gerado pelo SCP. Elaborado pelo autor

Gráfico 1 - Representação do quantitativo da Cobertura do Solo em 2006.



Fonte: Gerado pelo SCP. Elaborado pelo autor

Através dos dados apresentados no mapa 01, tabela 02 e gráfico 01 é possível verificar que, para o total de área correspondente ao perímetro urbano de Marabá, em 2006, a cobertura vegetal apresentava 42.03%, enquanto as outras classes com maior representatividade (área urbanizada e área consolidada), somadas, chegam a apenas 47% da área total. Por outro lado, verifica-se que, por mais que a vegetação apresente dado satisfatório, a distribuição não ocorre de forma homogênea, mas pontual, o que significa que determinadas áreas apresentarão baixos índices de cobertura vegetal, enquanto outras áreas são bem providas.

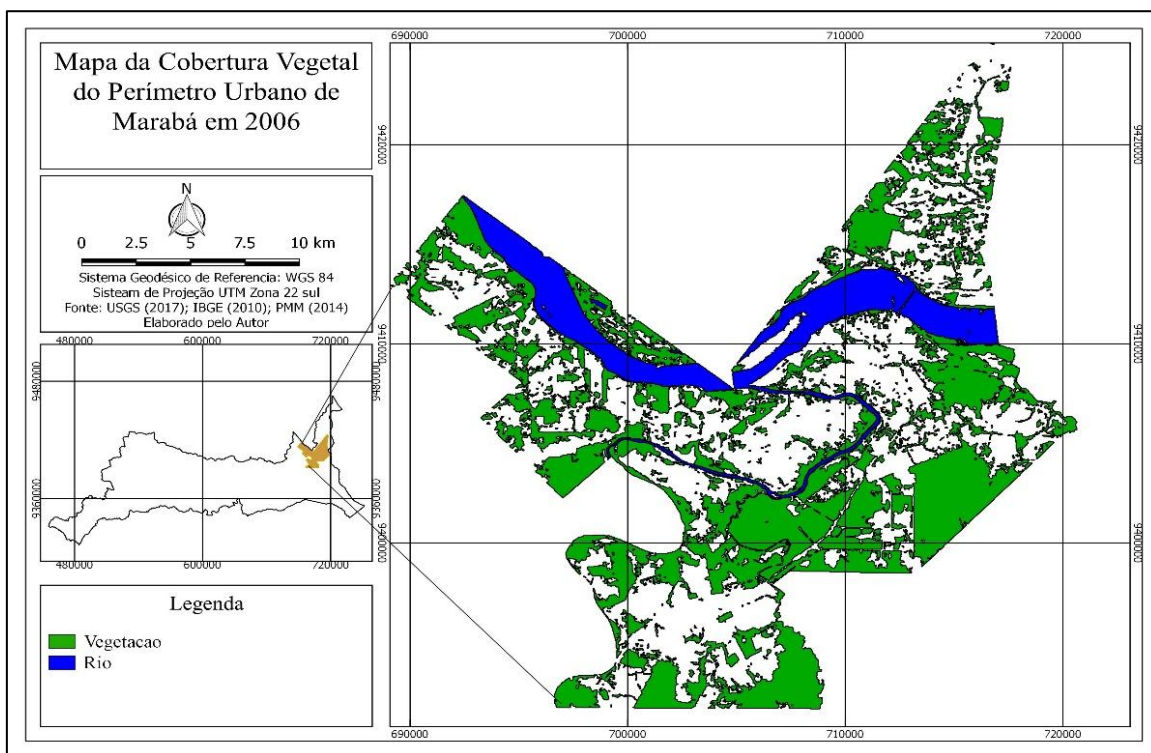
A partir desses dados foi gerado mapas temáticos e comparativos da cobertura vegetal do perímetro urbano de Marabá entre 2006 e 2016. Na comparação realizada, três aspectos tiveram destaque:

a) ao invés do que se esperava para a cobertura vegetal (a supressão e consequente diminuição das áreas de vegetação nativa e secundária), ocorreu o contrário: o total de cobertura vegetal aumentou nos últimos 10 anos; b) realmente a expansão urbana foi responsável pela supressão de parte da vegetação do perímetro urbano, entretanto, a vegetação nas áreas do perímetro cadastradas como rurais se regenerou, ou seja, enquanto a mancha urbana avançou sobre a vegetação nos núcleos, nas áreas de expansão houve avanço da vegetação sobre as áreas consolidadas, que só foi possível através da conservação e manutenção da vegetação; c) houve acréscimo da

cobertura vegetal na ZEIA da Velha Marabá, mas acentuada supressão da vegetação da mapa ciliar do Rio Itacaiúnas.

