UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE

TIAGO HENRIQUE DE OLIVEIRA

ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DA INFLUÊNCIA ANTRÓPICA EM FRAGMENTOS FLORESTAIS URBANOS

Recife
2018

Tiago Henrique de Oliveira

ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DA INFLUÊNCIA ANTRÓPICA EM FRAGMENTOS FLORESTAIS URBANOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Área de concentração: Desenvolvimento e Meio Ambiente

Orientadora: Profª. Drª. Josiclêda Domiciano Galvíncio

Coorientadora: Prof. Drª. Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel

Recife
2018

Catalogação na fonte
Bibliotecária: Maria Janeide Pereira da Silva, CRB4-1262

O48a Oliveira, Tiago Henrique de.
Análise espaço temporal da influência antrópica em fragmentos florestais urbanos / Tiago Henrique de Oliveira. – 2018.
102 f. : il. ; 30 cm.

Orientadora : Profª. Drª. Josiclêda Domiciano Galvíncio.
Coorientadora : Profª. Drª. Rejane Magalhães de Mendonça Pimentel.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Recife, 2018.
Inclui referências e apêndices.

1. Meio ambiente. 2. Florestas tropicais. 3. Florestas – Conservação. 4. Levantamentos florestais. 5. Solos florestais. 6. Dosséis florestais. 7. Altura de árvores. I. Galvíncio, Josiclêda Domiciano (Orientadora). II. Pimentel, Rejane Magalhães de Mendonça (Coorientadora). III. Título.

363.7 CDD (22. ed.) UFPE (BCFCH2018-235)

Tiago Henrique de Oliveira

ANÁLISE ESPAÇO TEMPORAL DA INFLUÊNCIA ANTRÓPICA EM FRAGMENTOS FLORESTAIS URBANOS

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Pernambuco como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Aprovada em: 20/07/2018.

BANCA EXAMINADORA

_____
Profª. Drª. Josiclêda Domiciano Galvíncio (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

_____
Prof. Drª. Célia Cristina Clemente Machado (Examinadora externa)
Universidade Estadual da Paraíba

_____
Prof. Drª. Werônica Meira de Souza (Examinadora externa)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

_____
Prof. Drº. Rodrigo de Queiroga Miranda (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

_____
Prof. Drª. Leidjane Maria Maciel De Oliveira (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este estudo primeiramente a Deus que é digno de toda a honra e gloria.
A minha família por todo o apoio e exemplo que me foi dado.
A minha esposa Josemary Santos e Silva Oliveira por todo o amor e paciência que tem tido comigo. Eu te amo.

AGRADECIMENTOS

Ao Deus todo poderoso que com o poder de sua palavra criou este objeto de estudo maravilhoso para o homem (Gênesis cap.1 v.1-31) e por todo o amor que ele tem demonstrado por nós (João cap.3 v.16).

Aos meus pais, minha irmã, minhas avós por todo o amor e tudo que eles têm feito em minha vida.

A minha esposa Josemary Santos e Silva Oliveira por todo o amor demonstrado e por toda a dedicação e paciência que ela tem tido comigo e com as minhas pesquisas.

A minha orientadora e amiga Profª. Josiclêda Domiciano Galvíncio por todo o conhecimento e incentivo que ela tem pacientemente fornecido em minha vida acadêmica.

A professora Drª. Rejane Magalhães de M. Pimentel por toda a orientação e por toda a confiança depositada.

Aos meus queridos amigos do Grupo de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento – SERGEO por toda a amizade demonstrada e pelos riquíssimos momentos de troca de conhecimento.

Aos meus amigos do Instituto da Cidade Pelópidas Silveira – ICPS - por todo o conhecimento e experiência que têm passado para mim.

Aos professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente e do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco.

A Agência CONDEPE-FIDEM pelas fotografias aéreas cedidas e utilizadas nesta pesquisa e a Prefeitura da Cidade do Recife por ter cedido a base de dados vetorial e matricial do município.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE pelo fornecimento gratuito de imagens de satélite do Brasil.

...e aos demais amigos e parentes que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho

Louvai ao Senhor, porque Ele é bom;
porque a sua benignidade é para sempre.
(BÍBLIA, Salmos, 136, v.1)

RESUMO

A elevada mudança no uso e cobertura da terra em diversas partes do planeta têm provocado modificações em diversos ciclos, como o hidrológico, influenciando no desenvolvimento social e no equilíbrio econômico e ambiental. A elevada expansão urbana da Cidade do Recife, desencadeada pela redistribuição dos contingentes populacionais a partir da sobrevalorização do solo urbano, tem se apresentado como uma das principais fontes de problemas na preservação das áreas remanescentes de Mata Atlântica, sendo importante o estudo das características deste ambiente para um gerenciamento mais eficiente. Uma das tecnologias que tem se destacado na estimativa de características físicas da vegetação é conhecida como LiDAR. O estudo objetivou avaliar o estado qualitativo e quantitativo da vegetação de porte arbóreo em fragmentos florestais urbanos de Mata Atlântica. Como objetivos específicos foi determinada a influência antrópica espaço-temporal em fragmentos florestais e seu entorno e desenvolvida uma equação capaz de individualizar os indivíduos e estimar a quantidade, altura e raio da copa de indivíduos arbóreos em fragmento florestal urbano. Um banco de dados georreferenciado foi confeccionado, contendo fotografias aéreas dos anos de 1974 e 1997, ortofotocartas dos anos de 2007 e 2013/2014, imagens de satélite Landsat dos anos de 1989, 2006 e 2010, imageamento LiDAR 2013/2014 e base vetorial municipal. Foram analisados os padrões de mudanças de uso e cobertura do solo no entorno do fragmento florestal do Parque Estadual de Dois Irmãos e a sua influência nos valores de área foliar, umidade e temperatura da superfície através de fotografias aéreas e imagens de satélite. Também foram identificados as áreas de pressão antrópica e o número de árvores, estimando a altura e o diâmetro da copa, utilizando dados LiDAR. Através do LiDAR foram calculados e obtido o Modelo de Altura do Dossel, para grade com resolução espacial de 1 e 2 m, possibilitando identificar e individualizar copas e árvores. Apesar da intensa ocupação humana das bordas do fragmento, ao longo das últimas décadas, foi observado desenvolvimento de biomassa e, consequentemente, melhores valores de umidade e temperatura da superfície. O modelo com a grade de 1 m identificou um número três vezes maior de árvores, quando comparado ao modelo com grade de 2 m.

Palavras-chave: LiDAR. Índices. Altura de árvores. TreeVaW.

ABSTRACT

The high change in land use and land cover in different parts of the planet has caused changes in several cycles, such as hydrological, influencing social development and economic and environmental balance. The high urban expansion of the City of Recife, triggered by the redistribution of the population contingent from the overvaluation of the urban soil, has been presented as one of the main sources of problems in the preservation of the remaining areas of Atlantic Forest, being important the study of the characteristics of this environment for more efficient management. One of the technologies that have stood out in the estimation of physical characteristics of the vegetation is known as LiDAR. The objective of this study was to evaluate the qualitative and quantitative status of arboreal vegetation in urban forest fragments of the Atlantic Forest. As specific objectives, the spatial-temporal anthropic influence in forest fragments and its surroundings was determined, and an equation was developed to individualize the individuals and estimate the amount, height and radius of the crown of arboreal individuals in an urban forest fragment. A georeferenced database was made, containing aerial photographs from the years 1974 and 1997, orthophotographs from the years 2007 and 2013/2014, Landsat satellite images from the years 1989, 2006 and 2010, LiDAR 2013/2014 imaging and the local vectorial base. The patterns of changes in land use and cover in the surroundings of the forest fragment of Dois Irmãos State Park and its influence on leaf area, surface moisture, and temperature values through aerial photographs and satellite images were analyzed. The areas of anthropic pressure and the number of trees were also identified, estimating the height and diameter of the canopy, using LiDAR data. Using the LiDAR, the Canopy Height Model was calculated and obtained for a grid with a spatial resolution of 1 and 2 m, making it possible to identify and individualize crowns and trees. Despite the intense human occupation of the edges of the fragment, during the last decades, biomass development and, consequently, better surface humidity and temperature values were observed. The model with the 1-m grid identified a three-fold increase in trees when compared to the 2-m grid model.

Keywords: LiDAR. Índex. Tree Hight. TreeVaW.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Taxa de desflorestamento anual para o bioma Mata Atlântica. Fonte: Fundação SOS Mata Atlântica, 2016. 25

Figura 2 – Representação esquemática do processo de aquisição de dados de laser. Fonte: Engefoto, 2013. 33

Figura 3 – Localização dos fragmentos florestais em estudo na Cidade do Recife-PE, em 2018 e distribuição espacial dos transectos lineares (T1 – Parque Estadual de Dois Irmãos; T2 - Área de Proteção Ambiental Mata da Várzea, Unidade de Conservação da Natureza Matas do Curado e Jardim Botânico do Recife). Fonte: Autor, 2018. 34

Figura 4 – Hipsometria do município do Recife – PE e delimitação das áreas de estudo. Fonte: Autor, 2018. 36

Figura 5 – Unidades do Sistema Municipal de Unidades Protegidas (SMUP), município do Recife - PE. Fonte: Autor, 2018. 37

Figura 6 – Articulação de cenas utilizadas para as áreas florestais da Várzea, Curado e Jardim Botânico, no município do Recife-PE. Fonte: Autor, 2018. 39

Figura 7 – Articulação de cenas utilizadas para a área florestal de Dois Irmãos, município do Recife-PE. Fonte: Autor, 2018. 40

Figura 8 – Distribuição da população no entorno dos fragmentos florestais da Várzea, Curado e Jardim Botânico, Recife-PE. Fonte: CENSO IBGE 2010. Organizado: O autor, 2018. 48

Figura 9 – Distribuição da população no entorno do fragmento florestal de Dois Irmãos, Recife-PE. Fonte: CENSO IBGE 2010. Organizado: O autor, 2018. 49

Figura 10 – Variação temporal de Domicílios Particulares Permanentes (DPP) para os anos de 1991, 2000 e 2010, Recife-PE. Fonte: Autor, 2018 50

Figura 11 – Mapa de uso e cobertura do solo das matas da Várzea, Curado e Jardim Botânico, Recife-PE, para o ano de 1974. Fonte: Autor, 2018 51

Figura 12 – Mapa de uso e cobertura do solo das matas da Várzea, Curado e Jardim Botânico, Recife-PE, para o ano de 2013. Fonte: Autor, 2018 52
Figura 13 – Valores de uso e cobertura do solo das áreas das Matas da Várzea, Curado e Jardim Botânico, Recife-PE. Fonte: Autor, 2018. 53
Figura 14 – Evolução espaço temporal da quantidade de construções no entorno das matas da Várzea, Curado e Jardim Botânico, Recife-PE, entre os anos de 1974 e 2013. Fonte: Autor, 2018. 54
Figura 15 – Valores de IAF, NDWI e Temperatura da superfície para os anos de 1989, 2006 e 2010 das matas da Várzea, Curado e Jardim Botânico, Recife-PE. Fonte: Autor, 2018. 55
Figura 16 – Mapa de uso e cobertura do solo da Mata de Dois Irmãos, Recife-PE, para o ano de 1974. Fonte: Autor, 2018. 58
Figura 17 – Mapa de uso e cobertura do solo da Mata de Dois Irmãos, Recife-PE, para o ano de 2013. Fonte: Autor, 2018 58
Figura 18 – Valores de uso e cobertura do solo das áreas da Mata de Dois Irmãos, Recife-PE. 59
Figura 19 – Evolução espaço temporal da quantidade de construções no entorno da mata de Dois Irmãos, Recife-PE, entre os anos de 1974 e 2013. Fonte: Autor, 2018 60
Figura 20 – Valores de IAF, NDWI e Temperatura da superfície para os anos de 1989, 2006 e 2010 da mata de Dois Irmãos, Recife-PE. Fonte: Autor, 2018 61
Figura 21 – Representação do Transecto linear 1 (T1) para a imagem de 28 de setembro de 1989 entre os bairros de Sítio dos Pintos e Cajueiro. Fonte: Autor, 2018 62
Figura 22 – Representação do Transecto linear 1 (T1) para a imagem de 6 de setembro de 2010 entre os bairros de Sítio dos Pintos e Cajueiro. Fonte: Autor, 2018 63

Figura 23 – Representação do Transecto linear 2 (T2) para a imagem de 28 de setembro de 1989 entre a Mata da Várzea e o bairro do Recife. Fonte: Autor, 2018 64
Figura 24 – Representação do Transecto linear 2 (T2) para a imagem de 6 de setembro de 2010 entre a Mata da Várzea e o bairro do Recife. Fonte: Autor, 2018 65
Figura 25 – Modelo Digital de Terreno do Parque Ecológico de Dois Irmãos e entorno, Recife – PE. Organizado pelos autores. 67
Figura 26 – Visualização 3D (a) e Modelo Digital de Superfície (b) do bairro de Sítio dos Pintos e Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife-PE. Fonte: Autor, 2018 67
Figura 27 – Visualização 3D(a) e Modelo Digital de Superfície (b) de parte dos morros da zona norte, bairros do Córrego do Jenipapo e Nova Descoberta, Recife-PE. Fonte: Autor, 2018 69
Figura 28 – Visualização 3D (a) e Modelo Digital de Superfície (b) da parte norte do fragmento de Dois Irmãos e Estrada dos Macacos, Recife-PE. Fonte: Autor, 2018 70
Figura 29 – Visualização 3D e Modelo Digital de Superfície (MDS) do Parque Ecológico de Dois Irmãos e entorno com destaque para as edificações em vermelho, bairros de Sítio dos Pintos, Dois Irmãos, Apipucos, Córrego do Jenipapo e Guabiraba, Recife-PE. Fonte: Autor, 2018 71
Figura 30 – Modelo Digital de Superfície (MDS) do Parque Ecológico de Dois Irmãos, Recife-PE. Fonte: Autor, 2018 71
Figura 31 – Gráfico com quantidade de árvores identificadas por faixa de altura para as grades de 1 m e 2 m no Parque Ecológico de Dois Irmãos, Recife-PE. Fonte: Autor, 2018 73
Figura 32 – Distribuição espacial da altura de indivíduos arbóreos individualizados para a grade com resolução espacial de 1 m no Parque Ecológico de Dois Irmãos, Recife-PE. Fonte: Autor, 2018 74

Figura 33 – Distribuição espacial da altura de indivíduos arbóreos individualizados para a grade com resolução espacial de 2 m (limite completo) no Parque Ecológico de Dois Irmãos, Recife-PE. Fonte: Autor, 2018 75
Figura 34 – Distribuição espacial da altura de indivíduos arbóreos individualizados para a grade com resolução espacial de 2 m (Limite completo) e Modelo Digital de Terreno (MDT) no Parque Ecológico de Dois Irmãos, Recife-PE. Fonte: Autor, 2018 76
Figura 35 – Gráfico com quantidade de árvores identificadas por faixa de raio da copa para as grades de 1 m e 2 m no Parque Ecológico de Dois Irmãos, Recife-PE. Fonte: Autor, 2018 77
Figura 36 – Distribuição espacial do raio da copa de indivíduos arbóreos individualizados para a grade com resolução espacial de 1 m no Parque Ecológico de Dois Irmãos, Recife-PE. Fonte: Autor, 2018 79
Figura 37 – Distribuição espacial do raio da copa de indivíduos arbóreos individualizados para a grade com resolução espacial de 2 m no Parque Ecológico de Dois Irmãos, Recife-PE. Fonte: Autor, 2018 79
Figura 38 – Distribuição espacial dos 150 pontos escolhidos para correlação entre os valores de altura e raio da copa para o Parque Estadual de Dois Irmãos, Recife - PE. Fonte: Autor, 2018 80
Figura 39 – Relação entre altura e raio da copa para 150 árvores do Parque Estadual de Dois Irmãos, Recife - PE. Fonte: Autor, 2018 81
Figura 40 – Distribuição espacial da altura de indivíduos arbóreos individualizados para a grade com resolução espacial de 1 m no Parque Estadual de Dois Irmãos, Recife-PE. Fonte: Autor, 2018 82
Figura 41 – Distribuição espacial da altura de indivíduos arbóreos individualizados para a grade com resolução espacial de 2

m no Parque Estadual de Dois Irmãos, Recife-PE. Fonte: Autor, 2018 83
Figura 42 – Distribuição espacial do raio da copa de indivíduos arbóreos para a grade com resolução espacial de 1 m no Parque Estadual de Dois Irmãos, Recife-PE. 85
Figura 43 – Distribuição espacial do raio da copa de indivíduos arbóreos para a grade com resolução espacial de 2 m no Parque Estadual de Dois Irmãos, Recife-PE. 85

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantitativo de habitantes para os bairros em que estão localizados os fragmentos florestais na Cidade do Recife, para os anos de 1991, 2000 e 2010. FONTE: IBGE, Censo Demográfico de 1991, Censo Demográfico 2000 e Censo Demográfico 2010. 47

Tabela 2 – Quantidade de árvores identificadas por faixa de altura para as grades de 1 m e 2 m no Parque Ecológico de Dois Irmãos, Recife-PE. Fonte: Os autores. 72

Tabela 3 – Quantidade de árvores identificadas por faixa de raio de copa para as grades de 1 m e 2 m no Parque Ecológico de Dois Irmãos, Recife-PE. Fonte: Os autores. 77

Tabela 4 – Quantidade de árvores identificadas por faixa de altura para as grades de 1 m e 2 m no Parque Ecológico de Dois Irmãos, Recife-PE. Fonte: Autores, 2018. 82

Tabela 5 – Quantidade de árvores identificadas por faixa de raio de copa para as grades de 1 m e 2 m no Parque Ecológico de Dois Irmãos, Recife-PE. Fonte: Autores, 2018. 84

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AVPV	Áreas Verdes Públicas de Composição Viária
AVCEL	Área Verde de Convivência, Recreação, Esporte ou Lazer
CONDEPE-FIDEM	Agência Estadual de Planejamento e Pesquisa de Pernambuco
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
CHM	*Canopy Height Model*
CMNE	Comando Militar do Nordeste
DPP	Domicílios Particulares e Permanentes
IAF	Índice de Área Foliar
IPAV	Imóvel de proteção de Área Verde
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
IVAS	Índice de Vegetação Ajustado ao efeito do Solo
LANDSAT	*Land Remote Sensing Satellite*
LiDAR	*Light Detection And Ranging*
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital de Terreno
MDS	Modelo Digital de Superfície
NASA	*National Aeronautics and Space Administration*
NDWI	*Normalized Difference Water Index*
PEDI	Parque Ecológico de Dois Irmãos
RPA	Região político-administrativa
SEBAL	*Surface Energy Balance Algorithm for Land*
SEUC	Sistema Estadual de Unidades de Conservação
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
SMUP	Sistema Municipal de Unidades Protegidas
TM	*Thematic Mapper*
UCN	Unidade de Conservação da Natureza
UEA	Unidade de Equilíbrio Ambiental
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
ZEPA	Zona Especial de Proteção Ambiental

LISTA DE SÍMBOLOS

L	Radiância espectral
I	Banda espectral
λ	Comprimento de onda
k	Irradiância solar monocromática
σ	Constante de Stefan-Boltzman
Z	Ângulo Zenital
S	Constante solar
IVρ	Reflectividade no Infra-vermelho próximo
Vρ	Reflectividade no vermelho
α_p	Radiação solar refletida pela atmosfera
d_r	Distância relativa terra-sol
ε_{NB}	Emissividade termal
Ts	Temperatura da superfície
ε_a	Emissividade atmosférica
T_a	Temperatura do ar

SUMÁRIO

1	**INTRODUÇÃO .....**	19
2	**REVISÃO DE LITERATURA .....**	21
2.1	SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS EM FRAGMENTOS FLORESTAIS.....	21
2.2	O PROCESSO DE FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL DA MATA ATLÂNTICA.....	23
2.3	FRAGMENTOS FLORESTAIS URBANOS.....	26
2.4	UTILIZAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO NO MONITORAMENTO FLORESTAL.....	29
2.5	O SISTEMA LIDAR NO MONITORAMENTO FLORESTAL.....	31
3	**MATERIAL E MÉTODOS .....**	34
3.1	DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO....	34
3.2	MÉTODOS E TÉCNICAS.....	38
3.2.1	**Mudança de uso e ocupação do solo e contabilização de edificações.....**	38
3.2.2	**Cômputo de índices em imagens Landsat.....**	40
3.2.2.1	*Calibração radiométrica.....*	41
3.2.2.2	*Reflectância.....*	41
3.2.2.3	*Índice de Umidade (NDWI).....*	42
3.2.2.4	*Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS).....*	42
3.2.2.5	*Índice de Área Foliar (IAF).....*	42
3.2.2.6	*Emissividades.....*	43
3.2.2.7	*Temperatura da Superfície (Ts).....*	43
3.2.3	**Estrutura vertical e Diâmetro da copa.....**	43
3.2.4	**Organização do banco de dados vetorial e matricial.....**	45
4	**RESULTADOS E DISCUSSÃO .....**	47
4.1	INFLUÊNCIA DAS MODIFICAÇÕES ANTRÓPICAS NA QUALIDADE AMBIENTAL EM FRAGMENTOS FLORESTAIS DE MATA ATLÂNTICA EM ÁREA URBANA.....	47
4.1.1	**Evolução do Uso e Ocupação do solo para os Fragmentos Florestais da Várzea, Curado e Jardim Botânico.....**	50

4.1.2 Evolução do Uso e Ocupação do solo para o Fragmento Florestal de Dois Irmãos..... 57
4.2 MODELOS DIGITAIS E IDENTIFICAÇÃO DE EDIFICAÇÕES..... 66
4.3 MODELO DE ALTURA DE ÁRVORE..... 72
4.3.1 Aplicação do Modelo Galvíncio e Popescu (2016)..... 72
4.3.2 Aplicação do Modelo obtido nesta pesquisa..... 80
5 CONCLUSÕES..... 86
REFERÊNCIAS 88
APÊNDICE A – CHAVE DE INTERPRETAÇÃO PARA ANÁLISE VISUAL DE USO E COBERTURA DO SOLO UTILIZADAS NO MAPEAMENTO..... 102

.

1 INTRODUÇÃO

A elevada mudança no uso e cobertura da terra em diversas partes do planeta tem provocado modificações em vários ciclos, como o hidrológico e o balanço de energia acima da superfície terrestre, influenciando no desenvolvimento social e no equilíbrio ambiental e econômico (ANGELSEN, 2008; BOTELHO e SILVA, 2010; DURACK et al., 2012). A fragmentação florestal tem contribuído para a deterioração genética e a diminuição da biodiversidade (VIANA e PINHEIRO, 1998; FERNANDEZ, 2000, p. 63), consequentemente, levando à diminuição da biomassa e retenção de carbono (MUCHAILH, 2007).