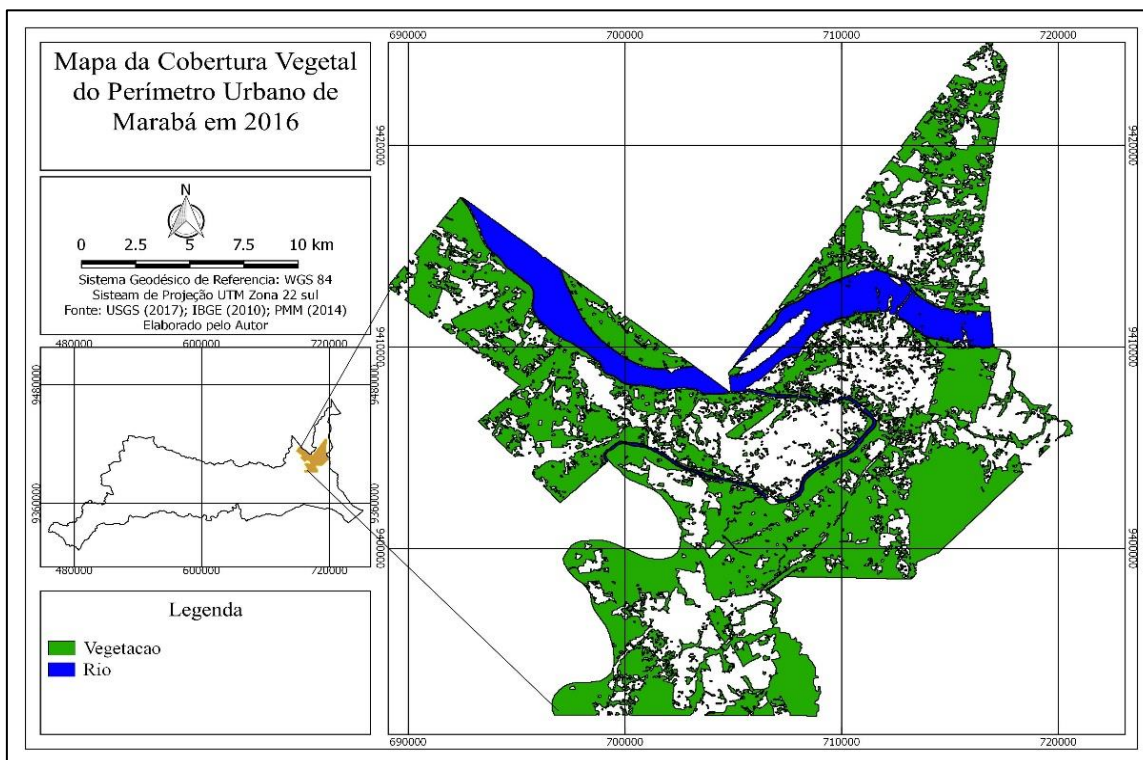
Essa contestação só é possível quando analisado a cobertura vegetal de todo o perímetro urbano de Marabá. Isso significa que se verificado apenas as áreas realmente urbanizadas nos núcleos, os dados demonstram o contrário: o impacto na vegetação dos núcleos foram bastantes significativos, principalmente nos núcleos Nova Marabá, Cidade Nova e São Félix. Todavia, o aumento da vegetação nas áreas de expansão serviu como compensação, inclusive superando o total desmatado para os núcleos, com um acréscimo de aproximadamente 4.500 hectares, conforme os dados a seguir.

Mapa 2 - Mapa da Cobertura Vegetal em 2006



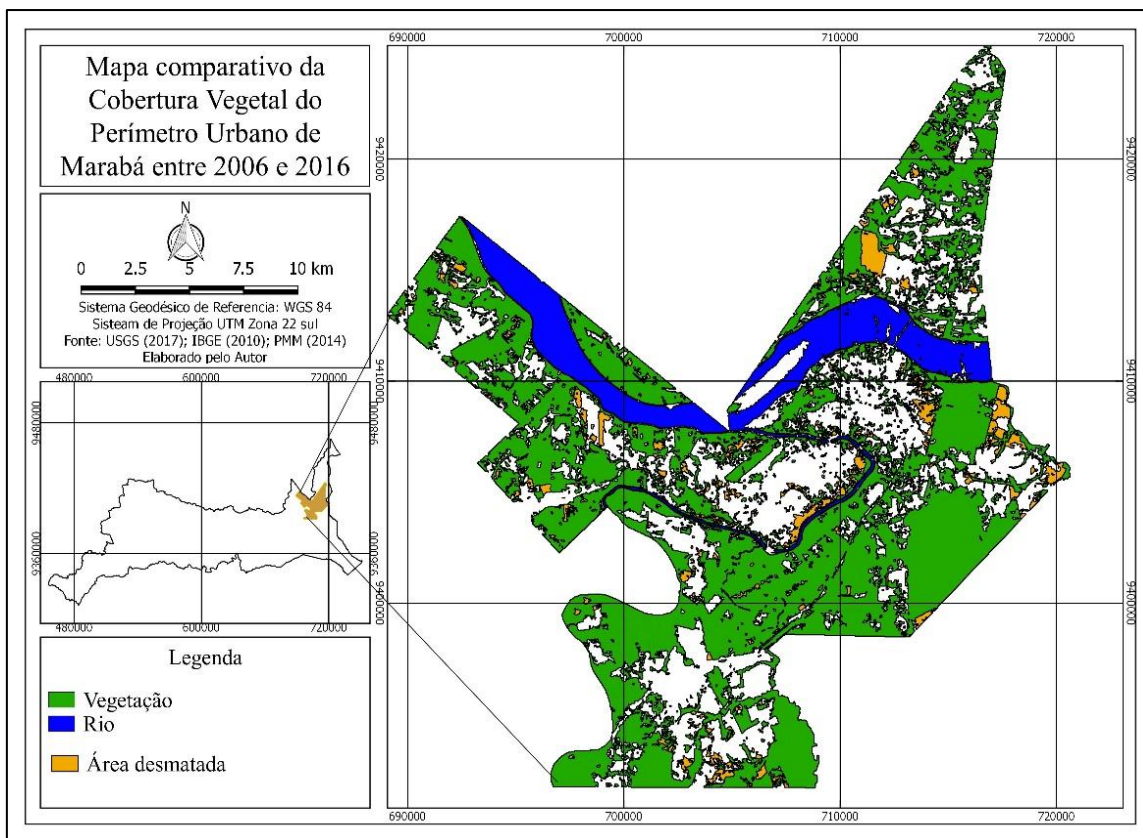
Fonte: Elaborado pelo autor

Mapa 3 - Mapa da Cobertura Vegetal em 2016



Fonte: Elaborado pelo autor

Mapa 4 - Mapa comparativo da vegetação entre 2006 e 2016



Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 3 - Quantitativo da Cobertura do Solo para as macroclasses do perímetro urbano de Marabá em 2016.