O processo de ocupação humana, através do modelo de desenvolvimento adotado, transformou a Mata Atlântica em uma paisagem fragmentada. No município do Recife, a elevada expansão urbana desencadeada pela redistribuição dos contingentes populacionais a partir da sobrevalorização do solo urbano, tem se apresentado como um dos principais empecilhos a preservação das áreas remanescentes de Mata Atlântica, sendo importante o estudo das características deste ambiente para o seu gerenciamento mais eficiente (BEZERRA, 2006; OLIVEIRA, 2012).

Tendo em vista a progressiva urbanização, administrar florestas urbanas tornou-se essencial para diversos setores. No entanto, o espaço urbano se apresenta de forma complexa. No que tange a obtenção de informações sobre árvores e espaços com vegetação, este pode ser um processo demorado e que pode fornecer informações imprecisas. Essas limitações podem ser superadas através da utilização do sensoriamento remoto que permite a obtenção de informações precisas, gerando um processo de monitoramento e controle de áreas urbanas e florestais (ARDILA et al., 2012).

Junqueira et al. (2009) afirmaram que dados de sensoriamento remoto são indispensáveis para a conservação ecológica e apresentam-se, em alguns casos, como a única alternativa para dimensionar as características de grandes áreas em curto espaço de tempo. Além de apresentar a possibilidade de detecção de mudanças, como impactos de ações antrópicas ou naturais.

Uma das técnicas de sensoriamento remoto que tem se destacado na estimativa de características físicas da vegetação é o *Light Detection and Ranging* (LiDAR). Giongo et al. (2010) afirmaram que “*apesar do laser não ser uma nova tecnologia, sua*

utilização na aquisição de dados geográficos é relativamente recente". O LiDAR tem demonstrado grande potencial em diversas áreas de aplicação como no planejamento urbano, agricultura, transporte, mineração e setor florestal.

Estudos realizados por Galvíncio e Popescu (2016) obtiveram correlação de 0,60 entre as alturas de árvores de espécies encontradas no manguezal do Pina, Recife – PE e os calculados através da utilização de dados LiDAR. Já para os valores de altura e raio da copa os autores obtiveram uma correlação de 0,83. Desta forma, acredita-se que os resultados obtidos através de dados LiDAR aerotransportado contribuirá para o desenvolvimento de modelos mais precisos de quantificação de indivíduos arbóreos florestais e estimativas de biomassa e sequestro de carbono na Mata Atlântica estabelecida em áreas urbanas.

Nesse sentido, esta pesquisa tem por objetivo geral avaliar o estado qualitativo e quantitativo da vegetação de porte arbóreo em fragmentos florestais urbanos de Mata Atlântica. Os objetivos específicos são determinar a influência antrópica espaço-temporal em fragmentos florestais e seu entorno e desenvolver uma equação capaz de individualizar os indivíduos e estimar a quantidade, altura e raio da copa de indivíduos arbóreos em fragmento florestal urbano.

Como hipótese é esperado que os indivíduos arbóreos em fragmentos florestais em áreas urbanas, sob a influência antrópica espaço-temporal, apresentem menor desenvolvimento, evidenciado por menor quantidade de indivíduos por unidade de área (independente da espécie), altura e desenvolvimento da copa.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS EM FRAGMENTOS FLORESTAIS

O ser humano vem modificando o ambiente e afetando a biodiversidade de forma complexa, múltipla e dependente de inúmeras variáveis (SAMPAIO et al., 2002). Conforme Machlis e Tichnell (1985), o elevado crescimento populacional humano, aliado às inúmeras transformações tecnológicas, tem incrementado a capacidade de alteração do ambiente.

O elevado grau de perturbação antrópica, nos mais diversos ecossistemas naturais, tem prejudicado a conservação da biodiversidade no mundo, se apresentando como um dos principais desafios a ser enfrentado pelo ser humano (VIANA e PINHEIRO, 1998). De forma simplificada, os principais modos de pressão antrópica ocorrem através das atividades produtivas da agricultura, extrativismo e mineração, da indústria e dos serviços e atividades de consumo, destacando-se o processo de urbanização (SAMPAIO et al., 2002).

A fragmentação de ecossistemas naturais se apresenta como uma das principais consequências destas perturbações, o que vem a introduzir nas comunidades vegetais e animais fatores que podem afetar, de forma diferenciada, os parâmetros demográficos e, consequentemente, a sua estrutura e dinâmica. A fragmentação pode ocorrer de forma natural, através de um movimento rápido de massa, ação do vento ou fogo, como também ocasionada por atividades antrópicas (SILVA, 2002).

A subdivisão e a diminuição da sobrevivência de populações, a intensificação do processo de competição e o aumento de mortalidade também são citados como aspectos negativos da fragmentação florestal (GENELETTI, 2004; MUCHAILH, 2007; LANG e BLASCHKE, 2009).

O tamanho do fragmento influência no seu desenvolvimento ao longo dos anos (FISZON et al., 2003). Fragmentos pequenos tendem a sofrer mais com as consequências da fragmentação permitindo, através da intensificação de fenômenos como o efeito de borda, a invasão de espécies exóticas, a ocorrência de incêndios, a homogeneidade de habitats, além de mudanças de efeitos estruturais, como aumento nos valores de temperatura, luminosidade, velocidade do vento e diminuição da umidade (RICKLEFS, 2003), afetando o crescimento e a sobrevivência de determinadas espécies vegetais nas florestas (LAURENCE et al., 2002).

A transformação de ambientes florestais contínuos em fragmentos menores e, muitas vezes, desconectados, acarreta em degradação da qualidade do habitat, alterando os fluxos de radiação e água, a ciclagem de nutrientes nos solos e a estocagem de carbono (LAURENCE, 2008). O grau de isolamento entre os fragmentos é outro fator importante em paisagens fragmentadas, conforme Condez (2008). A conexão entre os fragmentos permite a troca gênica e o fluxo biológico entre as espécies (TAYLOR et al., 1993), permitindo a perpetuação de espécies.

O processo de fragmentação florestal pode influenciar negativamente os Serviços Ecossistêmicos prestados pela vegetação. Conforme Costanza et al,. (1997), Serviços ecossistêmicos são os serviços que o ecossistema fornece ao homem, direta e indiretamente, e que são indispensáveis a sua sobrevivência, estando associadas à qualidade de vida e bem-estar da sociedade. A Avaliação Ecossistêmica do Milênio (*Millennium Ecosystem Assessment*, 2005) divide os serviços ecossistêmicos em quatro tipos: de provisão, reguladores, culturais e de suporte.

A exemplo de serviços ecossistêmicos, prestados por fragmentos florestais, podem ser citados a proteção contra desastres naturais, controle de processos erosivos, polinização, fertilização do solo por fezes animais, decomposição, purificação do ar, diminuição da temperatura, conservação da biodiversidade entre outros. Além dos serviços de provisão como os alimentos e matéria-prima fornecidos.

A temática de mudanças climáticas tem merecido maior destaque nas últimas décadas devido aos resultados obtidos por importantes pesquisas, que têm demonstrado o aumento na concentração atmosférica dos Gases de Efeito Estufa (GEE), sendo os mais importantes o oxido nitroso (N2O), o metano (CH4) e o dióxido de carbono (CO2).

O Quinto Relatório de Avaliação - AR5, publicado em 2013 pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2013) “reafirma que o aquecimento do sistema climático é inequívoco e, desde a metade do século passado, muitas das mudanças observadas não apresentam precedentes em décadas ou milénios”.

Parte da comunidade cientifica mundial tem realizado pesquisas buscando compreender a contribuição de cada ecossistema e compartimento terrestre, tanto no estoque como na emissão e absorção de carbono atmosférico, assim como os efeitos do aumento das concentrações de CO_2 nestes ecossistemas. Neste contexto, as florestas têm recebido grande atenção mundial frente a redução de sua área devido

ao desmatamento e mudanças de uso do solo e as implicações deste processo no ciclo global de carbono.

Pan et al. (2011) afirmaram que a floresta tropical armazena, aproximadamente, 475 bilhões de toneladas de carbono e que “a promoção da preservação e do aumento e desenvolvimento florestal desempenharão papel importante no combate do principal motor das mudanças climáticas” (ANGELSEN, 2008). Autores como Bernoux et al. (2002) e Roscoe (2003) apontam, como uma das alternativas de mitigação as mudanças climáticas, o sequestro de carbono nos ambientes terrestres.

Para Marcolin et al. (2006), as florestas apresentam grande destaque por sua capacidade de captura e fixação de carbono por décadas, armazenando-o sob a forma de madeira. Fatores como a idade florestal, componente em que o carbono está estocado, e o uso da madeira influenciarão, tanto na quantidade de CO_2 sequestrado como no tempo de permanência no ecossistema. Neste contexto, tendo em vista as problemáticas ambientais em que áreas florestais urbanas muitas vezes estão inseridas, torna-se necessária a realização de pesquisas voltadas para a análise das condições ambientais e mudanças que ocorrem em sua estrutura.

O Carbono armazenado nos ecossistemas terrestres pode ser vulnerável à mudança climática através de aumentos de perturbação (incêndios e tempestades). Caldeira et al. (2004) afirmaram que em áreas florestais nativas, o tipo do solo, o relevo, o clima, a hidrografia e a variação genética de uma ou entre espécies influenciará na produção de biomassa.

Villela et al. (2012), em revisão de literatura buscando entender como aumentos na temperatura do ar e mudanças na distribuição das chuvas podem afetar a dinâmica do carbono e do nitrogênio na Mata Atlântica litorânea, concluíram que um aumento na temperatura do ar pode transformar as florestas de sumidouros para fontes de carbono para a atmosfera, em virtude de aumento nos processos de decomposição. Porém, é levantada a ressalva que essas conclusões devem ser vistas com cautela visto que são baseadas em um número limitado de informações. Do mesmo modo é afirmado a necessidade da realização de pesquisas em outras regiões do Brasil, tendo em vista que maior parte dos estudos se concentram na região sul e sudeste.

2.2 O PROCESSO DE FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL DA MATA ATLÂNTICA

A Mata Atlântica é uma das áreas prioritárias para a conservação da biodiversidade devido à sua alta concentração de espécies endêmicas, às elevadas

taxas de perda de habitat e avançado estado de degradação, causadas, principalmente, pelo desmatamento (MYERS et al., 2000; FREITAS e CRUZ, 2003; TABARELLI et al., 2005; RIBEIRO et al., 2011). Segundo Myers et al. (2000), o bioma encontra-se inserido na lista dos 25 *hotspots* de diversidade do planeta. Porém, Galindo-Leal e Câmara (2005) afirmam que o bioma Mata Atlântica é o ecossistema mais devastado do planeta.

O processo de desmatamento brasileiro da Mata Atlântica teve início no período pré-colonial, intensificando-se durante a industrialização e a urbanização do país (1930-1970). Estima-se que o bioma Mata Atlântica recobria, originalmente, uma área equivalente a, aproximadamente, 1,5 milhões de km^2, distribuídos entre os estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo, Goiás, Mato Grosso do Sul, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Espírito Santo, Bahia, Alagoas, Sergipe, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Ceará e Piauí (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2014).

A Mata Atlântica apresenta diversas tipologias vegetais, tendo em vista a sua grande abrangência geográfica. Podem ser citadas as florestas ombrófilas (densa, aberta ou mista), florestas estacionais (decidual e semidecidual), campos de altitude, mangues e restingas.

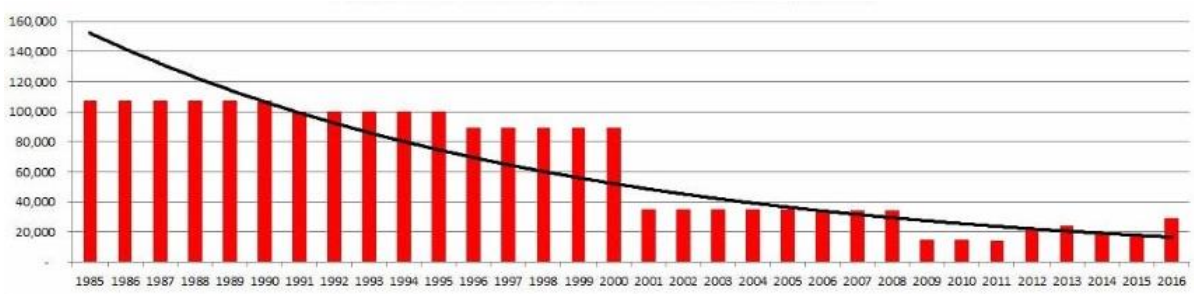
O processo de ocupação humana transformou a Mata Atlântica em uma paisagem fragmentada, onde diversos remanescentes florestais, a maioria com áreas inferiores a 500 ha, são cercadas por diferentes tipos de uso da terra, com distintos graus de impacto sobre a vegetação (GASCON et al., 2000; RIBEIRO et al., 2009; VILLELA et al., 2012). A quantificação da área remanescente de Mata Atlântica ainda é motivo de ampla discussão pela comunidade científica, devido aos diversos métodos aplicados.

Para Ribeiro et al. (2009) ainda existe no Brasil aproximadamente 12% da cobertura original enquanto que para a organização SOS Mata Atlântica a área estimada encontra-se com 8,5% da cobertura original, para fragmentos florestais superiores a 100 hectares e 12,5% de florestas nativas com área superior a 3 hectares. Ranta et al. (1998) afirmou que o nordeste brasileiro apresenta apenas 2% da cobertura original de Mata Atlântica.

Através da Figura 1 é possível observar a taxa de desflorestamento anual do bioma Mata Atlântica, entre os anos de 1985 e 2016, sendo observado acentuado decréscimo a partir do ano de 2000. Porém, é possível observar um aumento no valor

de desmatamento para os anos de 2012 e 2016. Segundo a Fundação SOS Mata Atlântica, o estudo apontou desmatamento de mais de 29.000 hectares nos 17 estados de ocorrência do bioma, representando um aumento de 57% em relação ao ano anterior.

Figura 1 - Taxa de desflorestamento anual para o bioma Mata Atlântica. Fonte: Fundação SOS Mata Atlântica, 2016.



A maior parte dos remanescentes florestais de Mata Atlântica encontra-se na forma de pequenos fragmentos, altamente perturbados, isolados, pouco conhecidos e pouco protegidos, com parte deles localizados, espacialmente, em paisagens intensamente cultivadas, sendo o seu manejo um fator decisivo para a conservação das suas características (VIANA, 1995; METGZER, 2008). No caso do estado de Pernambuco, a monocultura de cana-de-açúcar e a posterior expansão urbana fragmentou a vegetação. Dados da Fundação SOS Mata Atlântica (2014) apontavam que cerca de 62% da população brasileira encontrava-se residindo em área do bioma naquela época.

Segundo a Fundação SOS Mata Atlântica, o estado de Pernambuco apresentava cobertura original de 1,6 milhões de hectares onde, atualmente, apresenta uma área total de 197 mil hectares (SOS MATA ATLÂNTICA, 2017). Tabarelli et al. (2005) afirmam que grande parte das espécies endêmicas da Floresta Atlântica apresenta distribuição concentrada em seis centros de endemismos. Dois destes centros de endemismo localizam-se no nordeste brasileiro, sendo eles o centro de Endemismo de Pernambuco e os Brejos Nordestinos.

Alves-Costa et al. (2008) afirmaram que os remanescentes do Centro de Endemismo do Nordeste estão distribuídos espacialmente entre os estados de Alagoas e Rio Grande do Norte, além de áreas no Ceará. O Parque Estadual Dois Irmãos (PEDI) encontra-se inserido no perímetro urbano na Cidade do Recife. Segundo o Manual Técnico de Vegetação Brasileira do IBGE, sua área florestal está

classificada como Floresta Ombrófila Densa, em estágio de sucessão secundária, não apenas como consequência das ações antrópicas, mas também pela queda natural de indivíduos arbóreos.

O Plano de Manejo do Parque Estadual de Dois Irmãos (PEDI, 2014) identifica três estratos arbóreos mais ou menos densos, sendo um com dossel que atinge 20 m de altura, com indivíduos emergentes das espécies *Pera glabrata* (Schott) Poepp. ex Baill., *Aspidosperma discolor* A.DC. e *Tapirira myriantha*, entre outras, chegando a atingir mais de 30 m de altura. Levantamento realizado por Guedes (1998) informa que, em 12.000 m² na área florestal de Dois Irmãos foram registradas 170 espécies, distribuídas em 12 gêneros e 58 famílias. As famílias que apresentaram maior riqueza de espécies foram Melastomataceae (13 spp.), Lauraceae (10 spp.), Fabaceae (9 spp.), Euphorbiaceae (8 spp.), Mimosaceae, Caesalpiniaceae e Sapotaceae (7 spp.), Annonaceae, Apocynacea e Myrtaceae (5 spp.).

2.3 FRAGMENTOS FLORESTAIS URBANOS

Diante das mudanças globais e da busca pelo desenvolvimento sustentável, reconhece-se a importância da preservação e da reconstituição das florestas no meio urbano, voltado ao benefício da conservação de espécies da fauna e da flora, da qualidade da água e balanço hídrico, do ar, do clima e, consequentemente, da qualidade de vida humana.

Em áreas urbanas, a vegetação desempenha importantes funções. Destacam-se as ornamentais e paisagísticas, o controle de ruídos, o aumento da umidade do ar, a distribuição adequada dos ventos e a filtragem da poluição atmosférica. Outro papel importante desempenhado pela vegetação é a modificação do microclima, adequando o comportamento térmico do arranjo urbano (OLIVEIRA, 2012).

Porém, o elevado ritmo de crescimento das áreas urbanas no entorno de fragmentos florestais ocasiona diversos problemas, podendo ser destacada a mudança nos padrões de umidade e temperatura. O mapeamento e a análise dos diversos fragmentos florestais possibilitam a obtenção de informações que auxiliam na sua estruturação, restauração e conservação, além de permitir a construção de planos que possibilitem a redução do risco a extinção local de espécies ameaçadas (METZGER, 2004). Em contrapartida Santin (1999) e Paiva e Gonçalves (2002) apontam que, mesmos os fragmentos florestais estando reduzidos e isolados, estes se apresentam como parte de um ecossistema original, detendo riqueza considerável

de espécies vegetais, contribuindo para a melhoria dos ciclos hidrológicos e conservação do solo (MELO et al., 2011).

A Organização das Nações Unidas – ONU (2017) projetam que, no ano de 2050, 66% da população mundial habitará as áreas urbanas. O Censo 2010 (IBGE, 2010) mostrou que 85% da população brasileira residia em áreas urbanas, o que vem a demandar do poder público estudos e políticas públicas que contemplem, através do planejamento urbano, a gestão eficiente de áreas verdes, assim como a preservação de remanescentes florestais. Melo e Furtado (2006, p.05) afirmam que em grande parte dos municípios brasileiros, estas áreas se apresentam quase invisíveis aos moradores.

Melo et al. (2011) e Souza et al. (2013) afirmaram que "*o aproveitamento dos fragmentos florestais urbanos como áreas de lazer minimiza a ação de alguns fatores de perturbação das práticas inadequadas de manejo, bem como proporciona momentos agradáveis aos cidadãos"*. Porém, Souza et al. (2013) fizeram a ressalva que, para o município de Vitória, a criação e a estruturação destas áreas de lazer, assim como oferecem benefícios para a população, têm provocado alterações significativas na fisionomia e na composição original dos fragmentos florestais, citando a criação de caminhos pavimentados e infraestruturas no interior dos fragmentos, além da introdução de espécies exóticas.

Como tratado no tópico anterior à desconexão, existente, muitas vezes, entre os fragmentos florestais, somado aos padrões complexos e desordenados de crescimento urbano, acaba por prejudicar o desenvolvimento da biodiversidade da flora e fauna (ISERNHAGEN et al., 2009). A redistribuição dos contingentes populacionais, principalmente nas últimas cinco décadas, em virtude do aumento nos valores de solo urbano no município do Recife, tem se apresentado como um dos principais problemas na preservação das áreas remanescentes de Mata Atlântica. Torna-se importante a realização de pesquisas que permitam ofertar aos planejadores seu gerenciamento de forma eficiente (BEZERRA, 2006; OLIVEIRA, 2012).

Em alguns casos, a rápida substituição de áreas vegetadas por áreas impermeabilizadas acaba por influenciar o surgimento ou agravamento de diversos fenômenos, como enchentes, alagamentos, ilhas de calor urbana, aumento no número de casos de doenças, como tem ocorrido em diversas cidades brasileiras (SHAMS et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2013) e do mundo (WENG et al., 2004; CHEN et al., 2006;

WENG e QUATTROCHI, 2006; KLOK et al., 2012; MCFARLANE et al., 2013; TRAN et al., 2017).

Whitford et al. (2001), Nowak et al. (2002) e Pauleit et al. (2005) indicaram a necessidade de realização de pesquisas com parâmetros ambientais importantes, referentes ao uso do solo em ambiente urbano, como a temperatura da superfície, o escoamento das águas pluviais e o sequestro de carbono. Segundo Pauleit et al. (2005), estes elementos são diretamente afetados pelas características da cobertura do solo, como a densidade de construções e distribuição de áreas verdes no espaço urbano, que, na maioria dos casos, apresentam-se bastante fragmentados.

Estudos, como o realizado por Chen et al. (2006), na região do delta do rio Pearl na costa sul da China, verificaram a influência da mudança de uso e cobertura da terra na distribuição da temperatura da superfície. Ao longo de 25 anos, a área passou por um rápido processo de urbanização. Os autores afirmam que o dramático aumento da urbanização intensificou o surgimento das ilhas de calor urbanas em diversas áreas.

Em estudo realizado por Cui & Yuan (2009), com a utilização de dados ASTER na cidade costeira de Beihai – Guangxi, costa sul da China, verificou-se que, na área urbana, o NDVI e o NDWI apresentaram valores baixos e temperatura da superfície alta, enquanto na área rural, o NDVI e o NDWI são elevados e a temperatura da superfície é baixa. Para os grandes fragmentos florestais, é possível notar que o índice de umidade se apresenta mais sensível às perturbações provocadas pelo homem, como áreas desmatadas no interior do fragmento.

McFarlane et al. (2013), realizando estudo comparando os períodos de surgimento ou aumento na ocorrência de doenças infecciosas em humanos e em animais vertebrados domésticos e selvagens com períodos de grandes mudanças de uso e cobertura do solo na Austrália e Tasmânia, verificaram que as doenças infecciosas ocorrem mais frequentemente devido a remoção ou substituição da vegetação natural por outro tipo de cobertura. Deste modo, em 22% dos casos estudados ocorreu associação entre grandes mudanças de uso e cobertura e aumento de casos de doenças infecciosas emergentes. A nível nacional pode ser citado o aumento sem precedentes no número de casos de Febre Amarela silvestre no Brasil no ano de 2017 e 2018.