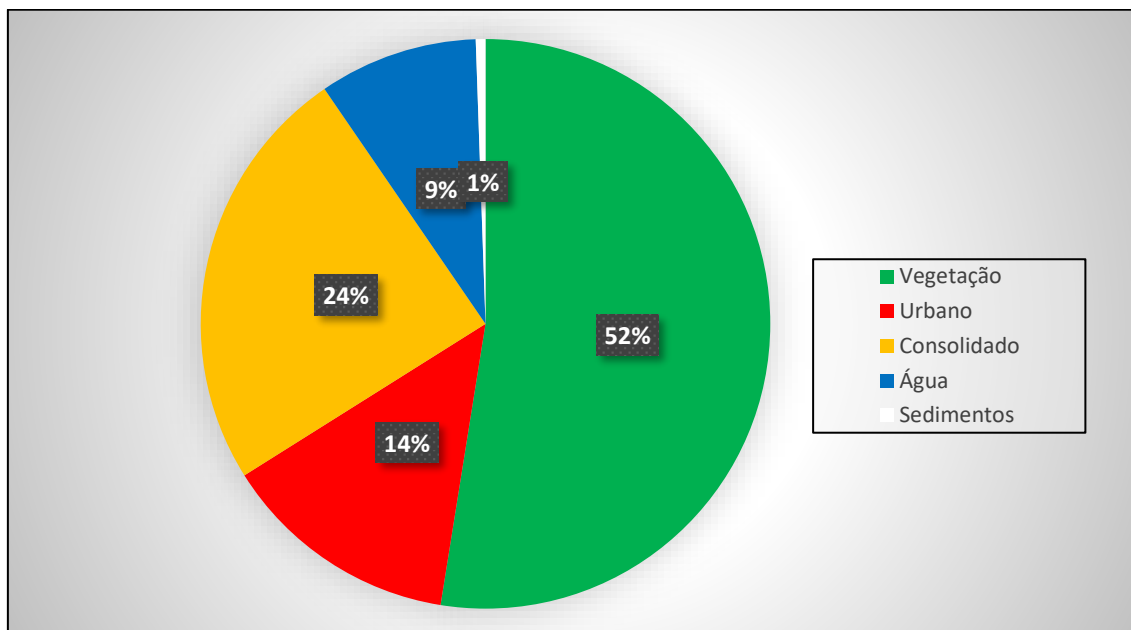
Macroclasses	Área	
	(ha)	(%)
Vegetação	22.749	52.54
Urbano	5.866	13.55
Consolidado	10.551	24.37
Água	3.904	9.02
Sedimentos	0,225	0,52
Total	43.291	100

Fonte: Gerado pelo SCP. Elaborado pelo autor

Como mencionado anteriormente, se analisado o total da área correspondente ao perímetro urbano de Marabá, percebemos, por mais que tenha ocorrido a expansão urbana sobre áreas de vegetação nos diversos núcleos, que o total da cobertura vegetal entre 2006 e 2016 saltou de 18.192 para 22.749 hectares, que corresponde a aproximadamente 4.557 hectares. Esse acréscimo fez com que a cobertura vegetal ultrapassasse 50% do total da área do perímetro urbano em 2016.

O mapa 02 apresenta a cobertura vegetal em 2006, antes do “boom” especulativo que atraiu a população de outros lugares, fazendo surgir, posteriormente, além dos loteamentos privados, ocupações espontâneas que seguiram a lógica da necessidade. Nele observamos que as áreas de interesse ambiental, como a vegetação as margens do rio Itacaiúnas, ainda aparecem preservados. Entretanto, nos mapas 03 e 04, é possível verificar que a lógica é invertida: o avanço sobre locais de grande importância para a população e meio ambiente, como as áreas de proteção ambiental, preservação permanente, que auxiliam na proteção e conservação dos rios, fauna, microclima urbano e humidade nos núcleos e, em contrapartida, a manutenção e preservação de áreas mais afastadas das áreas urbanizadas que propiciaram taxas plausíveis de regeneração.

É importante ressaltar que em quanto as áreas rurais do município de Marabá passam por intensos desmatamentos da vegetação de modo geral, as áreas cadastradas como rurais no perímetro urbano de Marabá exerceram papel de mantenedoras da vegetação nativa e secundária, inclusive como principal fator de regeneração da cobertura vegetal.