Magalhães, Junior e Santos (2017) comparando os resultados obtidos por meio de técnicas de sensoriamento remoto orbital, fotointerpretação, Índices de Vegetação e Classificadores de Imagens no intuito de mensurar a vegetação arbórea no

município de Alegre, ES, constataram que o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) com fator de ajuste de 0,25 apresentou uma maior precisão na mensuração da vegetação urbana quando comparado a técnicas de fotointerpretação. Também foi utilizado classificador Isoseg.

2.4 UTILIZAÇÃO DE SENSORIAMENTO REMOTO NO MONITORAMENTO FLORESTAL

O sensoriamento remoto tem apresentado a possibilidade de levantamento de uma série de informações refinadas visando auxiliar no monitoramento florestal. Apesar dos avanços tecnológicos, muitos mapeamentos de inventário florestal em todo o mundo permanecem baseadas em interpretação manual de fotografias aéreas, o que facilita sua caracterização, quando aliados a um conjunto de atributos derivados, incluindo a posição de espécies arbóreas, altura, qualidade do local, estado de saúde e idade (WOODS et al. 2011).

A utilização de fotografias aéreas, imagens de satélite com alta resolução espacial, dados lasers e veículos aéreos não tripulados (VANT) têm se popularizado e proporcionado, através dos avanços tecnológicos na área da informática, a possibilidade de identificação e solução de diversos problemas, além de assegurar detalhes espaciais e temporais mais refinados, quando comparados aos métodos tradicionais.

Através da utilização de dados obtidos em campo, dados espectrais ou modelos estatísticos, é possível realizar a quantificação de carbono e biomassa em ecossistemas naturais (POPESCU, 2007; GOETZ et al., 2009; ASNER et al., 2012; BRIANEZI et al., 2013). Diversos são os métodos diretos ou indiretos voltados para a quantificação e identificação de espécies, além da determinação de biomassa, seja em um único indivíduo ou parcela, em uma floresta nativa ou uma floresta plantada (SANQUETTA, 2002).

No método direto, também conhecido como método destrutivo, é realizado o desbaste total da amostra e a quantificação da massa verde, enquanto no método indireto são utilizados modelos matemáticos ajustados para uma determinada região, levando-se em consideração as características fitoecológicas. Podem ser citadas as pesquisas realizadas por Schumacher et al. (2002) e Vogel et al. (2006) utilizando o método direto de amostragem para quantificação de biomassa e carbono. Porém, em

áreas de preservação ou unidades protegidas, a utilização deste método tem sido menos comum e não recomendada por órgãos ambientais.

Deste modo a demanda por mapeamento da cobertura vegetal em grandes áreas territoriais voltados ao manejo e monitoramento de recursos florestais tem aumentado, sendo indispensável para o planejamento o conhecimento da distribuição da cobertura vegetal e suas variações fenológicas. Na década de 80, do século passado, o Brasil passou a realizar o mapeamento de classes específicas de vegetação. Na década de 90, Ponzoni, Shimabukuro e Kuplich (2012) afirmam que [...] "*as pesquisas com sensoriamento remoto da vegetação, que até então explorava abordagens de cunho fundamentalmente qualitativo, passaram a explorar outras com ênfase mais quantitativa".*

Junior et al. (2008) realizando pesquisa com o objetivo de mapear a vegetação do Parque Nacional da Serra dos Órgãos utilizando dados de sensoriamento remoto e modelo digital de terreno (MDT) constataram "*um melhor detalhamento da vegetação em ambiente com alta variação altimétrica*". Para tal utilizaram imagens ASTER, fotografias aéreas e Modelo Digital de Terreno validados por informações de campo e método de classificação por árvore de decisão.

Maia, Souza e Fernandes (2016) aplicando "*a técnica de mineração de dados para o mapeamento da cobertura da terra do Parque Nacional do Itatiaia e arredores por meio de uma imagem do sensor OLI/LANDSAT 8 e o software livre InterIMAGE*" obtiveram resultados positivos para o mapeamento sendo possível a adição de outras informações, como modelos altimétricos e índices espectrais visando o refinamento dos resultados.

Piazza et al. (2016) em pesquisa objetivando verificar a existência de "*relação entre variáveis dendrométricas e resposta espectral de áreas cobertas por estágios iniciais da sucessão na Floresta Ombrófila Densa em Santa Catarina*" verificaram que a mineração de dados foi decisiva a seleção de atributos de maior relevância. Para tal foram utilizados variáveis dendrométricas em seis unidades amostrais da vegetação e avaliada as respostas espectrais em imagens de alta resolução espacial. Os mesmos encontraram relações altamente significativas entre variáveis dendrométricas de campo e atributos espectrais, espaciais e de textura.

Leite, Santos e Santos (2017) em estudo voltado a análise temporal do uso do solo na Estação Experimental de Itatinga – SP, utilizando os índices NDVI e SAVI em imagens do satélite Landsat 8 identificaram "*processo de perda da cobertura vegetal*

em alguns lugares pontuais do horto de Itatinga, bem como o acréscimo da densidade vegetal em outros". Santana et al. (2018) visando "*avaliar as respostas espectrais da Mata Atlântica com base nos índices de vegetação SAVI, EVI, NDVI, NDWI além de índices mais novos como o SARVI e o AFRI*" constataram que o NDVI e o SAVI se mostraram satisfatórias em relação ao levantamento das áreas vegetadas e em processo de degradação.

2.5 O SISTEMA LiDAR NO MONITORAMENTO FLORESTAL

O sistema LiDAR utiliza pulsos laser, permitindo a obtenção de dados como a altura do dossel e/ou árvores individuais (NAESSET, 1997; GALVÍNCIO e POPESCU, 2016), o volume e o diâmetro da copa (COOPS et al., 2007) e modelagem de área basal, volume, biomassa e carbono (DANILIN e MEDVEDEV, 2004; HUDAK et al., 2006; BALZTER et al., 2007; IOKI et al., 2010; RODRIGUEZ et al, 2010; FALKOWSKI, 2012) em tempo comprovadamente inferior aos métodos tradicionais em áreas mais amplas.

Utilizado, inicialmente, no levantamento de dados a serem utilizados na construção de Modelos Digitais de Elevação (MDE) e Terreno (MDT) em áreas de difícil acesso, onde os métodos tradicionais não seriam suficientes ou trariam resultados satisfatórios, esta tecnologia passou a ser aplicada nas mais diversas áreas do conhecimento, como planejamento costeiro, preservação de patrimônio histórico, telecomunicações, transporte, mineração e mais recentemente no planejamento urbano e ambiental, sendo, na atualidade, a solução mais rápida e precisa para mapeamento planialtimétrico de grandes extensões de território (GIONGO et al., 2010; REX et al, 2018).

A Hughes Aircraft, Inc, desenvolveu em 1960 o primeiro laser óptico, sendo utilizado inicialmente para medir o tempo gasto em que a luz levava se deslocando entre o transmissor até o alvo e o retorno ao receptor laser. As primeiras utilizações voltadas ao Sensoriamento Remoto, utilizando o sistema LiDAR, apresentava a possibilidade de coleta de um único perfil de elevação diretamente abaixo da aeronave na sua linha de voo. A posterior acoplagem de sistema de medições inerciais e do GPS cinemático aos sensores aerotransportados veio a permitir o amadurecimento do sistema.

Fatores como alta densidade amostral, alta capacidade de penetração, mesmo em área com vegetação mais densa, sensibilidade a pequenas variações de terrenos

são algumas das vantagens apresentadas pela tecnologia. A partir de uma nuvem de pontos é possível gerar diversos produtos como as imagens de intensidade, hipsometria, composição, declividade, Modelos Digitais de Terreno, Superfície e Elevação e curvas de nível (ENGEFOTO, 2013). Devido ao georreferenciamento de cada ponto LiDAR problemas de ortorretificação e triangulação são dirimidos.

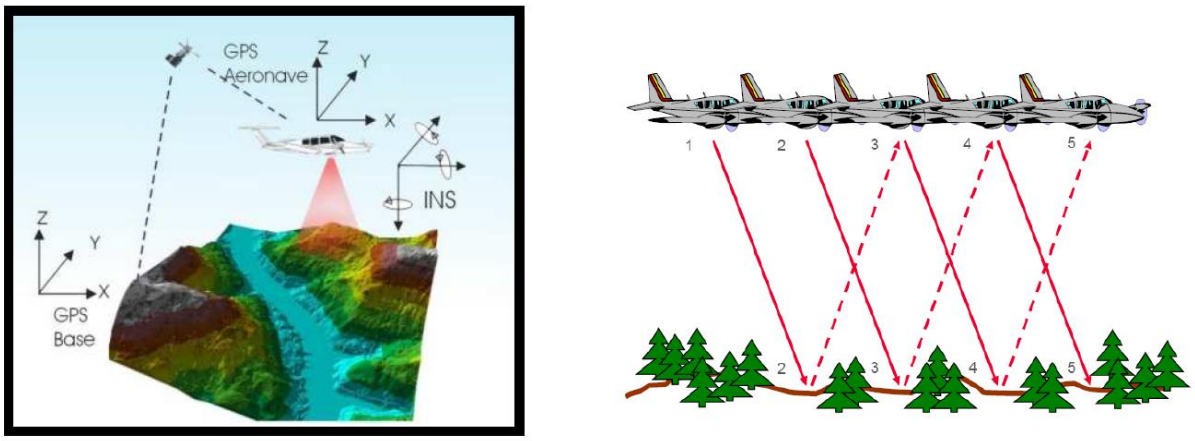
Pesquisas como as realizadas por Boyd et al. (1999) e Silva et al. (2013) têm demonstrado formas de obter valores de biomassa através da utilização de índices, como o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), calculados através da utilização de imagens do satélite Landsat. Porém, recentemente, a utilização de tecnologia laser aerotransportada, baseada na tecnologia LiDAR (*Light Detection and Ranging*) tem assumido importância cada vez maior para a quantificação e qualificação de biomassa vegetal, fornecendo informações tridimensionais da superfície terrestre com alta precisão (POPESCU, 2002).

O alto custo na obtenção deste tipo de dado tem se apresentado como um dos obstáculos a serem superados para a difusão desta tecnologia no planejamento urbano. Porém, a Prefeitura da Cidade do Recife, assim como o governo do estado de Pernambuco, investiram na aquisição e imageamento de sua área, permitindo, aos técnicos e cientistas, a possibilidade de demonstrar a aplicabilidade deste tipo de dado em diversas áreas do conhecimento, nos diferentes ambientes e biomas inseridos no estado, com um maior nível de aprofundamento no conhecimento da realidade ambiental municipal e estadual.

O processo de aquisição do LiDAR pode ser observado na Figura 2, onde, no geral, são utilizados quatro instrumentos: a unidade de emissão e receptor laser acoplado a uma aeronave, unidades de posicionamento global (GPS), na aeronave e no solo, um sensor inercial (IMU) acoplado à unidade laser para medir a guinada, alfada e rolamento (*roll, pitch e yaw*) e um computador para controlar o sistema e armazenar os dados (MCGAUGHEY, 2010).

A principal vantagem dos sensores de varredura laser em relação aos sensores passivos é o fato dos seus *scanners* não dependerem de uma fonte de iluminação, como o sol, por exemplo, permitindo o imageamento, em qualquer hora do dia, dispensando a preocupação com a quantidade de sombras de nuvens ou objetos artificiais, como edificações. Outra característica deste sensor é a penetração em pequenas aberturas, o que apresenta enorme vantagem quando a aquisição de dados é feita em regiões florestais, por exemplo, fornecendo múltiplos retornos.

Figura 2 - Representação esquemática do processo de aquisição de dados de laser. Fonte: Engefoto, 2013.



Conforme Giongo et al. (2010), "*apesar de a utilização laser não ser uma tecnologia nova, a sua utilização na aquisição de dados geográficos é relativamente recente*". Nilsson (1996) afirmou que a tecnologia LiDAR apresenta grande potencial na obtenção de variáveis dendrométricas e estudos, como os realizados por Xiao et al. (2012), constataram a viabilidade da utilização de dados LiDAR na identificação de diversos tipos de vegetação em áreas urbanas. Estudo realizado por Macedo (2009) obteve valor 1,8% menor na estimativa de volumetria, utilizando dados LiDAR, quando comparado com o volume obtido com a utilização de técnicas tradicionais de inventário florestal.

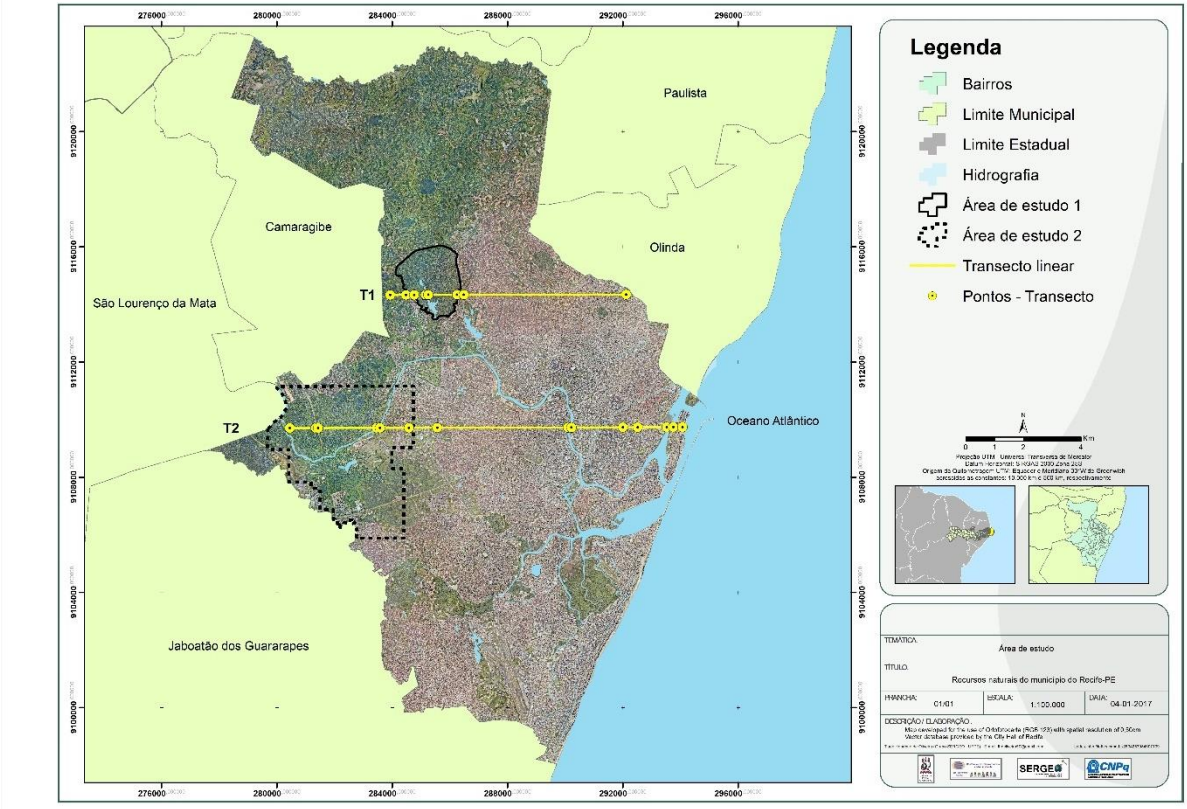
O LiDAR tem demonstrado bons resultados nos mapeamentos realizados durante anos nas florestas dos Estados Unidos da América pelo Serviço Florestal Norte-Americano (HUDAK et al., 2006). Torna-se imprescindível o desenvolvimento de equações e metodologias que busquem a individualização de copas de diferentes espécies em uma arquitetura de dossel florestal e consiga quantificar de forma precisa o tamanho e outras variáveis possibilitando o correto manejo destas áreas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DELIMITAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

As áreas de estudo nesta pesquisa são os fragmentos florestais: i) Unidade de Conservação da Natureza Dois Irmãos ou Parque Estadual de Dois Irmãos (578 ha) e ii) Área de Proteção Ambiental Mata da Várzea (796 ha), Unidade de Conservação da Natureza Matas do Curado (410 ha) e Jardim Botânico do Recife (11 ha) localizadas no município do Recife, Figura 3, capital do Estado de Pernambuco. A escolha destes fragmentos para a caracterização ambiental se deu pela proximidade entre os mesmos e em virtude dos diferentes níveis de proteção, degradação ou regeneração. Já para a modelagem da quantidade de árvores foi utilizado o Parque Estadual de Dois Irmãos.

Figura 3 - Localização dos fragmentos florestais em estudo na Cidade do Recife-PE, em 2018 e distribuição espacial dos transectos lineares (T1 – Parque Estadual de Dois Irmãos; T2 - Área de Proteção Ambiental Mata da Várzea, Unidade de Conservação da Natureza Matas do Curado e Jardim Botânico do Recife). Fonte: Autor, 2018.



Segundo o Censo 2010 do IBGE, Recife possui uma população de 1.537.704 habitantes, correspondendo a 17,48% da população do Estado e 41.63% da população da sua Região Metropolitana. O município expressa, na sua configuração

físico-territorial, as diferenças provocadas pelo quadro socioeconômico que se consolidou ao longo de sua história. Seu espaço urbano encontra-se dividido em 94 bairros, 18 microrregiões e seis Regiões Político-Administrativas (RPA). Apresenta 67% de sua área caracterizada como áreas de morros, 23% como áreas de planícies e 9,31% como áreas aquáticas.

Todo o município encontra-se inserido no domínio da Mata Atlântica (IBGE, 1993) “contemplando a Mata Ombrófila Densa e ecossistemas associados como os Manguezais e Restingas” (MELO e FURTADO, 2006, p.20). Atualmente existem diversos fragmentos florestais localizados nas áreas de morros protegidas pelo Sistema Municipal de Unidades Protegidas (SMUP - Lei nº 18.014/2014) “*que disputam espaços com a cidade informal*” conforme aponta Melo e Furtado (2006).

Inicialmente, o Parque Ecológico de Dois Irmãos (PEDI) foi criado como Reserva Ecológica da Região Metropolitana do Recife através da Lei Estadual nº 9.989 (PERNAMBUCO, 1987), sendo posteriormente categorizado como Parque através da Lei Estadual nº 11.622 de 29 de dezembro de 1998 (PERNAMBUCO, 1998).

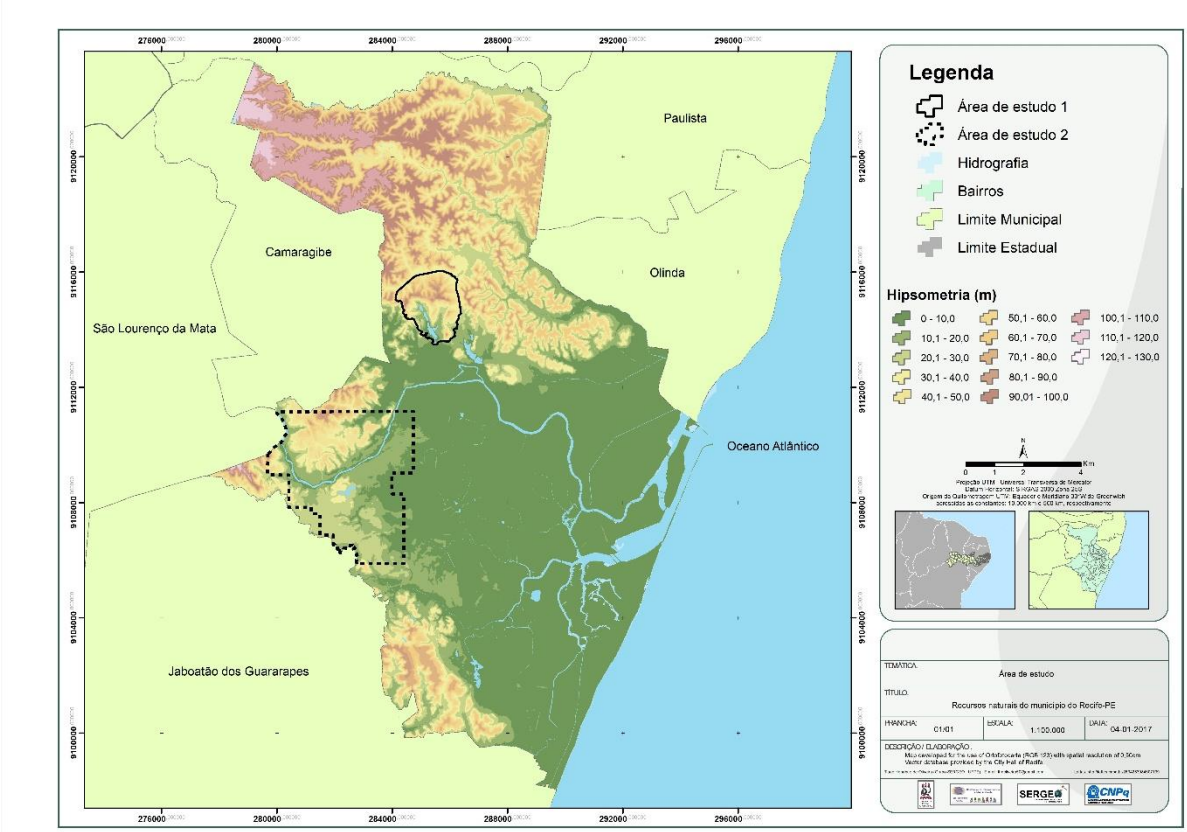
Conforme define o Sistema Nacional de Unidades de Conservação – SNUC (BRASIL, 2000) e Sistema Estadual de Unidades de Conservação – SEUC (PERNAMBUCO, 2009) os parques apresentam como objetivo “*a preservação de ecossistemas naturais de grande relevância ecológica e beleza cênica, possibilitando a realização de atividades de pesquisas científica e o desenvolvimento de atividades de educação e interpretação ambiental, de recreação em contato com a natureza e de turismo ecológico*”.

Em nível municipal o Parque Ecológico de Dois Irmãos foi categorizado como Zona Especial de Proteção Ambiental II - ZEPA II, no ano de 1996. Em 10 de maio de 2014, através da Lei municipal nº 18.014, que instituiu o Sistema Municipal de Unidades Protegidas (SMUP), classificou o Parque Ecológico como Unidade de Conservação da Natureza (UCN) Dois Irmãos. Segundo o SMUP, as UCN “*são espaços territoriais e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, instituídos pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção*” (SMUP, 2014).

O clima do Recife é do tipo As, clima quente e úmido com temperaturas elevadas e com chuvas de outono e inverno (Koppen, 1948). Mais de 50% do município apresenta altitudes inferiores a 10 m (Figura 4). As áreas mais ao norte, oeste e

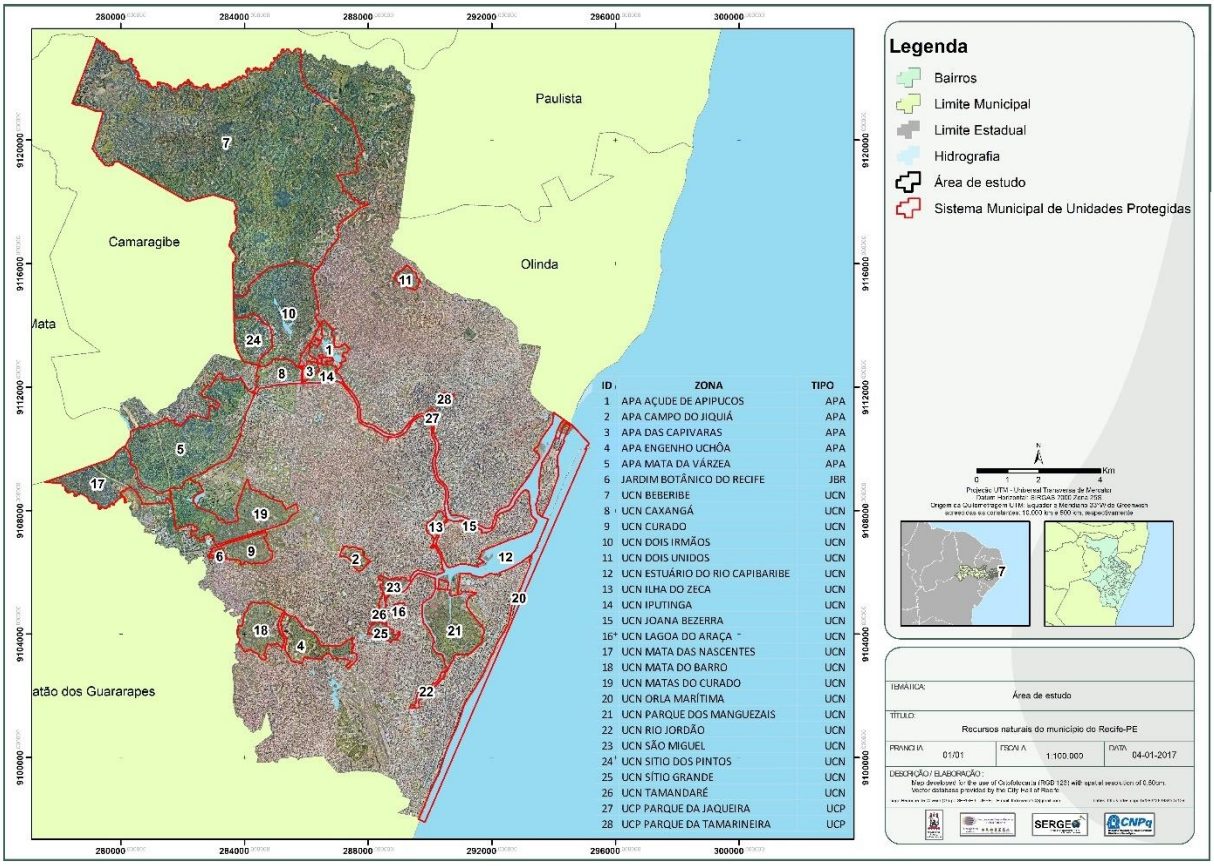
sudoeste do município apresentam valores de altitude superiores a 20 m; em algumas localidades ocorrem altitudes maiores que 100 m. Estas áreas, segundo Correa (2006), são chamadas de "*Unidade de Colinas dissecadas ou morros, identificadas a partir da morfologia pluri-convexa e alta dissecação fluvial*" e geralmente estão associadas à Formação Barreiras.

Figura 4 - Hipsometria do município do Recife – PE e delimitação das áreas de estudo. Fonte: Autor, 2018.



As áreas de morros apresentam, em parte, ocupações residenciais como no caso das RPA 2 e 6 e grandes unidades protegidas, como nas RPA 4 e 3. O Sistema Municipal de Unidades Protegidas regulamentou um total de 28 unidades (Figura 5), sendo cinco como Área de Proteção Ambiental, uma Jardim Botânico, 20 Unidades de Conservação da Natureza e duas Unidades de Conservação da Paisagem. Além destas categorias, também instituiu as Unidades de Equilíbrio Ambiental (UEA), constituídas de Imóvel de Proteção de Área Verde (IPAV), Jardim Histórico, Área Verde de Convivência, Recreação, Esporte ou Lazer (AVCEL), Área Verde Pública de Composição Viária (AVPV) e Árvores e Palmeiras Tombadas.

Figura 5 - Unidades do Sistema Municipal de Unidades Protegidas (SMUP), município do Recife - PE. Fonte: Autor, 2018.



Grande parte destas unidades de conservação apresentam edificações em seu interior, o que vem a provocar perturbações ambientais. Outra característica importante é a presença de grandes corpos hídricos que cruzam e se integram em várias unidades de conservação, como no caso de rios como o Capibaribe e o Jiquiá. Inicialmente, no século XIX, a Companhia do Beberibe foi contratada para fornecer água potável para a população do Recife, extraída, em parte, da água do Riacho do Prata. Na época, a água fornecida por esta área era apontada como a que apresentava a melhor qualidade da região, devido a proteção fornecida pela mata de Dois Irmãos.

Em 14 de janeiro de 1939, Agamenon Magalhaes, interventor federal em Pernambuco, fundou o Jardim Zoobotânico de Dois Irmãos na área do Horto Florestal, ocupando, atualmente, 14 hectares da área do Parque Ecológico de Dois Irmãos. Deste modo, este fragmento florestal apresenta um longo histórico de proteção da vegetação, visando sua preservação.

3.2 MÉTODOS E TÉCNICAS

3.2.1 Mudança de uso e ocupação do solo e contabilização de edificações

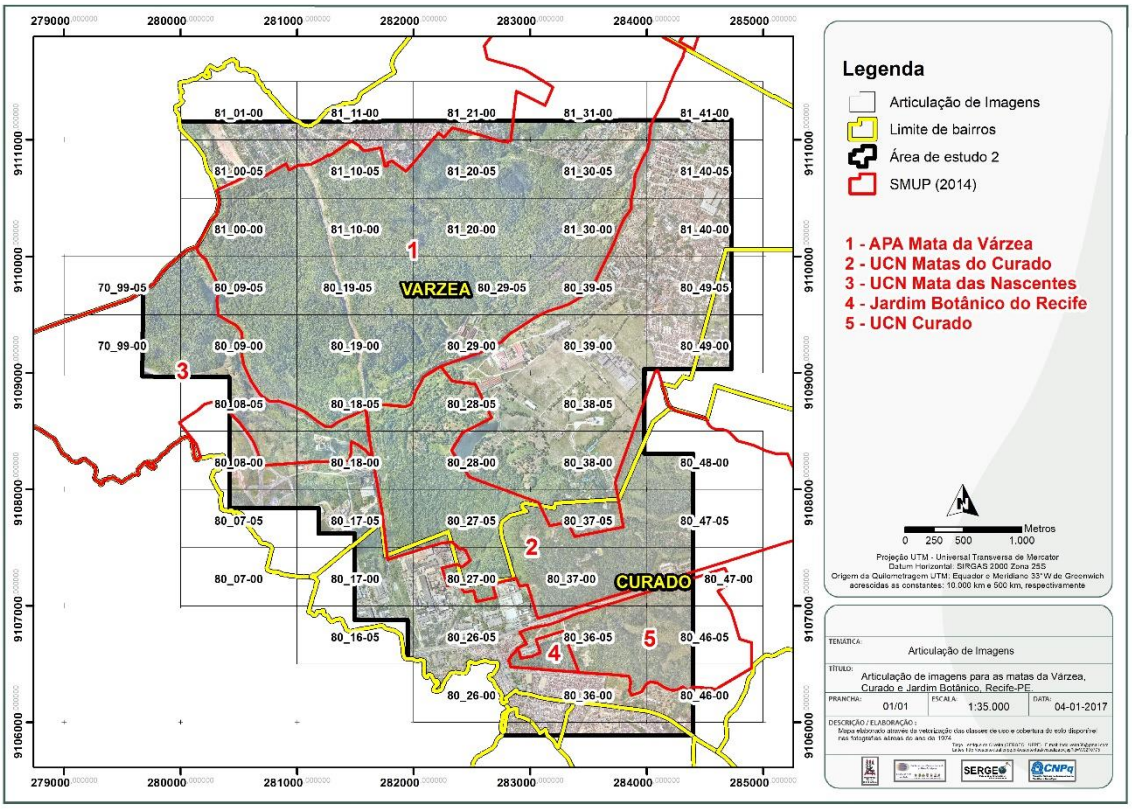
Para analisar a evolução espaço-temporal dos fragmentos florestais de Dois Irmãos, Várzea, Curado, Jardim Botânico e entorno foi utilizada a técnica de vetorização. As classes foram definidas através de análise visual prévia das fotografias aéreas pancromáticas dos anos de 1974 e 1997, e das ortofotocartas do Recife dos anos de 2007 e 2013, sendo adotadas as classes de Vegetação arbórea ou Florestal, Vegetação herbácea e arbustiva, Área urbana, Área alagada, Solo exposto e vias e Corpos hídricos, podendo ser observadas no Anexo A.

A fotointerpretação ou técnicas de interpretação visual de imagens fazem parte da análise de dados. Deste modo são identificados e determinadas informações qualitativas das imagens utilizadas. As fotografias aéreas pancromáticas, com resolução espacial de 30 cm, foram disponibilizadas em formato digital pela mapoteca da Agência Estadual de Planejamento e Pesquisas de Pernambuco (CONDEPE-FIDEN).

A utilização da técnica de vetorização ocorre devido a qualidade das fotografias aéreas, evitando a confusão entre diferentes usos, caso fosse realizada uma classificação supervisionada. Ao total foram utilizadas 64 cenas, sendo todas georreferenciadas, recortadas e organizadas em formato de mosaicos para a definição da área de estudo. O georefenciamento das fotografias aéreas tomou por base a ortofotocarta do ano de 2013.

As ortofotocartas dos anos de 2007 e 2013 foram disponibilizadas pela Prefeitura da Cidade do Recife, em formato digital, com combinação RGB na faixa do visível do espectro de radiação eletromagnética. Ao total foram utilizadas 52 cenas para as áreas florestais da Várzea, Curado e Jardim Botânico, (Figura 6) e 28 cenas da área florestal de Dois Irmãos (Figura 7). A aquisição das fotos de 2013 foi realizada através da utilização de câmara Trimble Aerial Camera X4, com os quatro corpos da câmara integrada P65, mais quatro sensores. A câmara possuía mecanismos que permitiram a correção do recobrimento longitudinal, bem como a integração de sistema inercial de navegação e GPS.

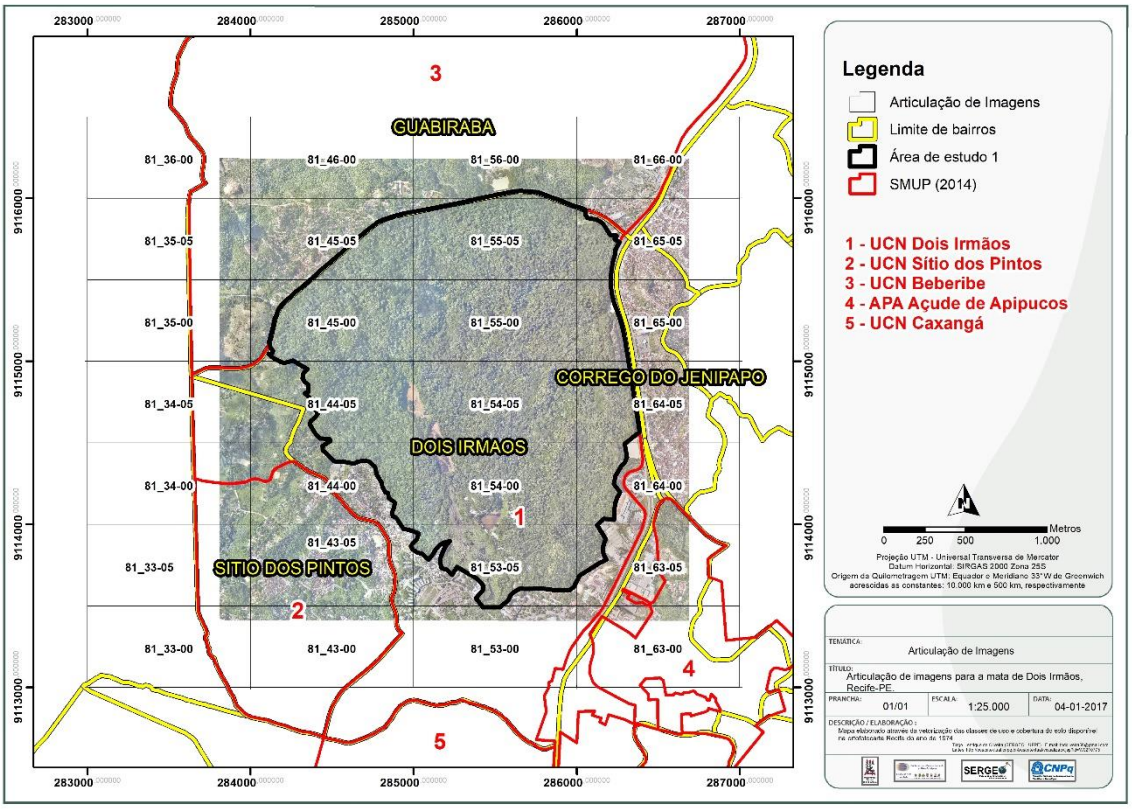
Figura 6 - Articulação de cenas utilizadas para as áreas florestais da Várzea, Curado e Jardim Botânico, no município do Recife-PE. Fonte: Autor, 2018.



Devido à alta resolução espacial das ortofotocartas em relação as fotografias aéreas foram necessárias reamostrar, espacialmente, as cenas com resolução de 10 cm para a resolução de 30 cm. O processo de georreferenciamento, mosaico e vetorização do uso e cobertura foi realizado através do módulo ArcMap do programa ArcGIS 9.3. Em seguida, foi possível identificar os principais vetores de modificações antrópicas, no interior e entorno dos fragmentos florestais das Matas de Dois Irmãos, Várzea, Curado e do Jardim Botânico, assim como nas áreas em atual processo de degradação.

A fim de verificar o incremento das edificações no entorno dos fragmentos florestais, para as fotografias aéreas e ortofotocartas utilizadas, foi realizada a identificação de cada imóvel em um arquivo vetorial no formato de ponto. Em seguida foi possível obter o número total de edificações para cada ano analisado e armazenado em um banco de dados georrefenciado.

Figura 7 - Articulação de cenas utilizadas para a área florestal de Dois Irmãos, município do Recife-PE. Fonte: Autor, 2018.



3.2.2 Cômputo de índices em imagens Landsat

Para obter os valores de Temperatura da superfície (Ts), Umidade (NDWI) e Área Foliar (IAF) foram utilizadas três imagens do sensor Thematic Mapper do satélite Landsat 5, com datas de imageamento em 28 de setembro de 1989, 26 de agosto de 2006 e 06 de setembro de 2010. A escolha deste satélite se deu devido a disponibilidade de cenas com diferença temporal de mais de 20 anos, o que permitiu uma aproximação temporal das fotografias aéreas utilizadas. Apesar da disponibilidade de novas imagens do sensor OLI, do satélite Landsat 8, não foi possível a sua utilização devido a ampla presença de nuvens na área de estudo.

Após o *download* das imagens a serem utilizadas, todas as bandas de cada cena Landsat foram empilhadas e corrigidas geometricamente, tomando por base a imagem ortoretificada disponibilizada pelo banco de dados Earth Explorer. Posteriormente, foi realizada a exclusão dos números digitais referentes às nuvens e sombras de nuvens através da realização de uma classificação supervisionada, tendo em vista que a região do Recife apresenta uma alta incidência de nuvens, o que inviabiliza a utilização de dezenas de imagens, ao longo dos últimos 25 anos.

Ao final deste processamento, as imagens foram recortadas ao limite da área de estudo, visando uma melhor visualização da dinâmica espacial ocorrida no local. Os índices utilizados foram calculados conforme metodologia descrita a seguir.

3.2.2.1 Calibração radiométrica

A calibração radiométrica, ou a radiância espectral (Equação 1), consiste na conversão do nível de cinza de cada pixel e banda, em radiância monocromática, que representa a energia solar refletida, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida ao nível do satélite nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. Para a banda termal, essa radiância representa a radiação emitida por cada pixel, sendo empregada na obtenção da temperatura da superfície. A radiância de cada pixel e banda foi obtida pela equação proposta por Markham e Baker (1987):

$$L_{\lambda i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND \quad (1)$$

onde a e b são as radiâncias espectrais mínima e máxima ($W.m^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$), ND é a intensidade do pixel (valor inteiro entre 0 e 255) e i corresponde às bandas (1, 2, ... e 7) dos satélites Landsat 5 e 7. Os coeficientes de calibração utilizados para as imagens TM são os propostos por Chander e Markham (2003) e Chander, Markham e Barsi (2007).

3.2.2.2 Reflectância

A reflectância, Equação 2, de cada banda ($\rho_{\lambda i}$) é definida como sendo a razão entre o fluxo de radiação solar refletido pela superfície e o fluxo de radiação solar global incidente, a qual é obtida através da equação (Allen et al., 2002):

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi . L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} . \cos Z . d_r} \quad (2)$$

onde Lλi é a radiância espectral de cada banda, Kλi é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($W.m^{-2}\ \mu m^{-1}$), Z é o ângulo zenital solar e dr é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol (ro) e a distância Terra-Sol (r) em um dado dia do ano (DSA).

3.2.2.3 Índice de Umidade (NDWI)

O *Normalized Difference Water Index* ou Índice de umidade, Equação 3, é obtido através da razão entre a diferença das refletividades do infravermelho próximo (ρ_{IVP}) e do infravermelho médio (ρ_{NIR}), e a soma das mesmas:

$$NDWI = \frac{\rho_{IV} - \rho_{MIR}}{\rho_{IV} + \rho_{MIR}} \quad (3)$$

onde ρ_{IVP} e ρ_{NIR} correspondem, respectivamente, às bandas 4 e 5 do TM - Landsat 5. O índice de vegetação proposto por Gao (1996) relaciona o conteúdo de água presente nas folhas", onde os valores negativos representam áreas com vegetação seca e os valores positivos indicam a vegetação verde.

3.2.2.4 Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS)

Foi utilizado o Índice de vegetação ajustado por solo (*Soil Adjusted Vegetation Index*), introduzindo um fator no Índice de Vegetação da Diferença Normalizada para incorporar o efeito da presença do solo, mantendo-se o valor do IVDN dentro de -1 a +1, seguindo a equação proposta por Heute (1988). Esse índice é calculado através da Equação 4:

$$IVAS = \frac{(1+L)(\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)} \quad (4)$$

onde ρ_{IV} e ρ_V correspondem, respectivamente, às bandas do infravermelho próximo e do vermelho e L é o fator de ajuste do solo, cujo valor mais frequentemente usado é de 0,5 (Accioly et al., 2002; Boegh et al., 2002; Silva et al., 2005).

3.2.2.5 Índice de Área Foliar (IAF)

O índice de área foliar, Equação 5, é definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação. Este índice é um indicador de biomassa de cada pixel da imagem, sendo calculada por equação empírica proposta por Allen et al. (2002):

$$\mathrm{IAF} = -\frac{\ln\left(\frac{0{,}69 - IVAS}{0{,}59}\right)}{0{,}91} \quad (5)$$

3.2.2.6 Emissividades

Para a obtenção da temperatura da superfície é utilizada a equação de Planck invertida, válida para um corpo negro. Como cada pixel não emite radiação eletromagnética como um corpo negro, existe a necessidade de introduzir a emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal ε_{NB}, qual seja: 10,4 – 12,5 µm. Segundo Allen et al. (2002), a emissividade ε_{NB}, Equação 6, pode ser obtida, para NDVI > 0 e IAF < 3, segundo:

$$\varepsilon_{NB} = 0{,}97 + 0{,}00331\ IAF \tag{6}$$

Para pixels com IAF≥3, $\varepsilon_{NB} = \varepsilon_0 = 0{,}98$. Para corpos de água (NDVI < 0), no caso do lago de Sobradinho e do leito do Rio São Francisco, Silva e Cândido (2004) utilizaram os valores de ε_{NB} = 0,99 e ε_0 = 0,985, conforme Allen et al. (2002).

3.2.2.7 Temperatura da Superfície (Ts)

Para a obtenção da temperatura da superfície são utilizadas a radiância espectral da banda termal $L_{\lambda,6}$ e a emissividade ε_{NB}, obtida na etapa anterior. Dessa forma, obtém-se a temperatura da superfície, em kelvin, Equação 7, pela seguinte expressão:

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\varepsilon_{NB} K_1}{L_{\lambda,6}} + 1\right)} \tag{7}$$

onde K_1 = 607,76 W.m^{-2}sr^{-1}µm^{-1} e K_2 = 1260,56 K são constantes de calibração da banda termal do Landsat 5 –T (Allen et al., 2002; Silva et al., 2005).

Ao final do processamento das imagens utilizadas, além da espacialização dos dados processados no formato de mapas, também foi utilizado o recurso de espacialização de dados obtidos em um transecto linear, permitindo sua visualização através de perfis, podendo os transectos traçados ser observado na Figura 3.

3.2.3 Estrutura vertical e Diâmetro da copa

Para o estudo das características estruturais da vegetação dos fragmentos florestais foi utilizado o Perfilamento Laser Aerotransportado, contratado pela Prefeitura da Cidade do Recife e imageado pela Empresa Engefoto no ano de 2013. Os dados foram coletados utilizando o sensor laser Optech Airbone Terrain Mapper, modelo ALTM Gemini 167, com densidade média de 5,51 pontos por m² (ENGEFOTO,

2013). Os dados foram disponibilizados no formato XYZ, contendo par de coordenadas dos pontos e valor de altura.

Para a obtenção do Modelo de Altura do Dossel (*Canopy Heigth Model*), os dados de elevação foram transformados em Altura ao Nível do Solo (AGL – *Above Ground Level*) através de módulos do programa *Quick Terrain Modeler* (*QT Modeler*). Para o Modelo de Terreno foram geradas análises com criação de grades regulares nas resoluções espaciais de 0,5, 1, 2, 3, 4 e 5 m. Ao final foram utilizadas as grades com resolução espacial de 1 e 2 m, tendo em vista a melhor adequação à realidade dos fragmentos florestais da área de estudo. O Modelo de Altura do Dossel utilizou esta mesma resolução espacial, com grades de 1 e 2 m.

Nesta etapa foi necessário que o modelo realiza-se a análise da nuvem de pontos e através da derivação da superfície do solo e do dossel superior individualize a árvore. Deste modo as arvores individualizadas são identificadas e mensuradas pelo Modelo de Altura do Dossel.