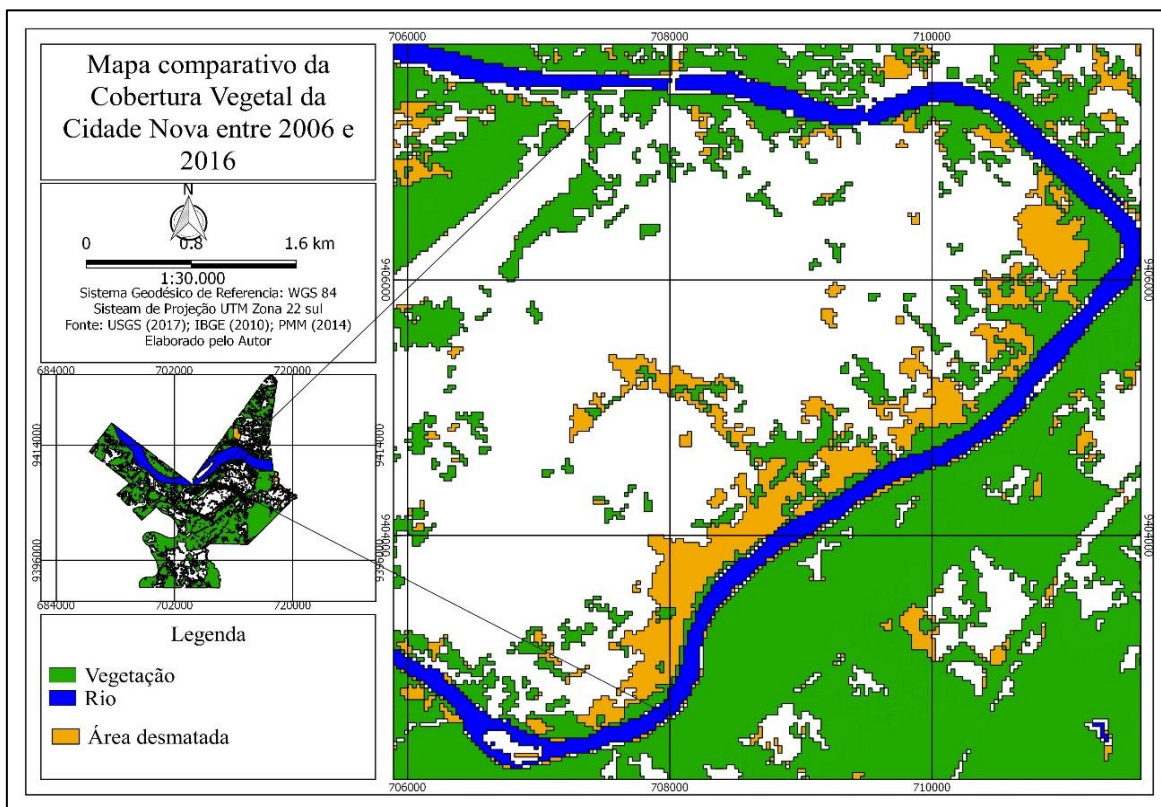
Gráfico 2 - Representação do quantitativo da Cobertura do Solo em 2016

Fonte: Gerado pelo SCP. Elaborado pelo autor

No gráfico 02 podemos verificar o aumento da área urbana e da vegetação, enquanto a área consolidada diminuiu consideravelmente. Isso porque, se a expansão urbana teve influência sobre a cobertura vegetal, esta, por sua vez, avançou sobre as áreas consolidadas.

Como citado anteriormente, esse aumento só é possível quando analisamos o total da área do perímetro, onde as áreas de expansão urbana exercem uma “compensação” da cobertura vegetal em relação ao total desmatado nos núcleos urbanos e áreas realmente urbanizadas. Mas se analisarmos por núcleos, onde se encontra as construções de casas, prédios, indústrias e assentamentos, a percepção é de que a cobertura vegetal foi e continua sendo impactada, conforme nos mostra os dados abaixo.

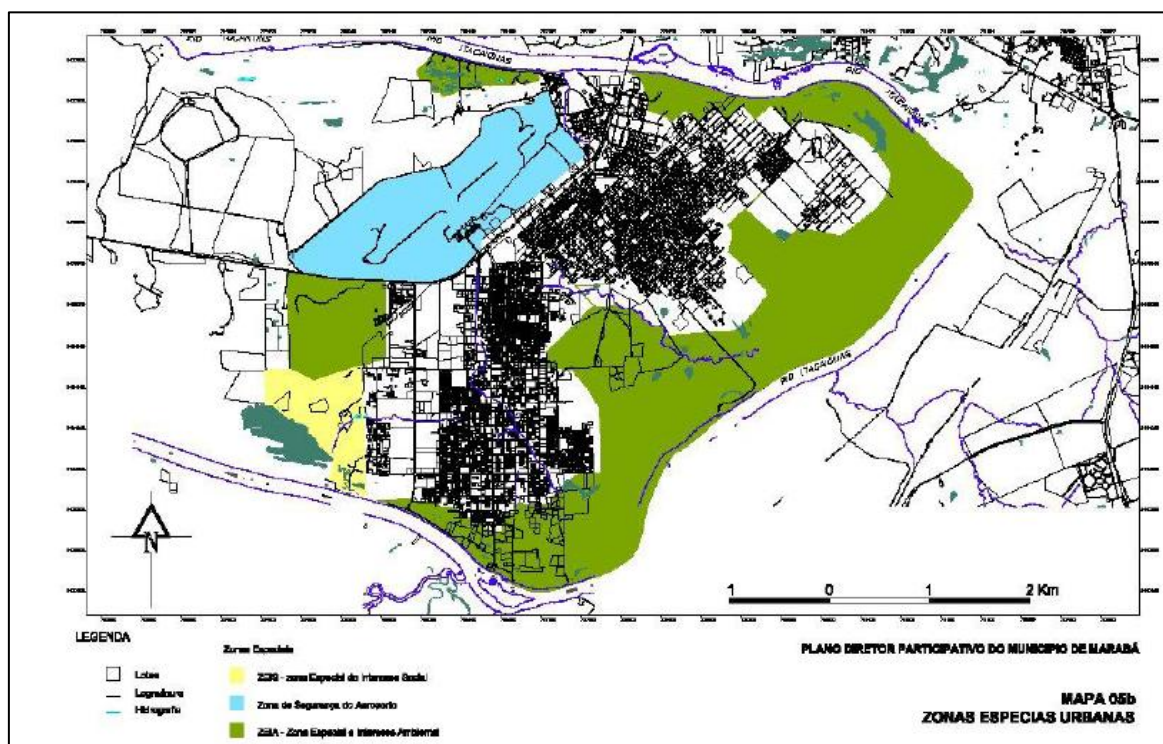
Mapa 5 - Mapa comparativo da vegetação entre 2006 e 2016 no Distrito Cidade Nova



Fonte: Elaborado pelo autor

O mapa comparativo da Cobertura Vegetal do Distrito da Cidade Nova traduz a expressão mais clara dos objetivos desse trabalho. Nesse sentido, pode ser verificado que entre 2006 e 2016 a expansão urbana afetou não somente a cobertura vegetal, mas impactou uma área de preservação permanente, além de ser considerada, de acordo com o Plano Diretor Participativo de Marabá de 2006 como Zona Especial de Interesse Ambiental, que são zonas de preservação e de conservação do ambiente natural, conforme ilustração a seguir.