Posteriormente este dado é exportado no formato Geotiff para utilização no programa *Environment for Visualizing Images* (ENVI), onde através da ferramenta Band Math, pixels com valores anómalos e negativos são substituídos por valores que permitam ser identificados mais facilmente.

Através do processamento da nuvem de pontos com o programa TreeVaW foi possível realizar a medição de árvores individuais por meio da aplicação de um filtro baseado na relação entre o diâmetro da copa e a altura das árvores, derivadas através de um modelo de regressão, conforme observado em Popescu et al. (2003), Popescu e Wynne (2004), Popescu (2007) e Popescu e Zhao (2008).

Nesta pesquisa foi utilizada, inicialmente, a Equação 8 com os parâmetros propostos por Galvíncio e Popescu (2016), onde encontraram correlação entre a altura dos indivíduos arbóreos e o raio da copa derivada de um modelo de regressão, em estudo realizado no Parque dos Manguezais:

$$CW = hgt^{3} + 0{,}0213 \times hgt^{2} + 0{,}0019 \times hgt + 2{,}1913 \quad (8)$$

onde hgt é a altura, e os valores 0,0213, 0,0019 e 2,1913 são as constantes b1, b2 e b3 respectivamente. Posteriormente, foi realizada a obtenção de valores de altura e raio da copa de 150 pontos identificados e localizados dentro da área do Parque Estadual de Dois Irmãos conforme Popescu et al. (2011) e obtida a Equação 9 utilizada nesta pesquisa.

$$CW = hgt^{3} + 0{,}0072 \times hgt^{2} + 0{,}0269 \times hgt + 0{,}8323 \quad (9)$$

onde hgt é a altura, e os valores 0,0072, 0,0269 e 0,8323 são as constantes b1, b2 e b3 respectivamente derivadas de modelo de regressão correlacionando a altura e raio da copa. Os valores destas duas equações foram inseridos nos parâmetros de configuração do programa TreeVaW visando a calibração do modelo, sendo realizado o processamento dos dados para a identificação e individualização das árvores.

3.2.4 Organização do banco de dados vetorial e matricial

O banco de dados vetorial utilizado nesta pesquisa foi construído com dados fornecidos pelo banco de dados georreferenciados da Prefeitura da Cidade do Recife e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Do banco da Prefeitura foram utilizados os limites vetoriais de bairros, Região Político-Administrativo (RPA), Sistema Municipal de Unidades Protegidas (SMUP), Articulação de Imagens, Logradouros, rede de drenagem entre outros, obtidos através de acesso à página ESIG. Também foi utilizado o arquivo vetorial de edificações e matricial de Modelo Digital de Terreno e Elevação do Perfilamento Laser do ano de 2013/2014, permitindo a sua modelagem 3D e melhor visualização dos fenômenos.

O acesso ao banco de dados ftp do IBGE permitiu o *download* de banco de dados do CENSO IBGE dos anos de 1991, 2000 e 2010. Foram obtidos os arquivos vetoriais de setores censitários, dos limites municipais da Região Metropolitana do Recife (RMR) e dos limites estaduais, contidos no banco do Brasil ao Milionésimo. Os dados das tabelas com informações de população e domicílios particulares permanentes foram ligados através de *join* de tabelas com os dados vetoriais de setores censitários.

Visando a melhor visualização da distribuição da população no entorno dos fragmentos florestais, também foram utilizados os vetores da grade estatística disponibilizada pelo IBGE. A Grade Estatística permite a obtenção de informações sobre a população e o total de domicílios do Censo Demográfico 2010 para diversos recortes espaciais. Em áreas urbanas, ela apresenta uma resolução espacial de 200 m, o que, em alguns casos, permite uma melhor aproximação e análise de áreas que apresentam acidentes geográficos e/ou agrupamentos subnormais, por exemplo.

O Datum Horizontal de referência adotado foi o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas - SIRGAS 2000, sendo adotado como Datum Vertical, a Rede de Referência de Nível Nacional (RRNN) - Imbituba (SC). O Sistema de Projeção adotado foi o Universal Transversa de Mercator (UTM). Os dados utilizados

que apresentavam outros sistemas de referência foram projetados para o sistema SIRGAS 2000.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 INFLUÊNCIA DAS MODIFICAÇÕES ANTRÓPICAS NA QUALIDADE AMBIENTAL EM FRAGMENTOS FLORESTAIS DE MATA ATLÂNTICA EM ÁREA URBANA

Através de acesso ao banco de dados censitários do IBGE, foi possível observar o aumento na quantidade de habitantes nos bairros que contêm os fragmentos florestais estudados (Tabela 1) e outros fragmentos no entorno como a APA Engenho Uchoa e a UCN Mata do Barro. Nota-se como a soma da população destes bairros representam 13%, 15% e 15% da população total do município, para os anos de 1991, 2000 e 2010, respectivamente. Apenas o bairro de Areias apresentou diminuição da população para os três períodos analisados.

Os bairros que se destacam com a maior média de crescimento anual foram os de Sítio dos Pintos (crescimento de 2,54% ao ano), Caçote (2,19% ao ano) e o Curado (1,99% ao ano). Porém, o bairro do Caçote se destaca em virtude de apresentar a menor área, quando comparado aos demais bairros. Nota-se como este bairro apresenta o menor valor de renda média em comparação com os bairros estudados, caracterizando-o como uma área com ocupação mais carente.

Tabela 1 - Quantitativo de habitantes para os bairros em que estão localizados os fragmentos florestais na Cidade do Recife, para os anos de 1991, 2000 e 2010. FONTE: IBGE, Censo Demográfico de 1991, Censo Demográfico 2000 e Censo Demográfico 2010.

Bairro/ Microrregião	RPA	RM (R$) 2010	DD (hab/ha) 2010	Área (ha)	População				
					Censo			CA 2000-2010	TMGCA (%) 2000-2010
					1991	2000	2010		
Dois Irmãos	03	1.126,74	4,39	584,90	1.961	3.046	2.566	-480	-1,70
Sítio dos Pintos	03	1.140,44	40,49	179,68	4.004	5.660	7.276	1616	2,54
Guabiraba	03	672,86	1,37	4.617,03	4.940	7.318	6.330	-988	-1,44
Córrego do Jenipapo	03	661,82	150,74	61,34	8.190	8.602	9.246	644	0,72
Várzea	04	1.164,98	31,24	2.255,33	53.765	64.512	70.453	5941	0,88
Curado	05	760,99	20,56	798,47	11.867	13.481	16.418	2937	1,99
Areias	05	1.092,16	124,51	240,10	31.154	30.365	29.894	-471	-0,16
Caçote	05	658,12	227,89	45,94	4.755	8.427	10.470	2043	2,19
Barro	05	785,33	70,09	454,40	22.575	31.111	31.847	736	0,23
Ibura	06	713,97	49,69	1.018,71	37.842	43.681	50.617	6936	1,48
Recife			**70,38**	**21.849,10**	**1.310.260**	**1.422.905**	**1.537.704**	**114.799**	**0,78**

RPA = Regiões Político-Administrativas; RM = renda média; DD – densidade demográfica; CA = crescimento absoluto; TMGCA = taxa média geométrica do crescimento anual.

Os bairros de Dois Irmãos, Guabiraba e Areias apresentaram diminuição na população, com taxas médias geométricas de crescimento anual negativas. Os bairros da Guabiraba, Várzea e Ibura apresentam os maiores valores de área, porém, a infraestrutura influencia o padrão de ocupação da área. Os bairros da Várzea e Curado

apresentam os maiores valores de população, enquanto a Guabiraba apresenta valores baixos devido a uma menor disponibilidade de vias e, consequentemente, menor transporte público e rede de serviços e comércio que abastecem a população local.

As Figuras 8 e 9 permitem visualizar os locais onde a população reside e, consequentemente, exerce maior pressão na localidade, de acordo com os dados da grade estatística do IBGE. No entorno dos fragmentos florestais da Várzea, Curado e Jardim Botânico (Figura 8) nota-se como o entorno mais externo destas áreas apresenta grande ocupação, principalmente nas áreas mais ao norte e leste no fragmento da Várzea e ao sul do Jardim Botânico. Porém, destaca-se o bairro do Curado, onde a maior parte dos quadrantes apresenta valores de população superiores a 501 habitantes. Ainda é possível observar a ocupação do entorno da rodovia BR-232, com quadrantes que apresentam variação entre 1 e 250 habitantes.

Figura 8 - Distribuição da população no entorno dos fragmentos florestais da Várzea, Curado e Jardim Botânico, Recife-PE. Fonte: CENSO IBGE 2010. Organizado: O autor, 2018.

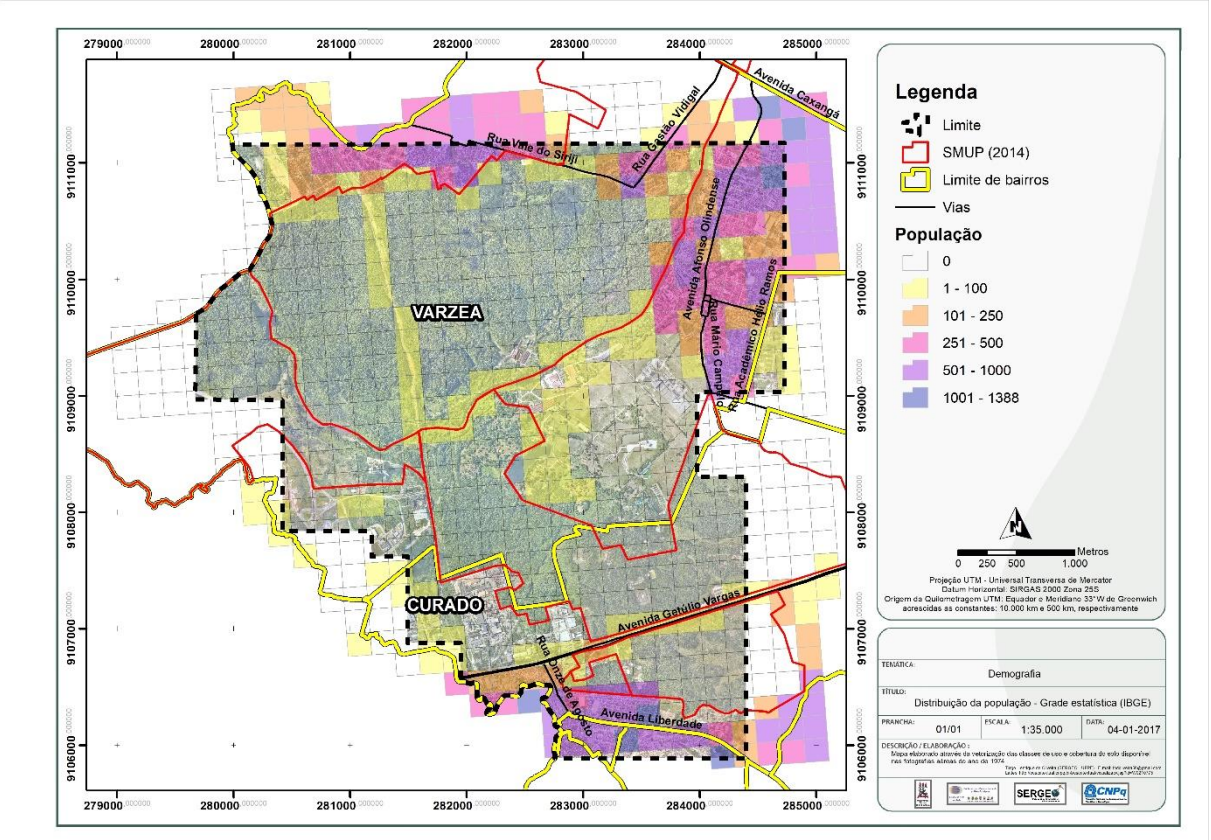
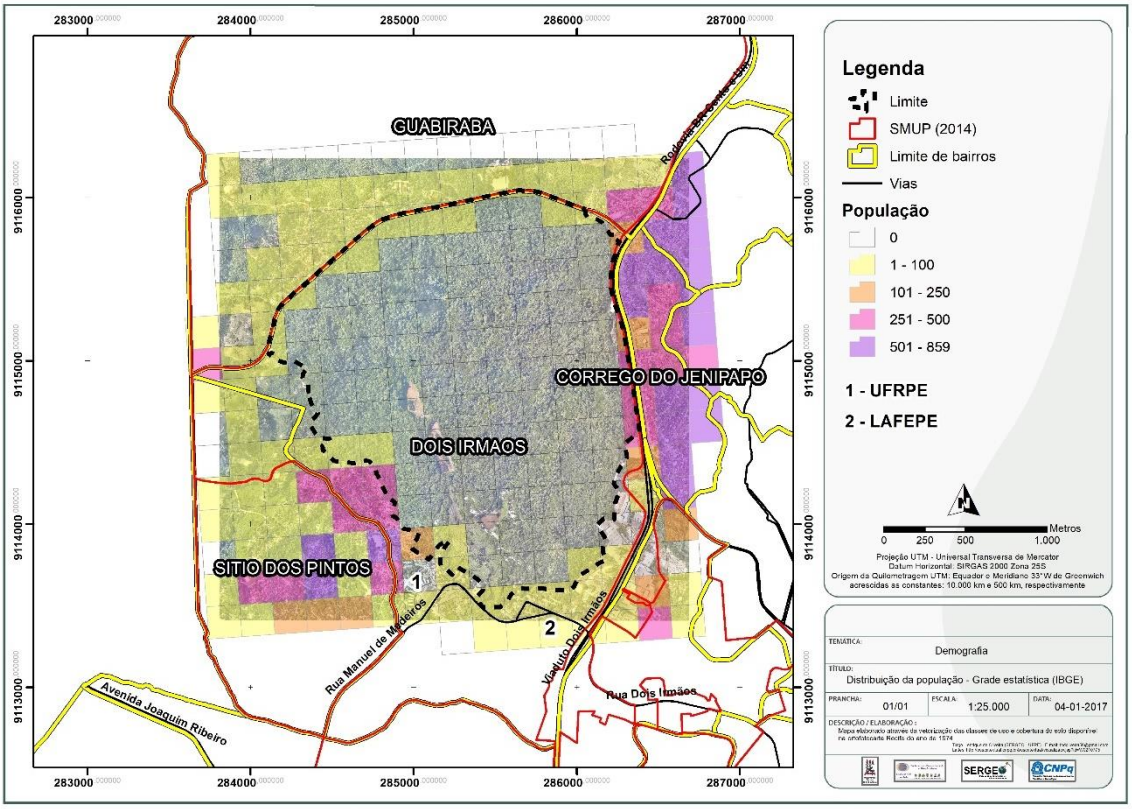


Figura 9 - Distribuição da população no entorno do fragmento florestal de Dois Irmãos, Recife-PE. Fonte: CENSO IBGE 2010. Organizado: O autor, 2018.

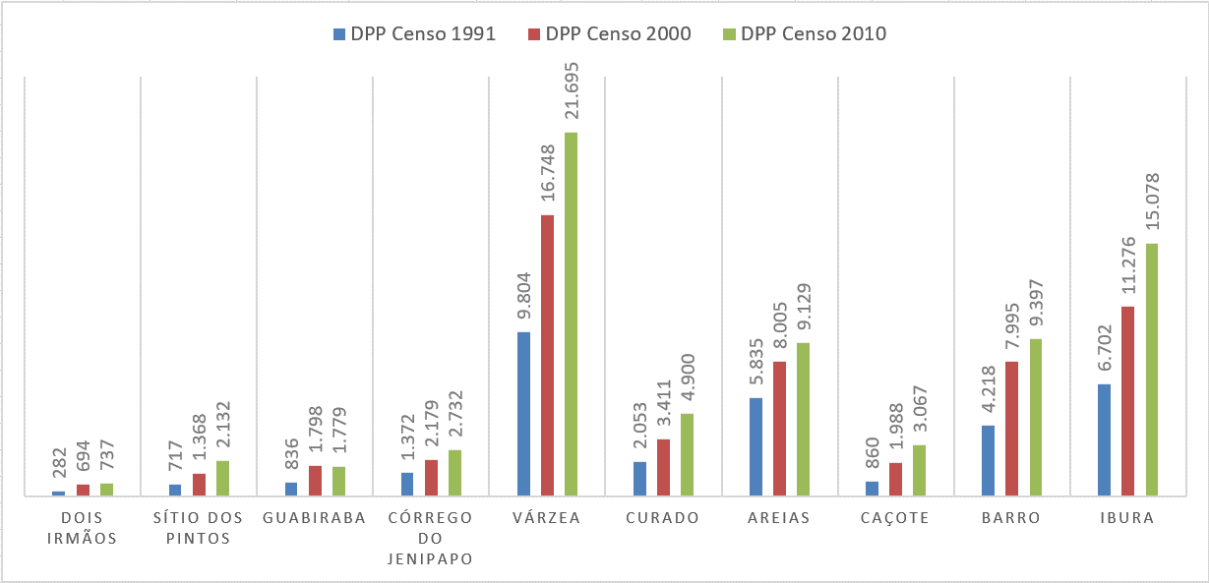


Considerando o fragmento florestal de Dois Irmãos (Figura 9), é observado que a maior concentração da população está localizada nos bairros de Córrego do Jenipapo e Sítio dos Pintos, apresentando quadrantes com número de habitantes superiores a 501. Também é visualizado que a área mais ao norte do fragmento florestal apresenta ocupações, o que pode representar maiores dificuldades para a incorporação de novas áreas ao Parque Ecológico de Dois Irmãos.

A área mais ao sul também apresenta menor ocupação devido a quantidade de órgãos e instituições públicas, como o Laboratório Farmacêutico de Pernambuco (LAFEPE) e a Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Também é observado à leste do Parque Ecológico, vários quadrantes apresentando ocupação variando entre 251 e 500 habitantes.

O aumento da população se reflete na quantidade de edificações que são construídas ao longo dos anos para utilização habitacional ou não habitacional (Figura 10). Quando o aumento na quantidade de edificações não é acompanhado pelo poder público, vão surgindo problemas ambientais decorrentes da ausência de planejamento, como o acúmulo de lixo em determinados locais e o despejo de esgotamento sanitário em logradouros públicos.

Figura 10 - Variação temporal de Domicílios Particulares Permanentes (DPP) para os anos de 1991, 2000 e 2010, Recife-PE. Fonte: Autor, 2018



Bairros como os da Várzea, Curado e Guabiraba duplicaram a quantidade de Domicílios Particulares Permanentes (DPP) nas últimas três décadas. Mais uma vez, destacam-se o bairro do Caçote e o bairro de Sítio dos Pintos, que triplicaram a quantidade de DPP nas últimas três décadas. Em alguns casos, a disponibilidade de terrenos ociosos com ausência de informação sobre a propriedade acaba por serem reivindicados por grupos que buscam locais para a implantação de moradias, o que acaba por provocar ou agravar diversos problemas ambientais, como citado anteriormente.

4.1.1 Evolução do Uso e Ocupação do solo para os Fragmentos Florestais da Várzea, Curado e Jardim Botânico

Através da utilização de fotografias aéreas e imagens da série Landsat foi possível visualizar espacialmente as mudanças de uso e cobertura do solo no entorno dos fragmentos florestais de Dois Irmãos, Várzea, Curado e Jardim Botânico de forma quantitativa e qualitativa. Observando as figuras 11 e 12 é possível visualizar o mapa de uso e cobertura do solo para o entorno das matas da Várzea, Curado e Jardim Botânico, Recife-PE, para os anos de 1974 e 2013, respectivamente.

Nota-se o aumento na área urbana no entorno das matas, principalmente na área ao norte da Mata da Várzea e ao sul no Jardim Botânico. Também é possível observar o aumento na quantidade de galpões e industrias na região do Complexo Industrial do

Curado. Os maiores fragmentos apresentaram um maior desenvolvimento, o que permitiu em casos como na mata do Curado e Várzea o crescimento de novos indivíduos, recomposição de áreas desmatadas e união entre fragmentos. No caso do fragmento do Jardim Botânico é observado que quase todo o fragmento está atualmente circundado por construções, o que pode vir a afetar a sua ligação com outros fragmentos caso venha a ocorrer novas ocupações, Figura 12.

Além disto, fenômenos como o de efeito de borda e/ou mesmo a utilização de trilhas no interior do fragmento pode leva-lo a desestabilização devido à pressão provocada pela população. Para Oliveira et al. (2011) este tipo de utilização impede que novos indivíduos vegetais venham a surgir nestas áreas e tenham oportunidade de se desenvolver em consequência de uma maior interferência da população local, como no caso da mata da Várzea, que passou a contar com uma maior preservação através do impedimento da utilização antrópica com a implantação de cercas.

Silva e Molinari (2017) analisando os aspectos fitossociológicos de cinco fragmentos florestais situados entre as zonas leste e norte da cidade de Manaus-AM observaram o isolamento de diversos fragmentos e a vulnerabilidade ambiental em virtude da pressão antrópica.

Figura 11 - Mapa de uso e cobertura do solo das matas da Várzea, Curado e Jardim Botânico, Recife-PE, para o ano de 1974. Fonte: Autor, 2018

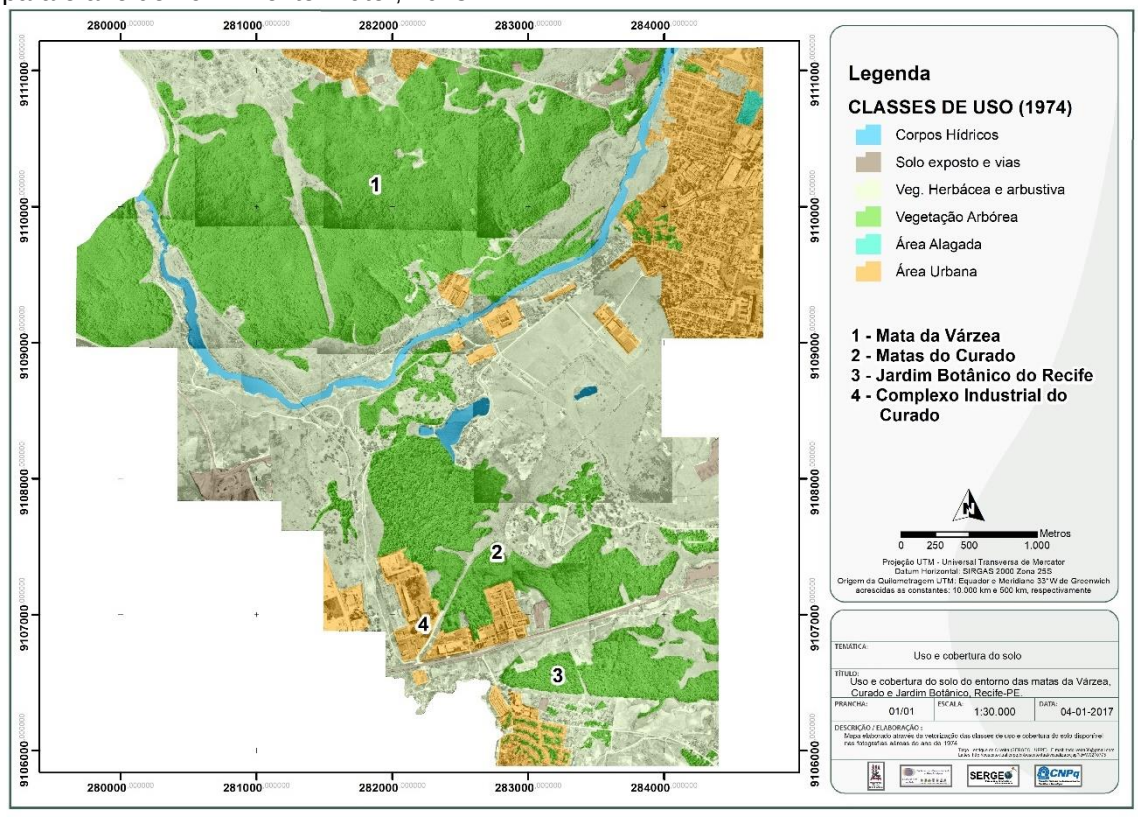
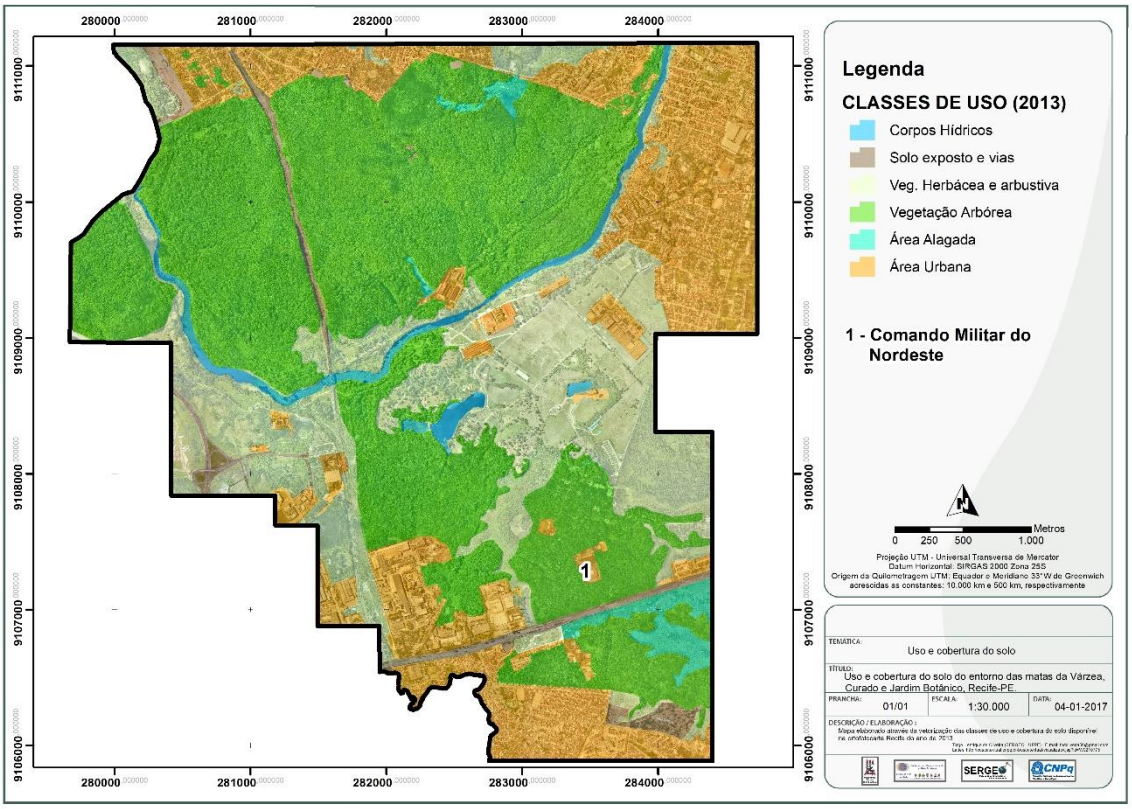


Figura 12 - Mapa de uso e cobertura do solo das matas da Várzea, Curado e Jardim Botânico, Recife-PE, para o ano de 2013. Fonte: Autor, 2018



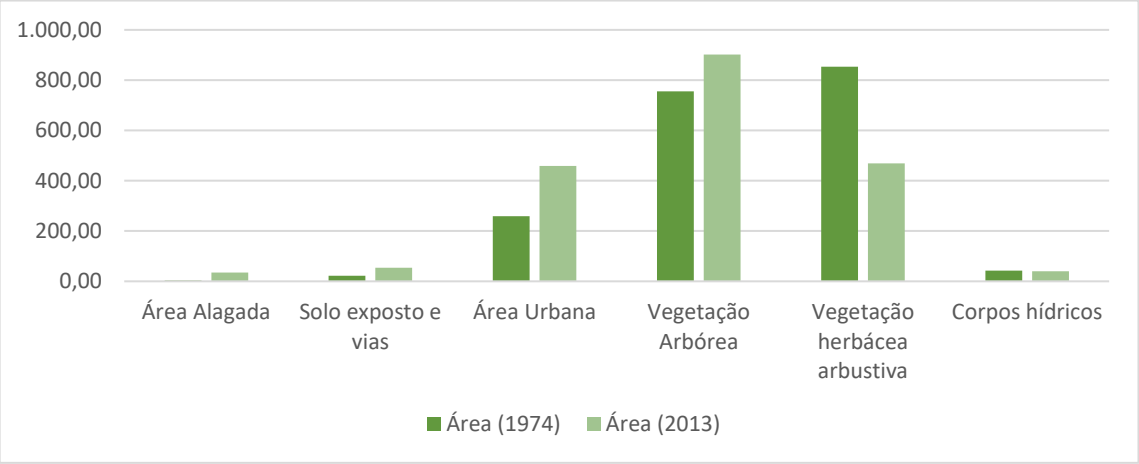
Costa (2004, p. 68), em estudo realizado na região de Piracicaba (SP) com mosaicos de fotografias aéreas, mostra a redução das áreas verdes como resultado do elevado crescimento urbano entre os anos de 1960 e 1990. A mesma afirma que a partir de 1980 aumentou a necessidade de “se investir em áreas verdes dentro da área urbana consolidada e na preservação dos locais naturais do entorno urbano” na região voltadas a melhoria das condições ambientais local.

Vieira e Biondi (2008) verificaram uma diminuição da cobertura vegetal do município de Curitiba, que passou a ocupar de 39% para 30% do território entre os anos de 1986 e 2004. Esta diminuição ocorreu como resultado do processo de crescimento urbano verificado em todas as regionais administrativas do município.

Também foi observado a implantação do Comando Militar do Nordeste (CMNE) no interior de um dos fragmentos florestais do Curado em 1979. Mesmo passando a gozar de uma maior proteção, como citado por Guimarães et al. (2012a-b), a implantação desta edificação no núcleo do fragmento vem a provocar modificações no padrão de temperatura e umidade no interior do fragmento podendo influenciar na estabilização do fragmento.

A resolução espacial proporcionada pelas fotografias aéreas permitiu observar a diminuição de quintais e pequenas áreas naturais, com presença de vegetação de porte arbóreo, em alguns locais da área urbana. Através da Figura 13 é possível observar a variação nos valores de uso e cobertura do solo, em hectare, para o entorno das Matas da Várzea, Curado e Jardim Botânico.

Figura 13 - Valores de uso e cobertura do solo das áreas das Matas da Várzea, Curado e Jardim Botânico, Recife-PE. Fonte: Autor, 2018.



É possível observar o crescimento da área urbana, que em 1974 ocupava uma área de 258 ha e passou a ocupar uma área superior a 450 ha. Também foi observado o aumento de aproximadamente 150 ha na classe de vegetação de porte arbórea. A classe de vegetação herbácea arbustiva foi a única classe mapeada a diminuir espacialmente, sendo substituída por vegetação de porte arbórea e área urbana, apresentando um decréscimo de mais de 350ha entre os anos de 1974 e 2013.

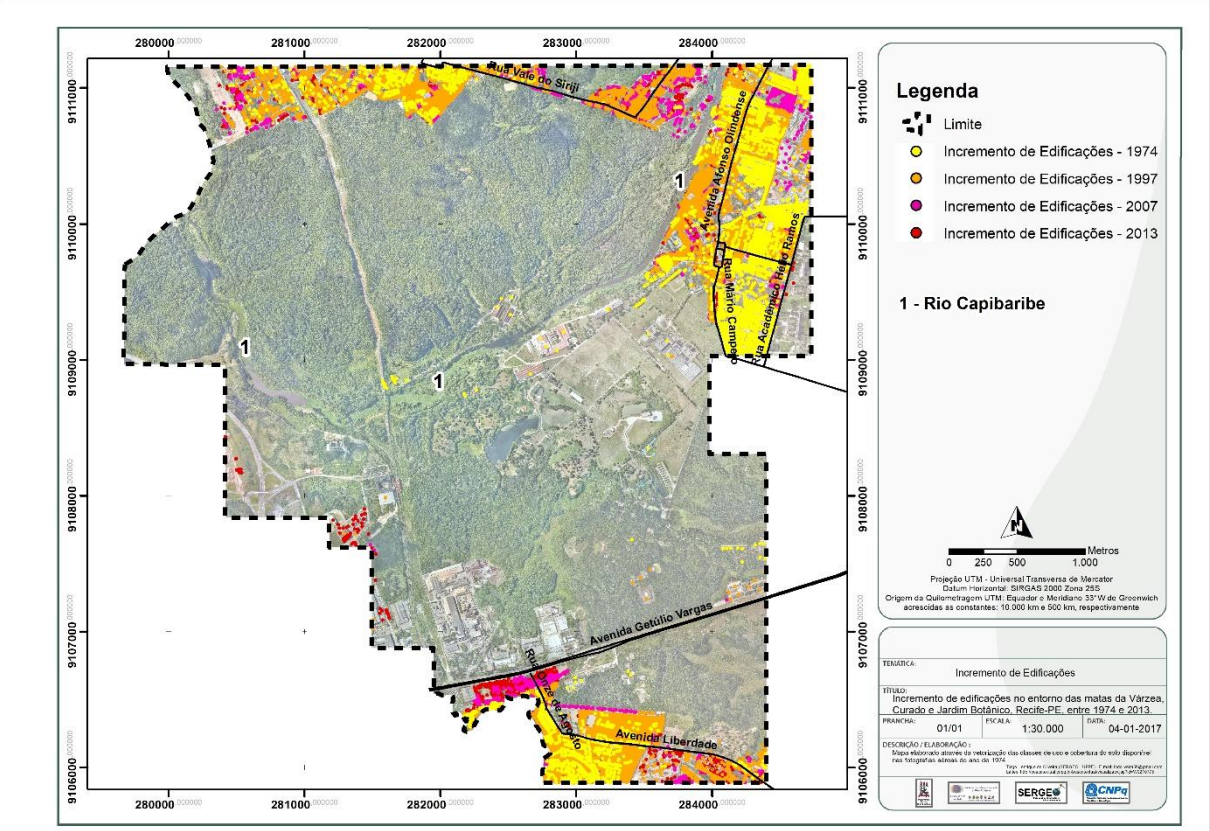
A Figura 14 mostra a evolução temporal da quantidade de construções para a área de entorno das matas da Várzea, Curado e Jardim Botânico para os anos de 1974, 1997, 2007 e 2013. No ano de 1974 foram contabilizadas 5.042 edificações através da realização de analise visual. Considerando os demais anos foram contabilizados um incremento de 7.820 edificações para o ano de 1997, 1.571 para o ano de 2007 e 991 para o ano de 2013.

Nota-se como nos últimos anos as áreas mais periféricas das antigas construções e de bordas de fragmentos ou de rios foram sendo ocupadas sistematicamente, influenciado principalmente pela grande ocupação verificado entre os anos de 1974 e 1997 o que tornou as áreas mais internas mais escassa e consequentemente mais valorizadas economicamente. Atualmente, destaca-se a

ocupação localizada as margens da BR-232 próximas ao fragmento florestal do Jardim Botânico.

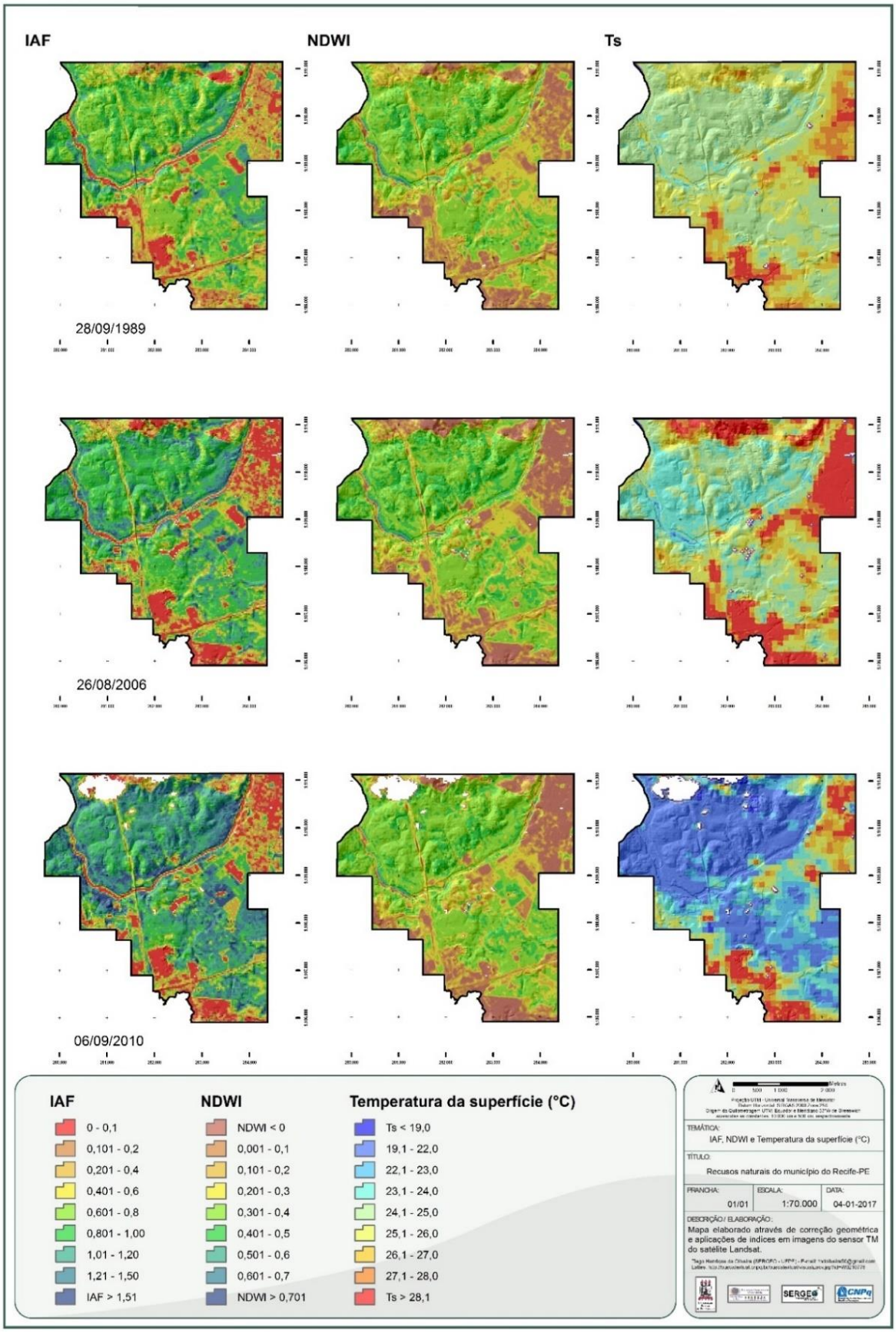
A cada mosaico utilizado é verificado a maior aproximação das edificações no entorno dos fragmentos florestais. Todos estes dados corroboram com as informações obtidas através da análise do banco de dados de informações censitárias do IBGE. Contudo pode-se afirmar que as áreas que apresentam as maiores vulnerabilidades a novas ocupações estão localizadas na região leste da imagem, próximo ao rio Capibaribe e nas áreas da margem da BR-232.

Figura 14 - Evolução espaço temporal da quantidade de construções no entorno das matas da Várzea, Curado e Jardim Botânico, Recife-PE, entre os anos de 1974 e 2013. Fonte: Autor, 2018.



A Figura 15 permite a realização da análise qualitativa da condição ambiental da vegetação ao longo das últimas décadas através do Índice de Área Foliar, Índice de Umidade e Temperatura da superfície para as áreas dos fragmentos florestais e para a área urbana. Foi observado aumento nos valores de IAF dos fragmentos florestais para as imagens utilizadas o que vem a comprovar o aumento na densidade da vegetação permitindo que áreas com clareiras e ou trilhas fossem reocupadas pela vegetação, exibindo valores de IAF superiores a 1,20.

Figura 15 - Valores de IAF, NDWI e Temperatura da superfície para os anos de 1989, 2006 e 2010 das matas da Várzea, Curado e Jardim Botânico, Recife-PE. Fonte: Autor, 2018.



No caso da Mata da Várzea a área que apresentou regeneração da vegetação na imagem de setembro de 1989, área localizada mais a sudeste do fragmento próximo ao rio Capibaribe, apresentando valores de IAF superiores a 1,20. Esta área era utilizada para práticas de agricultura ou pastagem pela população local, sendo posteriormente impedida estas práticas neste local. Para os três períodos analisados esta área apresentou os maiores valores de densidade de área foliar e consequentemente valores mais altos de umidade e temperatura da superfície mais amenas.

Nota-se mais facilmente o aumento da área urbana no entorno dos fragmentos para as imagens utilizadas, o que ocasionou a diminuição da cobertura vegetal em algumas áreas, exibindo, predominantemente, valores de IAF inferiores a 0,2, de NDWI inferiores a 0 e temperaturas da superfície superiores a 28ºC. Costa et al. (2013) realizando um diagnostico e caracterização das áreas que vêm sofrendo as consequências do uso do solo para fins urbanos observaram a supressão de vegetação e ocupação de áreas de nascentes e planícies de inundação ao longo dos anos estudados.

Considerando a temperatura da superfície é perceptível como a mata da Várzea apresenta valores de temperaturas mais homogêneas quando comparado com as matas do Curado e do Jardim Botânico. Isto se deve provavelmente devido a diferença de tamanho e a forma dos fragmentos florestais. Porém é perceptível o aumento da área ocupada pela população nos três índices utilizados. Estudos realizados por diversos autores em diversos municípios e capitais brasileiras, seja por análise de imagens de satélite ou por fotografias aéreas georreferenciadas, demonstraram a gradativa diminuição da cobertura vegetal em virtude, na maioria dos casos, pela falta ou não cumprimento de planejamento público adequado à expansão e adensamento urbano (VIEIRA e BIONDI, 2008; MACHADO et al., 2010).

Paula, Pimentel e Ferreira (2016) objetivando identificar as respostas térmicas em relação ao seu uso e ocupação da terra no perímetro urbano de Juiz de Fora concluíram que baixos índices vegetativos estão atrelados a intervalos de temperatura mais elevados. Já os fragmentos florestais apresentaram-se como ilhas de amenidade. Silva e Leite (2017b) realizaram pesquisas visando entender o comportamento da temperatura de superfície na bacia do rio Jatobá, Minas Gerais, diante da conversão de áreas de Cerrado à Pastagem verificaram, ao longo de 31 anos, acréscimo na temperatura de superfície da bacia diante das conversões.

Silva, Delgado e Wanderley (2018) em trabalho que teve por objetivo calcular a temperatura da superfície continental, através do sensor Thermal Infrared Sensor (TIRS) acoplado ao satélite LANDSAT nas imediações do município de Cruzeiro do Sul, AC, observaram aumento da temperatura da superfície na área de estudo em decorrência da retirada dos componentes da paisagem natural para processos de urbanização e conversão de áreas para pecuária.

4.1.2 Evolução do Uso e Ocupação do solo para o Fragmento Florestal de Dois Irmãos

Para o fragmento florestal de Dois irmãos a situação se apresenta mais complicado devido ao rápido desenvolvimento da área urbana no entorno de todo o fragmento, Figuras 16 e 17, fato que pode ser bem observado através de visualização do bairro de Sítio dos Pintos, parte sudoeste do fragmento e da comunidade da Estrada dos Macacos, ao norte do fragmento de Dois Irmãos. Bezerra (2006) afirma que no caso da mata de Dois Irmãos, apesar de representar uma unidade de conservação, vem sendo degradada com maior intensificação dos processos e agravos ambientais no decorrer dos últimos anos. Para o autor a construção do anel viário da BR 101 se constituiu como a primeira grande degradação da mata de Dois Irmãos.

Para Weber e Rezende (1998), a proximidade da rodovia se constitui na principal ameaça à mata. Esta alteração da porção Leste da mata foi responsável pela retirada de grandes parcelas de terra, favorecendo o processo erosivo. A implantação da rodovia favoreceu também a ocupação desta porção do entorno, por parte da população de baixa renda, propiciando assim, o avanço do desmatamento das bordas da mata. Deste modo Bezerra (2006) afirma que os tipos de uso deste espaço por parte das comunidades do entorno, trazem, de alguma maneira, sérios riscos ao funcionamento equilibrado do geossistema.

Também foi possível observar a diminuição de áreas com vegetação de porte arbóreo a oeste da Mata de Dois Irmãos. A região mais à sudeste do fragmento que apresentava em 1974 predominância de solo exposto passou por consolidação com a implantação de empreendimentos institucionais e com algumas transportadoras, passando a ser classificada como área urbana em 2013.