Figura 19 - Zona Especial de Interesse Ambiental (Cidade Nova)

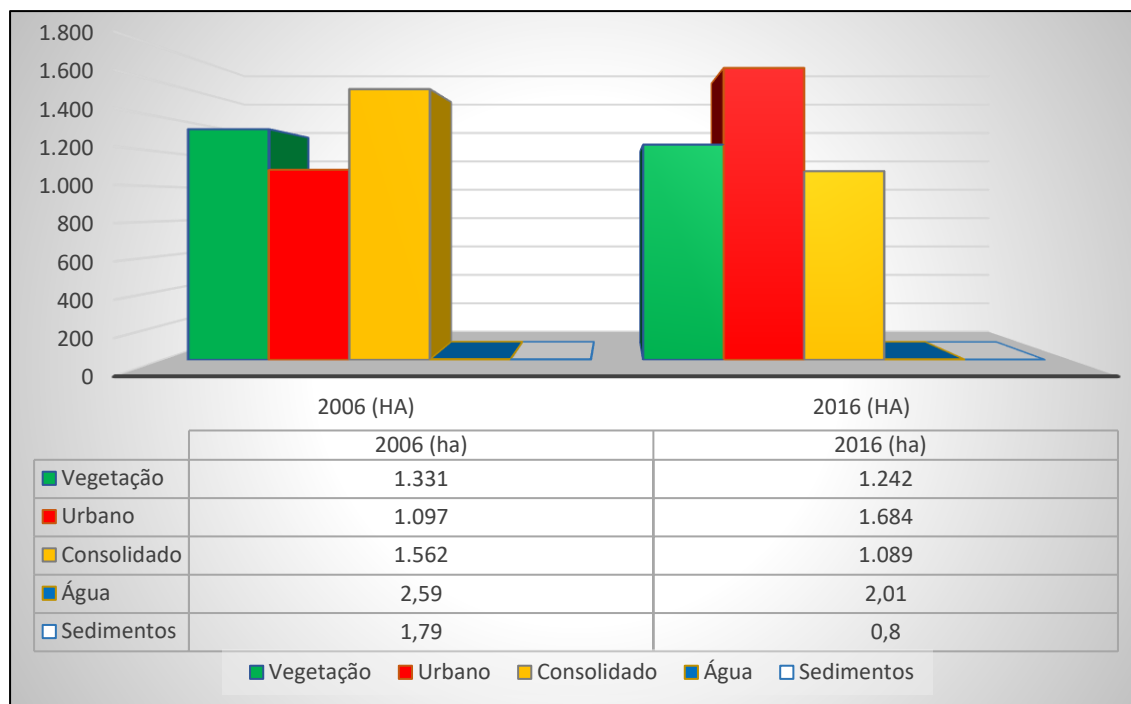


Fonte: Marabá (2006).

Tabela 4 - Quantitativo da Cobertura do Solo para as macroclasses do Distrito da Cidade Nova em 2006 e 2016.

Macroclasses	Área			
	2006 (ha)	(%)	2016 (ha)	(%)
Vegetação	1.331	33.33	1.242	30.91
Urbano	1.097	27.47	1.684	41.92
Consolidado	1.562	39.09	1.089	27.10
Água	2.59	0.065	2.01	0.05
Sedimentos	1.79	0,045	0,80	0.020
Total	3.994	100	4.017	100

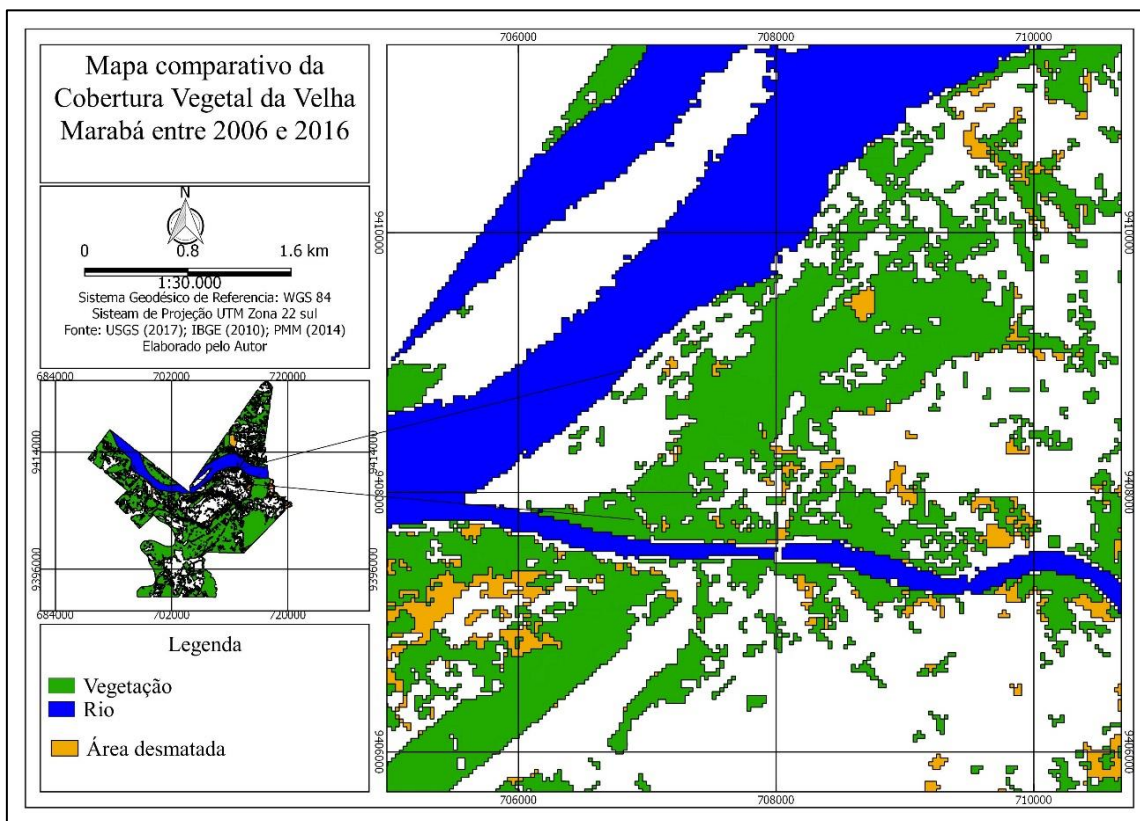
Fonte: Gerado pelo SCP. Elaborado pelo autor

Gráfico 3 - Comparativo entre as macroclasses nos anos de 2006 a 2016

Fonte: Gerado pelo SCP. Elaborado pelo autor

Quando analisado apenas por Distrito, os impactos na cobertura vegetal são bem significativos. Na análise micro, isto é, do Distrito da Cidade Nova, entre 2006 e 2016 houve redução da cobertura vegetal, que passou de 1.331 hectares em 2006 para 1.242 hectares em 2016, sobretudo em áreas de grande importância. A princípio não parece ser um dado que chama a atenção devido a diferença ser de apenas 89 hectares de área desmatada em 10 anos. Porém, se traduzido em metros quadrados (m²), percebemos que a área do Distrito desmatada para o período de referência chega ao total de 890.000m². Em contrapartida, confirmando o impacto que a expansão urbana causou na vegetação, percebemos que enquanto a vegetação suprimida foi de 890.000m², a expansão urbana atingiu um acréscimo de aproximadamente 587ha, equivalente a 5.870.000m².

Há uma ressalva que precisa ser feita nessas análises: Os resultados apresentados para o Distrito da Cidade Nova apresentam um padrão de desmatamento a partir de 2006, seguindo a mesma lógica (da expansão urbana enquanto necessidade e mercadológica) para os Distritos da Nova Marabá e São Félix. Entretanto, essa lógica não se deu de forma homogênea, pois o Distrito da Velha Marabá apresentou resultado inverso aos outros Distritos, pois entre 2006 e 2016, ao invés de perder a cobertura vegetal, houve saldo positivo, sobretudo nas ZEIA que tiveram suas áreas de vegetação expandidas, contribuindo com a manutenção e conservação da vegetação deste local.

Mapa 6 - Mapa comparativo da vegetação entre 2006 e 2016 no Distrito Velha Marabá

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 5 - Quantitativo da Cobertura do Solo para as macroclasses do Distrito da Velha Marabá em 2006 e 2016.

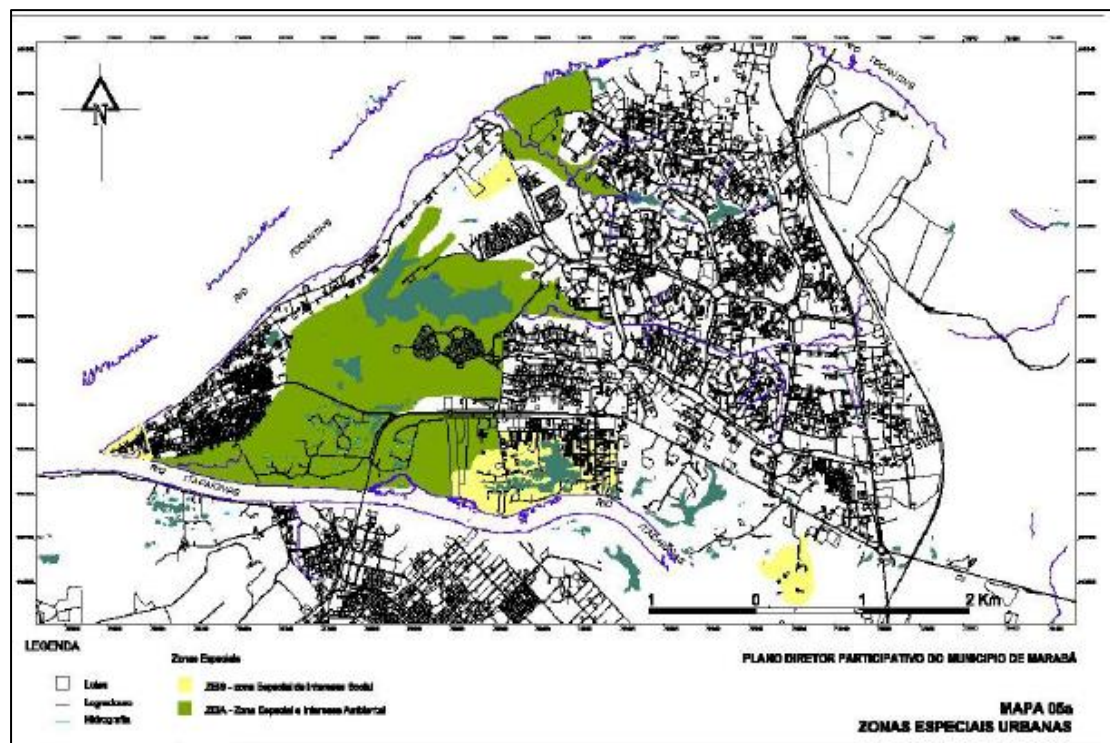
Macroclasses	Área			
	2006 (ha)	(%)	2016 (ha)	(%)
Vegetação	40,41	20,96	70,74	36,69
Urbano	109,89	57,00	114,39	59,33
Consolidado	37,03	19,24	6,48	3,36
Água	4,81	2,5	1,19	0,62
Total	192,14	100	192,8	100