Figura 16 - Mapa de uso e cobertura do solo da Mata de Dois Irmãos, Recife-PE, para o ano de 1974.
Fonte: Autor, 2018

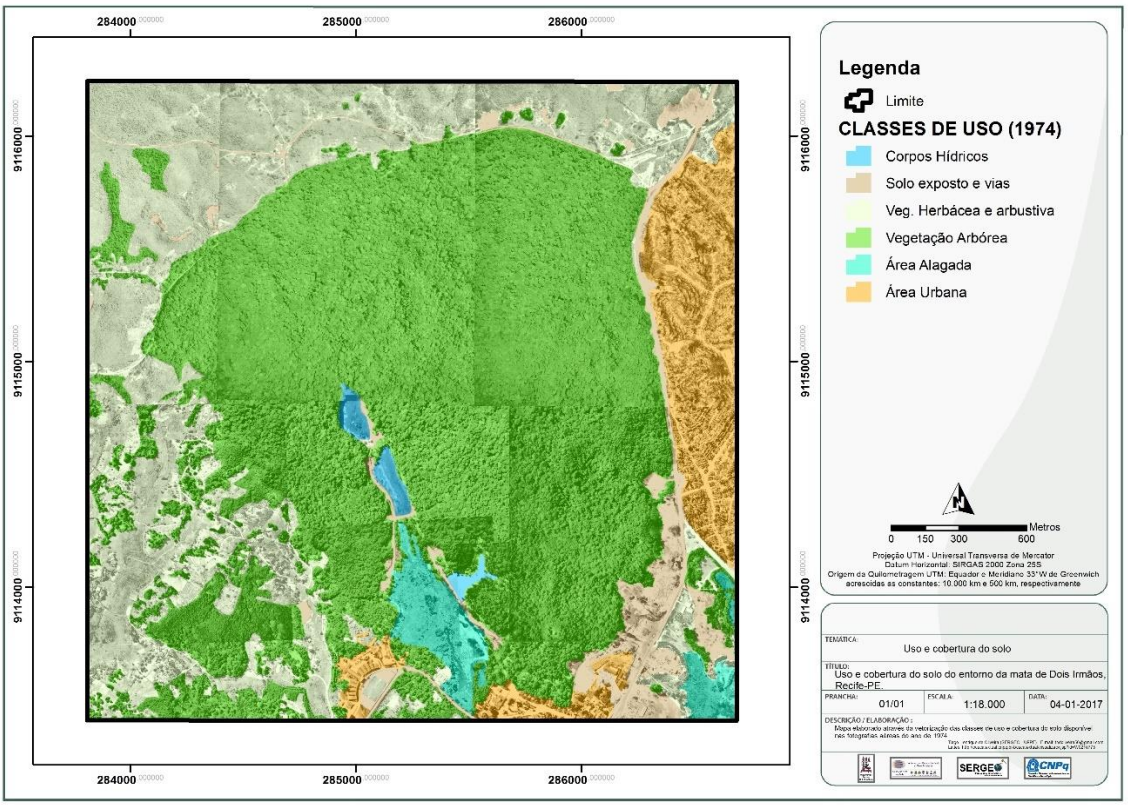
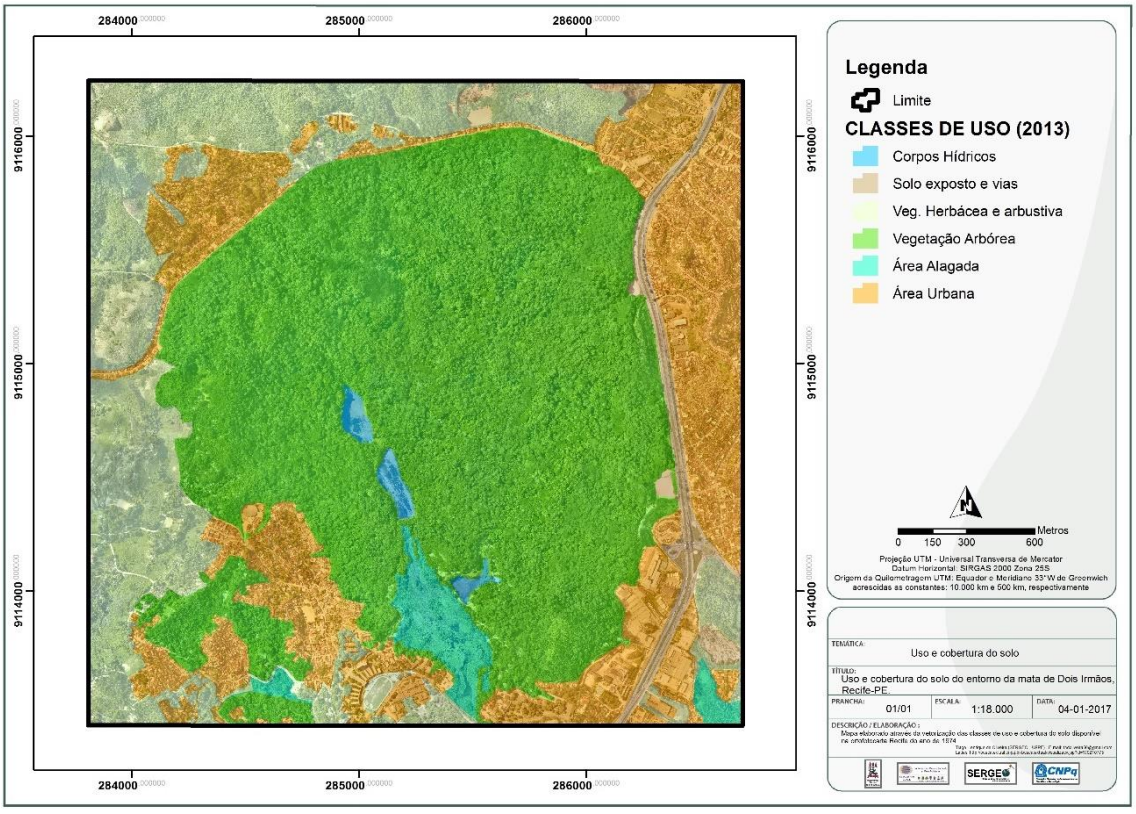


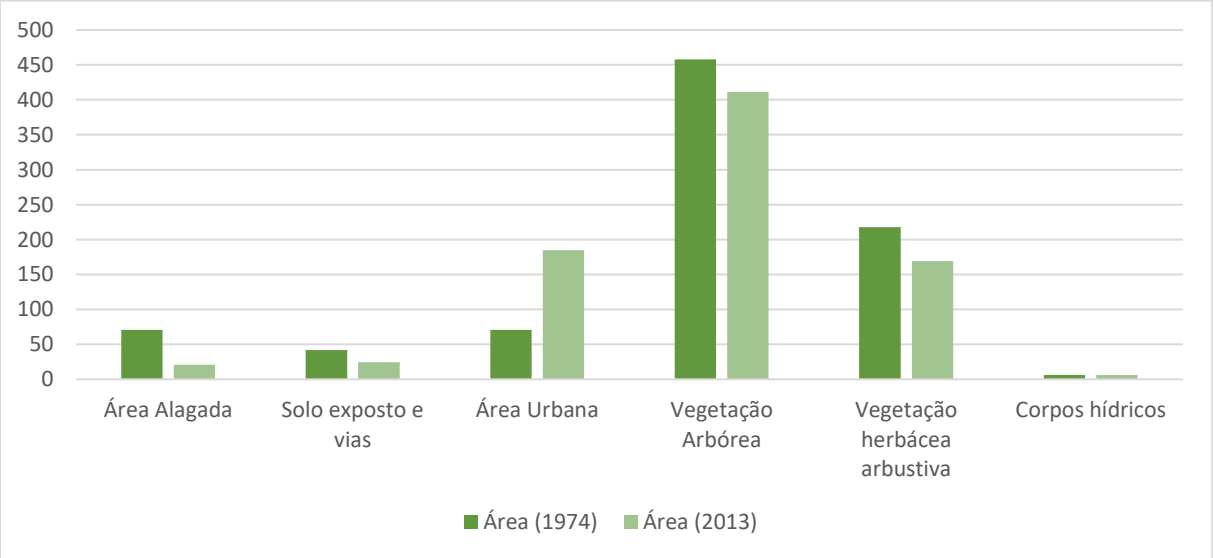
Figura 17 - Mapa de uso e cobertura do solo da Mata de Dois Irmãos, Recife-PE, para o ano de 2013.
Fonte: Autor, 2018



A parte leste e sudeste do fragmento florestal de Dois Irmãos apresenta áreas com declividade elevadas o que em alguns casos tem apresentado processo de ravinamento e movimento de massa.

Através do gráfico da Figura 18 foi possível observar a evolução dos valores do uso e cobertura do solo (ha) sendo verificado o grande aumento no valor de área urbana, passando de 70 ha em 1974 para um pouco mais de 180 ha em 2013. As demais classes apresentaram diminuição de valores, com exceção da classe de corpos hídricos que se manteve estável. Para a classe de vegetação de porte arbóreo a diminuição foi influenciada pela diminuição de pequenas áreas que apresentava vegetação de porte arbóreo por área urbanizada em alguns casos, principalmente na região do bairro de Sítio dos Pintos. A diminuição da área de solo exposto, como explicado anteriormente, ocorreu devido a implantação de empreendimentos em alguns locais.

Figura 18 - Valores de uso e cobertura do solo das áreas da Mata de Dois Irmãos, Recife-PE.

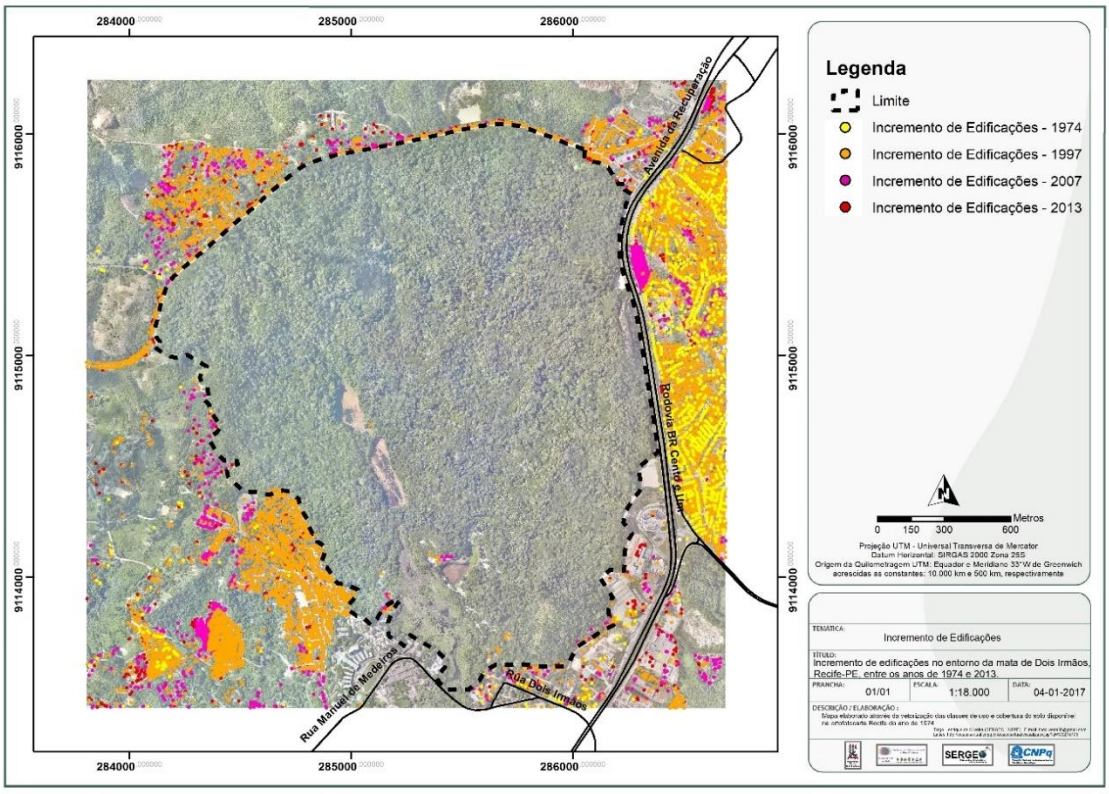


Através da Figura 19 foi observado a variação da quantidade de construções ao longo do período estudado sendo verificado que entre os anos de 1974 e 1997 ocorreu um grande incremento na quantidade de edificações. É possível perceber como o bairro de Sítio dos Pintos apresenta uma elevada quantidade de construções neste período, o que corrobora com a quantidade de pessoas morando no bairro segundo os dados dos CENSOS.

Nos últimos anos é possível verificar uma ampliação de construções em áreas mais periféricas dos núcleos de ocupação estabelecidos. Com relação à quantidade

de construções, foi contabilizado que o ano de 1974 apresentou 1.132 construções, com incremento de 4.559 edificações em 1997, 1.101 em 2007 e 361 em 2013.

Figura 19 - Evolução espaço temporal da quantidade de construções no entorno da mata de Dois Irmãos, Recife-PE, entre os anos de 1974 e 2013. Fonte: Autor, 2018

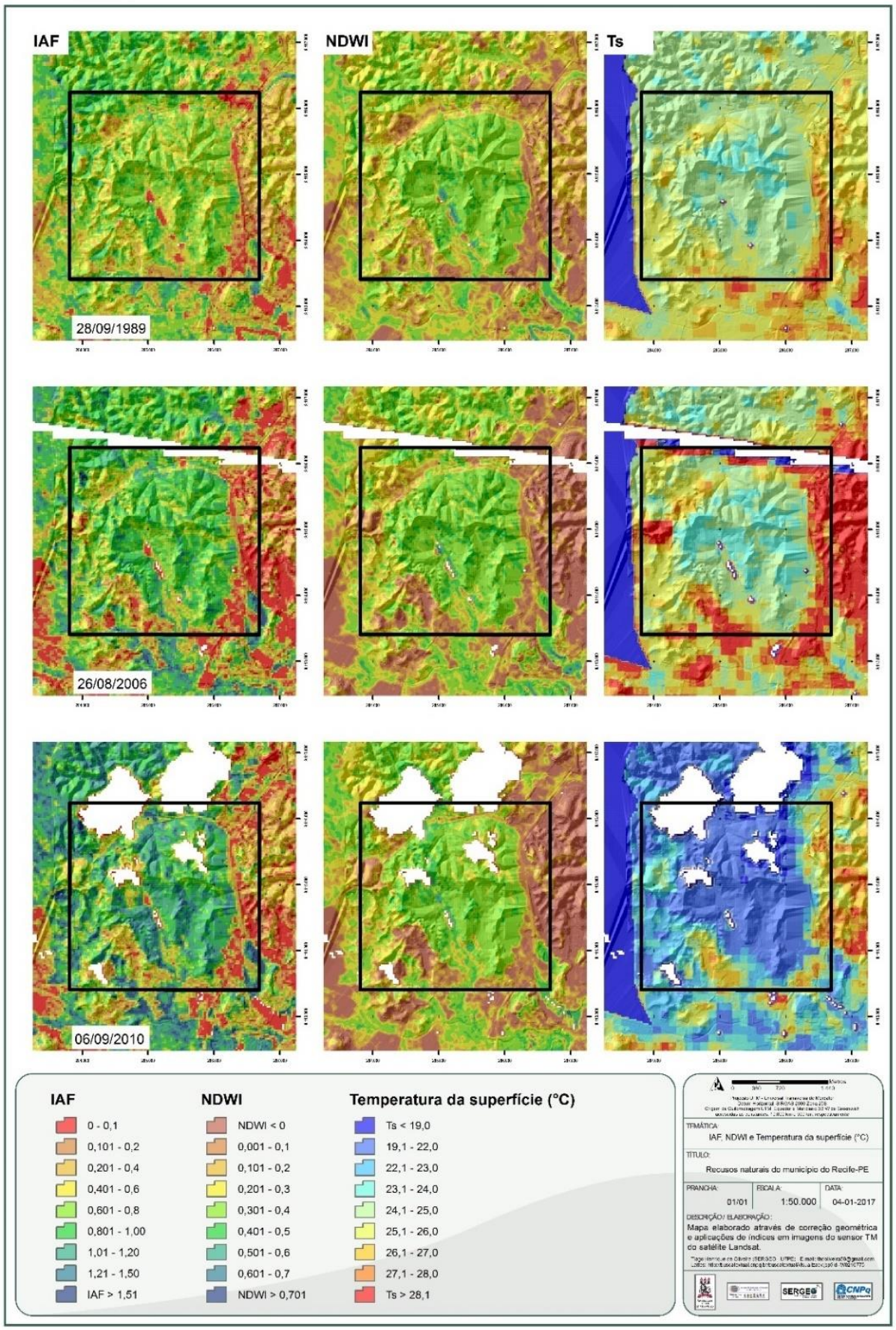


Coutinho e Cecílio (2014) especializando e integrando fatores de risco seguindo da representação e avaliação da vulnerabilidade ambiental da Reserva Biológica de Sooretama – ES constataram os problemas e as áreas que apresentavam as maiores vulnerabilidades no entorno do fragmento florestal.

Todos os fenômenos citados anteriormente são observados através da aplicação do Índice de Área Foliar, Índice de umidade e temperatura da superfície (Figura 20). Foi visualizado que o aumento da ocupação humana no entorno do fragmento florestal promoveu uma diminuição nos valores dos índices de umidade e na área foliar e consequentemente aumento nos valores de temperatura da superfície. Assim o fragmento de Dois irmãos apresenta-se como uma ilha de amenidade, apresentando aumento da densidade na vegetação com o passar dos anos.

Também foi observado variação de valores em áreas no interior do fragmento o que pode ser explicado pela maior restrição de acesso ao interior das matas. Algumas destas áreas apresentavam valores de IAF classificados entre 0,401 a 0,60 na imagem de 1989 e passou a exibir valores superiores a 1,00 em 2010.

Figura 20 - Valores de IAF, NDWI e Temperatura da superfície para os anos de 1989, 2006 e 2010 da mata de Dois Irmãos, Recife-PE. Fonte: Autor, 2018



Visando melhor observar os contrastes da temperatura da superfície e umidade em áreas vegetadas e urbanizadas foram elaborados gráficos de transectos lineares traçados em três áreas da cidade, Figura 3. Os gráficos das Figuras 21 e 22 são relativos ao transecto linear 1 para as imagens Landsat de 1989 e 2010, que apresenta o ponto inicial no bairro de Sítio dos Pintos ao bairro de Cajueiro. Os gráficos das Figuras 23 e 24 são relativos ao transecto linear 2 que se inicia na Mata da Várzea até o bairro do Recife.

Observando o transecto linear 1, entre os bairros de Sítio dos Pintos e Cajueiro (Figuras 21 e 22), é visível as diferenças nos valores de temperatura e umidade para as áreas vegetadas e áreas urbanizadas. Para as áreas urbanas nos bairros da zona norte, à medida que a vegetação foi diminuindo espacialmente os valores de temperatura da superfície foi aumentando, passando a apresentar temperaturas médias próximos ou superiores a 28°C em 2010. Já os valores de umidade e área foliar foram diminuindo.

Figura 21 - Representação do Transecto linear 1 (T1) para a imagem de 28 de setembro de 1989 entre os bairros de Sítio dos Pintos e Cajueiro. Fonte: Autor, 2018

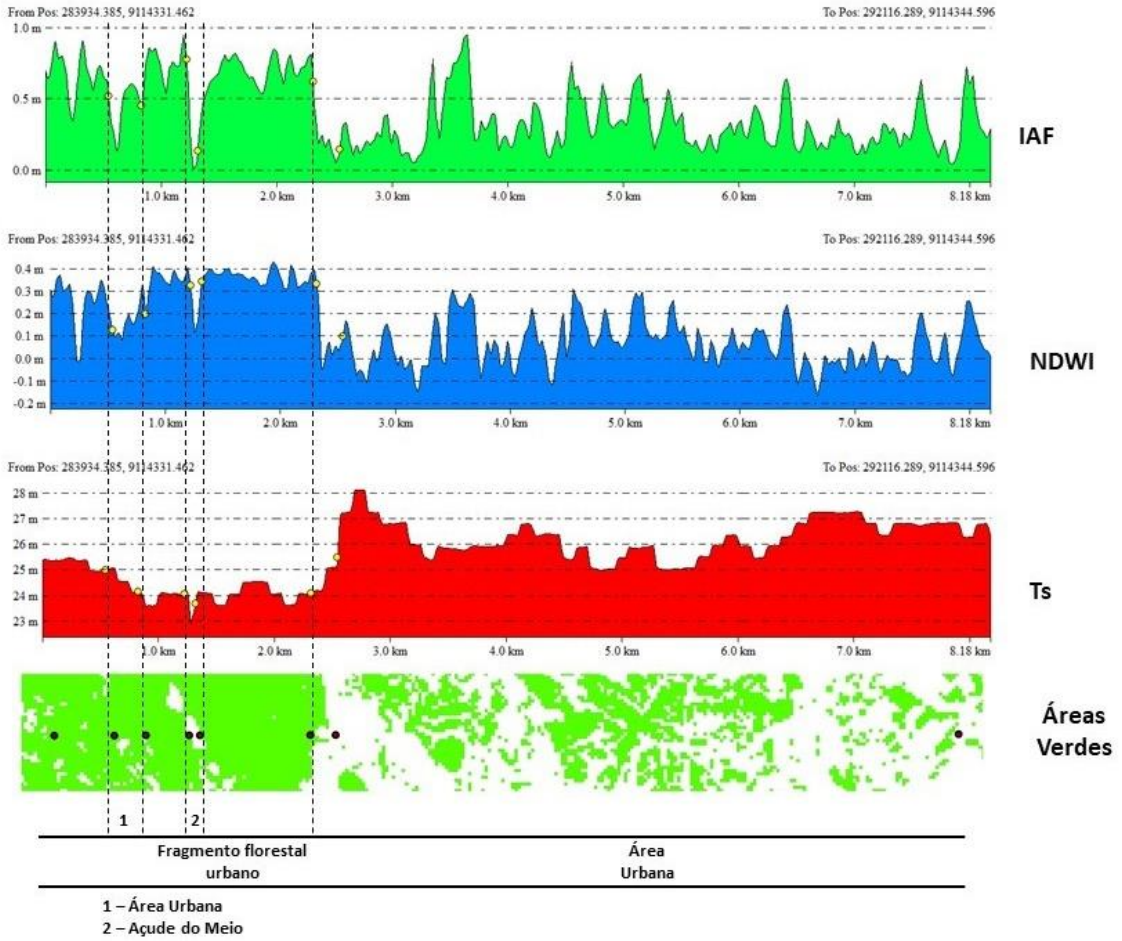
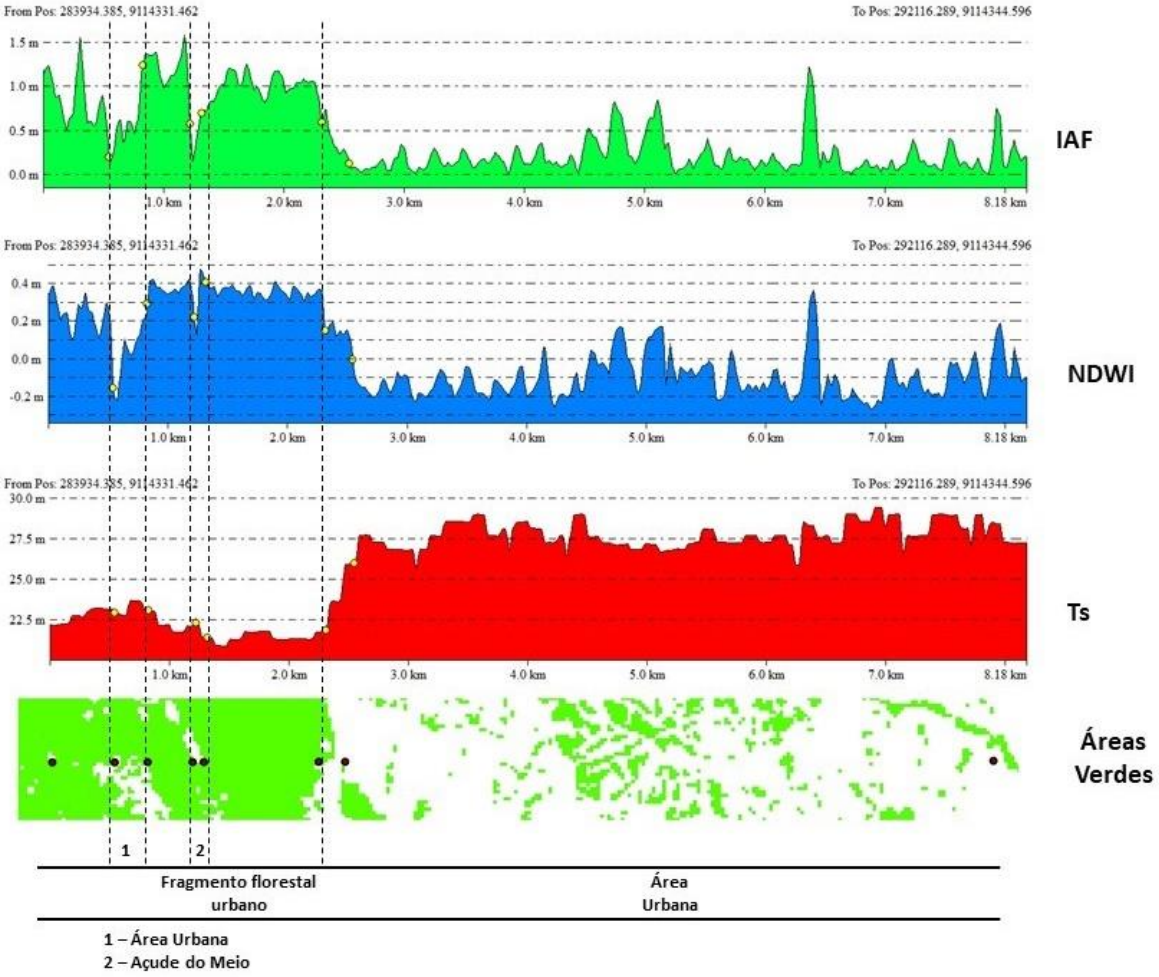


Figura 22 - Representação do Transecto linear 1 (T1) para a imagem de 6 de setembro de 2010 entre os bairros de Sítio dos Pintos e Cajueiro. Fonte: Autor, 2018



Para o fragmento florestal de Dois Irmãos os valores de temperatura da superfície se apresentaram mais amenas quando comparado a área urbana enquanto que os valores de umidade e área foliar se apresentaram mais elevados.