Fonte: Gerado pelo SCP. Elaborado pelo autor

A Velha Marabá apresentou pouco impacto na cobertura vegetal entre 2006 e 2016. Esse processo ocorreu devido essa área não apresentar índices recentes de ocupação, seja de especulação imobiliária ou espontânea. Dessa forma, o processo inverso pode ser identificado: A cobertura vegetal passou de 40,41 hectares para 70,74 no período de referência, um acréscimo de aproximadamente 300.000m². Talvez a importância maior não seja apenas o fato de haver aumentado a cobertura vegetal, mas

onde ela aumentou: justamente na área de preservação, na Zona Especial de Interesse Ambiental que abrange a Velha e a Nova Marabá. confirme ilustração abaixo:

Figura 20 - Zona Especial de Interesse Ambiental (Velha Marabá)



Fonte: Marabá (2006).

Com relação aos outros Distritos, a Velha Marabá apresenta os menores índices, devido sua área ser menor do que as demais. Em compensação, quando realizada a análise temporal da cobertura vegetal nos Distritos, ela ganha destaque em função de seu saldo positivo, enquanto os demais apresentaram algum impacto significativo sobre a Cobertura vegetal, como é o caso de São Félix e da Nova Marabá.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

As técnicas de geoprocessamento envolvendo o conjunto de procedimentos são essenciais para os estudos socioambientais diante do crescente impacto que são causados pelas sociedades capitalistas. Essas técnicas cumpriram com os objetivos desse trabalho de proceder a análise temporal da vegetação do perímetro urbano de Marabá, perpassando momentos de aquisição e preparação das imagens até a geração dos mapas temáticos, em que os resultados do processamento foram satisfatórios.

A utilização do plugin SCP (Semi-Automatic Classification Plugin) no QGIS 2.18 Las Palmas que possibilitou a classificação supervisionada de imagens de satélite contribuiu significativamente com a classificação da imagem, mostrando ser uma ferramenta importante nas análises socioambientais, proporcionando, para além da classificação, o melhoramento da imagem (através do limiar), cortes e os dados de retorno (como definição de classes e o total das áreas de cada uma delas).

No que concerne a cobertura vegetal do perímetro urbano de Marabá, algumas conclusões merecem destaque: Nos últimos anos houve intenso processo de expansão urbana que impactou a cobertura vegetal, mas esse impacto foi sentido, quase em sua totalidade, apenas nos distritos urbanizados, como exemplo: Cidade Nova, Nova Marabá e São Félix. Em contrapartida, as áreas mais afastadas dos núcleos urbanos, como o distrito de Expansão Urbana, não sofreram muitos impactos, o que fez com que a vegetação se mantivesse preservada e se regenerasse. Essas áreas onde houve regeneração da vegetação apresentam áreas preservadas, como Reserva Legal, que contribuiu para a manutenção da Cobertura Vegetal.

É perceptível o impacto causado na vegetação pela expansão urbana entre 2006 a 2016, mesmo que esse impacto seja pequeno para o período analisado. Entretanto, em termos quantitativos, esse impacto não provocou diminuição na cobertura vegetal quando considerado o total do perímetro, pois mesmo havendo a supressão da vegetação nos distritos urbanos, a capacidade de regeneração da vegetação nas áreas mais afastadas foi superior à área desmatada, fazendo com que no período de 10 anos analisados, houvesse saldo positivo de vegetação de aproximadamente 4.500 ha. Esse crescimento (cerca de 4.500 hectares) ocorreu sobretudo nas áreas de preservação mais afastadas dos Distritos consolidados, onde ainda há a presença da vegetação nativa (remanescentes) que estão localizadas nas áreas cadastradas como rurais no CAR. Esse

é um dado importante, pois ao passo dá lógica do desmatamento de áreas rurais em geral, nessas áreas pertencentes ao perímetro urbano de Marabá que estão cadastradas como rurais não só houve preservação como também processos de regeneração da vegetação, mesmo ainda mantendo índices de supressão da vegetação.

A regeneração da vegetação ocorreu de forma pontual, o que significa que as áreas onde houve intensificação da expansão urbana possui baixos índices em relação às áreas mais afastadas que fizeram a cobertura vegetal ter saldo positivo para o total do perímetro. Quando analisado os distritos de forma isolada, alguns distritos apresentaram saldo negativo na comparação entre 2006 e 2016 para a cobertura vegetal, demonstrando resultados mais preocupantes ainda quando este impacto ocorre sobre áreas de APP e ZEIA, tendo a Velha Marabá como elemento de contradição à lógica defendida, pois houve avanços na cobertura vegetal em função da preservação e regeneração de áreas consolidadas e de proteção, além apresentar pequeno índice de supressão da vegetação que foi compensado pelo crescimento apresentado de 300.000m².

O Distrito da Cidade Nova entre 2006 a 2016 passou por intensos processos de expansão urbana, fazendo que a cobertura vegetal dessa área sofresse impacto de 89 hectares, que corresponde há aproximadamente 890.000m². Esse desmatamento ocorreu principalmente nas margens do rio Itacaiúnas, o que torna essa supressão mais prejudicial, pois ela impacta não apenas a vegetação, mas o rio e suas diversas funções de indicador da qualidade ambiental.

Mesmo com um acréscimo positivo de 45.570.000m² na cobertura vegetal do perímetro urbano de Marabá, é preciso haver conscientização da importância da manutenção e conservação da vegetação que é essencial para o equilíbrio ambiental e que mantém influência sobre os solos, protegendo-os e impedindo o avanço do assoreamento dos rios, além de tantos outros benefícios apresentados ao longo desse trabalho.

Por fim, é preciso estar atento às dinâmicas recentes, no que diz respeito às legislações que autorizam a regularização e parcelamento de áreas rurais com destinação urbana, visando a expansão em direção às áreas de maior cobertura vegetal, o que pode impactar significativamente o equilíbrio ambiental e as condições de vida da população.

6. REFERÊNCIAS

BELUCO, Adriano. **Classificação de imagens de sensoriamento remoto baseada em textura por redes neurais**. 2002. 154f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia – CEP SRM, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

CÂMARA, G; DAVIS C. Introdução ao geoprocessamento. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. V (Org.). **Introdução à ciência da geoinformação**. São José dos Campos, INPE, 2004. cap. 1. Disponível <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>. Acesso em: 15/01/2018.

CARVALHO, Magno Ricardo Silva de. **A produção do espaço urbano em Marabá-PA e sua relação com as ocupações urbanas e assentamentos informais: estudo de caso do Bairro Nossa Senhora Aparecida**. 2016. 97f. Monografia (graduação) - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, curso de Geografia (Licenciatura e Bacharelado).

CONGEDO, Luca. **Semi-Automatic Classification Plugin Documentation**. [S.l.: s.n], 2016. Disponível em: <http://semiautomaticclassificationmanualv5.readthedocs.io/pt_BR/latest/introduction.html>. Acesso em: 19/03/2018.

DAVIS, C; FONSECA, F. **Introdução aos sistemas de informação geográficos**. Belo Horizonte, MG: [s.n.], 2001. 261 p.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Os satélites e suas aplicações**. São José dos Campos: SindCT, 2008.

GONÇALVES, Carlos Walter Porto. **Amazônias Amazômias**. 3. ed. São Paulo: Contexto, 2012.

HAMADA, E; GONÇALVES, R. R. V. **Introdução ao geoprocessamento: princípios básicos e aplicação**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2007.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Introdução ao processamento digital de imagens**. Rio de Janeiro: IBGE, 2000.

LIMA, Carlos Eduardo Santos et al. **Análise multitemporal da cobertura vegetal do município de Garanhuns - PE, através dos dados de NDVI**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 17., 2015, João Pessoa-PB. Anais... São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 0163-0170. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/>>. Acesso em: 20/06/2017.

LIMA, V; AMORIM, M. C. C. T. **A importância das áreas verdes para a qualidade ambiental das cidades**. Revista Formação, São Paulo, v. 1, n. 13, dez. 2006. Disponível em: <<http://revista.fct.unesp.br/index.php/formacao/article/view/853>>. Acesso em: 19/03/2018.

MENESES, Paulo Roberto. Princípios de sensoriamento remoto. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T (Org.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília, DF: [s.n.], 2012. cap.1.

MENESES, P. R; ALMEIDA, T. Distorções e correções dos dados da imagem. In. _____. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília, DF: [s.n.], 2012. cap.6.

NUCCI, J. C; CAVALHEIRO, F. **Cobertura vegetal em áreas urbanas: conceito e método**. Revista GEOUSP – espaço e tempo, São Paulo, n. 6, nov. 1999. Disponível em: < <http://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/123361>>. Acesso em: 19/03/2018.

PREFEITURA MUNICIPAL DE MARABÁ (PMM). **Revisão do Plano Diretor Participativo de Marabá, Pará**: relatório de leitura técnica. Marabá: PMM/Diagonal, 2011. 218p.

RIBEIRO, Rovaine. **As cidades médias e a reestruturação da rede urbana amazônica: a experiências de Marabá no Sudeste Paraense**. 2010. 136f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

RODRIGUES, Jovenildo Cardoso. **Marabá: centralidade urbana de uma cidade média paraense**. 2010. 188f. Dissertação (Mestrado em Planejamento do Desenvolvimento) – Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

ROSA, Roberto. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 7. ed. Uberlândia: EDUFU, 2009.

ROSA, Roberto. **Introdução ao geoprocessamento**. [S.l.: s.n], 2013.

SARTORI, Anderson A. Conceição et al. **Análise multitemporal do uso e cobertura do solo na Área de Proteção Ambiental (APA) Tejuapá, no período de 1984 a 2011**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 16., 2013, Foz do Iguaçu-PR. Anais... São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 7048-7055. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/>>. Acesso em: 20/06/2017.

SOUZA, Marcus Vinicius Mariano de. **O Projeto ALPA e a produção do espaço urbano em Marabá (PA): a cidade mercadoria e as desigualdades socioespaciais**. 2015. 297f. Tese (Tese de Doutorado) – Universidade Federal de Uberlândia, programa de Pós – Graduação em Geografia, Uberlândia, 2015.

VALE, R. Souza; BALIEIRO, C. P. Palheta. **Diagnóstico ambiental no perímetro urbano do município de Marabá, estado do Pará, utilizando imagens de alta resolução** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 16., 2013, Foz do Iguaçu-PR. Anais... São José dos Campos: INPE, 2005. Artigos, p. 1061-1068. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/>>. Acesso em: 20/06/2017.

VENÂNCIO, Pedro. **Detecção remota e processamento digital de imagens com o QGIS e o Semi-Automatic Classification Plugin**. In: Encontro Nacional de Software Aberto para Sistema de Informação Geográfica (SASIG), 7., 2017, Porto-Portugal. Disponível em: <<http://osgeopt.pt/sasig2017/index.html>>. Acesso em: 19/03/2018.