Para o transecto 2 (Figuras 23 e 24) foi possível observar claramente o aumento da amplitude térmica entre os anos utilizados vindo a apresentar uma variação de 9°C para a imagem de setembro de 2010, entre o fragmento florestal e as áreas mais urbanizadas. Nota-se uma leve diminuição na temperatura da superfície na área da Universidade Federal de Pernambuco, devido a maior quantidade de vegetação presente no campus e distanciamento entre as edificações. Os valores de NDWI e IAF apresentam valores elevados nos fragmentos florestais e em áreas mais vegetadas e acentuada diminuição nas áreas urbanas, como pode ser visualizado na parte de classificação de área com vegetação na representação do transecto.

Na última parte do transecto é possível observar que a área do bairro do Recife, tocado pelo transecto apresenta ausência de vegetação refletindo na ausência de valores de IAF. Observando os transectos das Figuras 23 e 24 é visualizada a diminuição nos valores de IAF no maior trecho de área urbana (entre 5 e 10km), enquanto que no trecho de área urbana localizada no bairro da Várzea (entre 3 e 4km) apresenta valores de IAF maiores, devido a maior disponibilidade de vegetação em quintais e em logradouros públicos.

Estudos como os realizados por Dacanal et al. (2010) comparando o microclima de cinco bosques públicos do município de Campinas – SP com dados da estação meteorológica concluiu que a vegetação densa e estratificada foi capaz de atenuar a temperatura do ar e manter a velocidade do ar mais baixa.

Figura 23 - Representação do Transecto linear 2 (T2) para a imagem de 28 de setembro de 1989 entre a Mata da Várzea e o bairro do Recife. Fonte: Autor, 2018

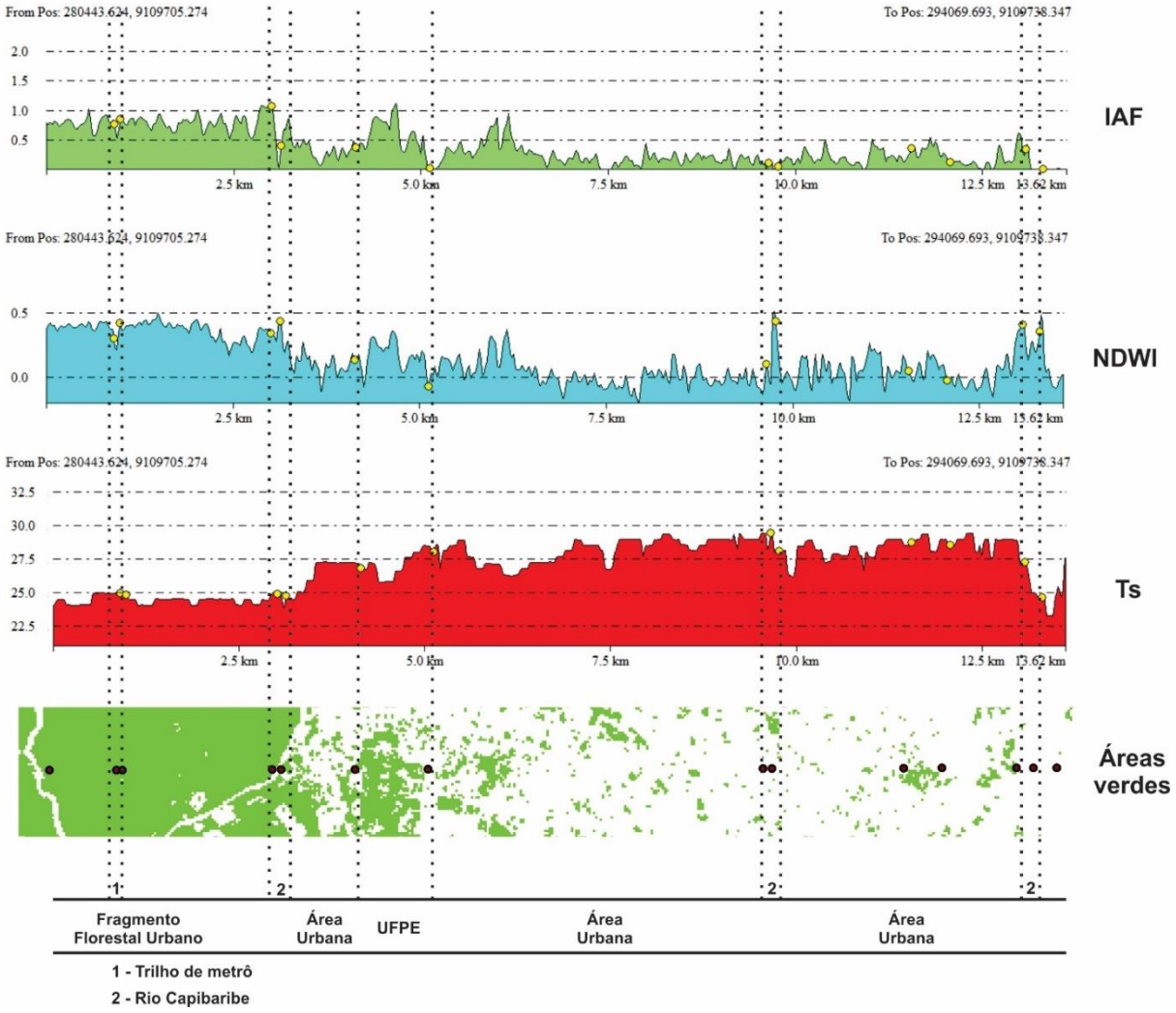
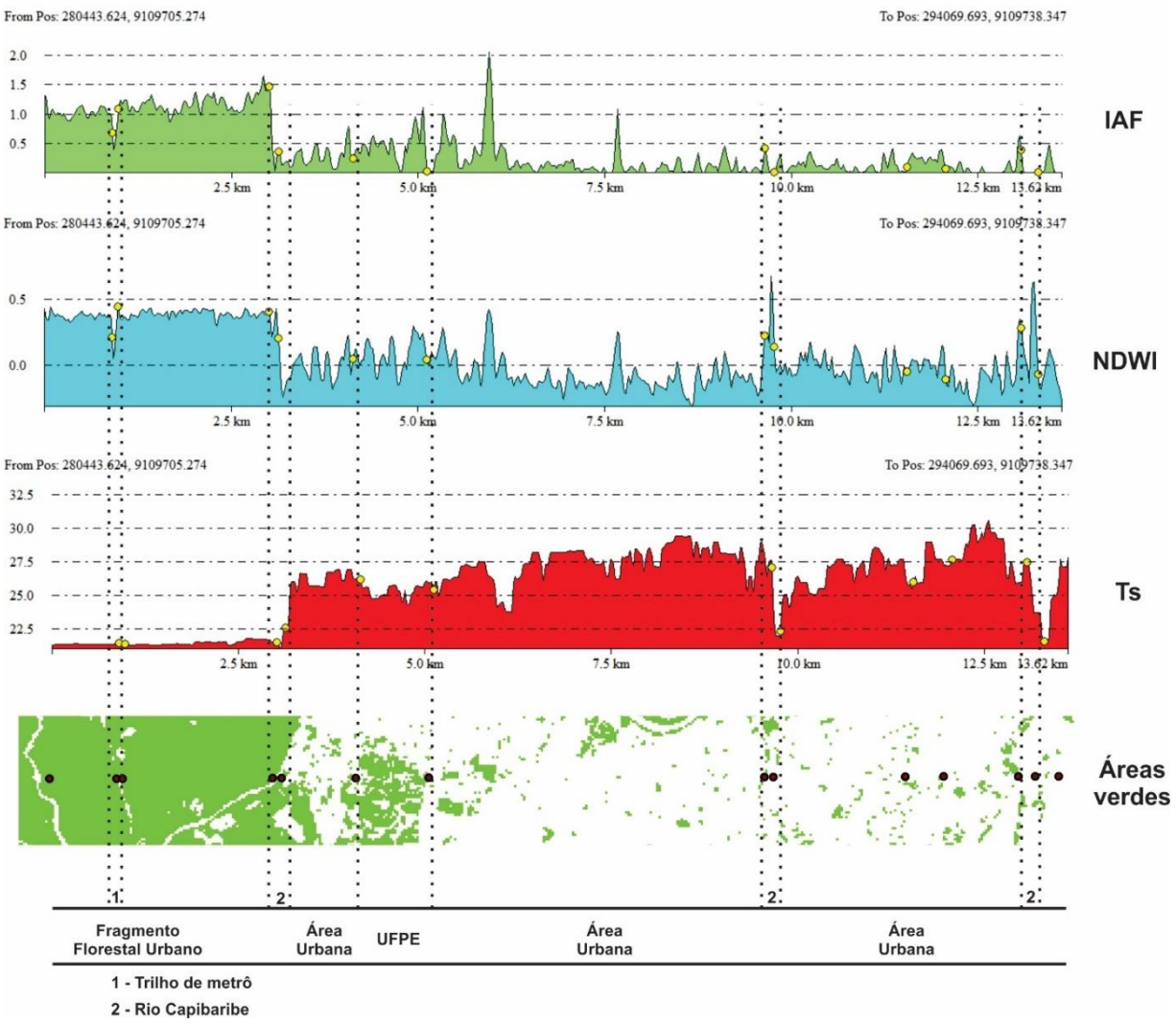


Figura 24 - Representação do Transecto linear 2 (T2) para a imagem de 6 de setembro de 2010 entre a Mata da Várzea e o bairro do Recife. Fonte: Autor, 2018



Hwang et al. (2011) e Puliafito et al. (2013) verificaram que as espécies arbóreas são capazes de amenizar a sensação de conforto térmico em seu entorno, promovendo, em qualquer estação do ano, condições mais confortáveis na sombra da copa das árvores. Martini e Biondi (2015) comparando o microclima e conforto térmico proporcionado por um fragmento de floresta urbana existente no Campus III da UFPR com outros ambientes e tipos de uso encontraram que a temperatura do ar ficou em média 3,5° mais baixa na área do fragmento florestal urbano e no bosque de Pinus, quando comparado aos demais usos analisados.

Freitas (2016) em estudo realizado com o objetivo de analisar as alterações, que ocorrem no campo térmico no espaço intra-urbano do Campus I da Universidade Federal da Paraíba em João Pessoa concluiu que os menores valores de temperatura e maiores de umidade foram registrados em ponto inserido no maior fragmento de

Mata Atlântica da área de estudo. Deste modo estes resultados corroboram com os resultados encontrados nesta pesquisa.

4.2 MODELOS DIGITAIS E IDENTIFICAÇÃO DE EDIFICAÇÕES

Através da Figura 25 é possível observar o Modelo Digital de Terreno (MDT) representando a configuração espacial do relevo da Mata de Dois Irmãos, Recife – PE, e seu entorno. Nota-se variação maior que 90 m de altura em todo o território da mata, onde as cotas mais baixas apresentam alturas inferiores a 10 m, sendo observados nas proximidades dos açudes do Prata e do Meio, e cotas mais altas com 100 m de altura constituindo-se com um divisor de águas.

As áreas mais ao norte da mata apresentam cotas mais elevadas de altura, enquanto que as áreas mais ao sul apresentam cotas mais baixas. As áreas edificadas do bairro de Sítio dos Pintos e o campus da Universidade Federal Rural de Pernambuco, situado a sudoeste da Mata de Dois Irmãos, Figura 26, ocupam as áreas com cotas de altura mais baixas, apresentando corpos hídricos distribuídos em seu território, enquanto que a leste da Mata encontra-se os morros da zona norte quase que totalmente ocupados por edificações, Figura 27.

Parte destas ocupações localizadas no entorno da mata são irregulares e em alguns casos carente de infra-estrutura e planejamento urbano, o que vem a provocar impactos ambientais diversos como acumulo de lixo, áreas com processo de ravinamento associados ou não a movimento de massa devido ao forte potencial de erosividade em função das características geológicas e geomorfológicas como apontado por Lima & Corrêa (2005).

Autores como Mecdonnell e Macgregor-Fors (2016) chamam atenção que as consequências negativas da urbanização, podendo ser citadas a impermeabilização do solo, canalização de córregos e rios e acumulo de lixo e poluição associados a ausência de elementos naturais vem a comprometer a qualidade ambiental e o adequado crescimento urbano.

É possível visualizar que nas áreas mais elevadas do bairro de Sítio dos Pintos, com cotas altimétricas variando entre 40,1 e 60,0 m, figura 25, ainda apresentam vegetação em seus topos. Parte do bairro é ocupado por sítios e condomínios de alto padrão o que mantem parte da vegetação preservada no interior dos lotes assim como a presença de nascentes e áreas alagadas ou alagáveis.

Figura 25 - Modelo Digital de Terreno do Parque Ecológico de Dois Irmãos e entorno, Recife – PE. Organizado pelos autores.

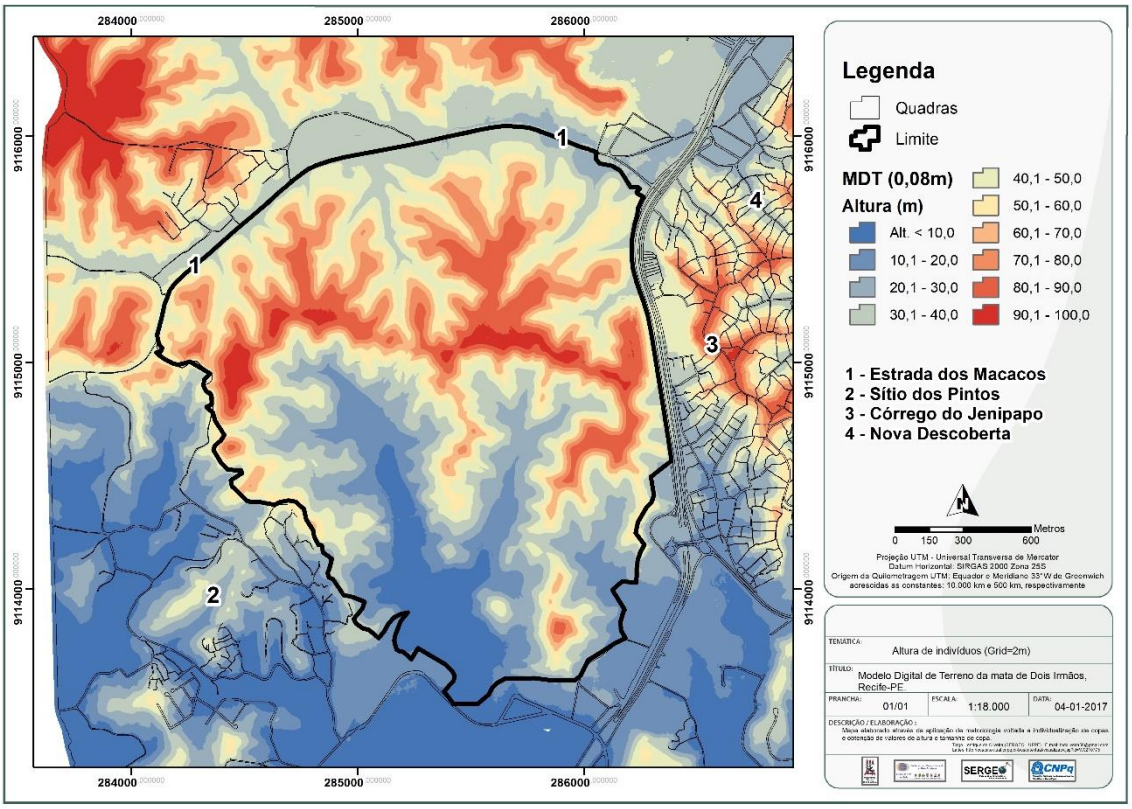
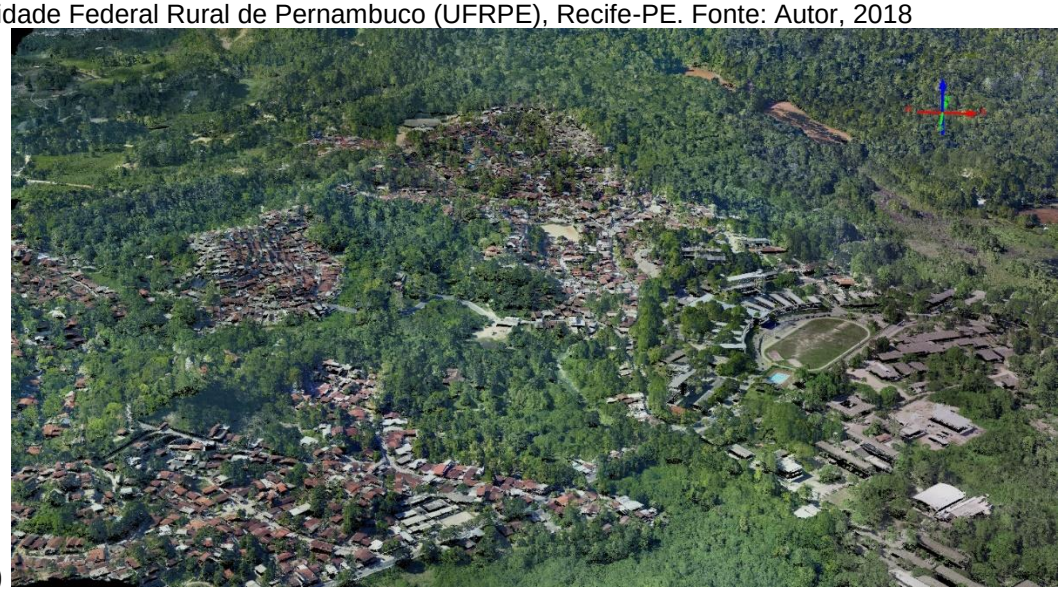
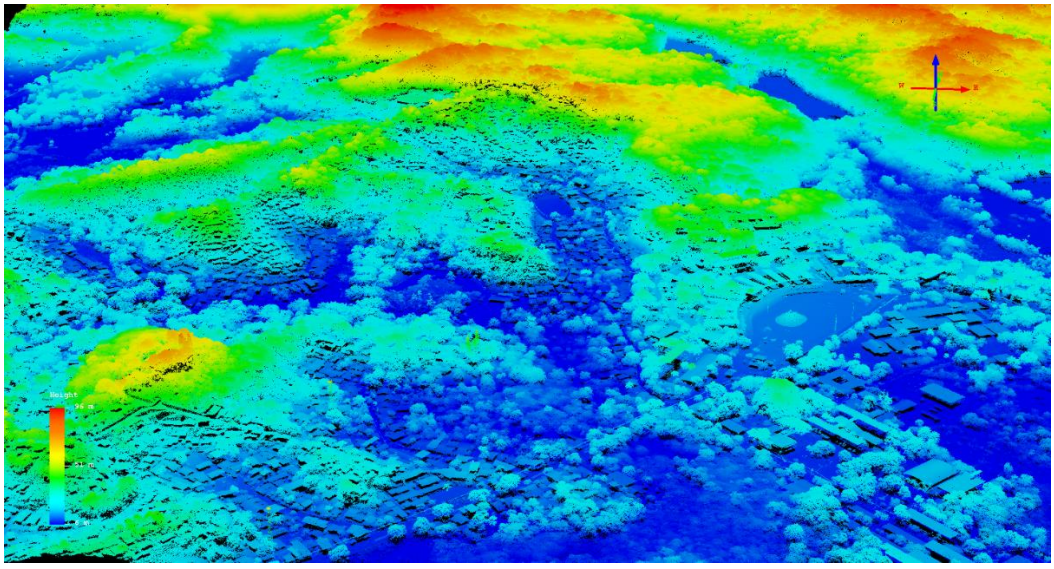


Figura 26 - Visualização 3D (a) e Modelo Digital de Superfície (b) do bairro de Sítio dos Pintos e Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Recife-PE. Fonte: Autor, 2018

(a) 

(b) 

Nos bairros de Córrego do Jenipapo e Nova Descoberta a vegetação encontra-se confinada nas áreas em que a topografia inviabiliza a ocupação, como as áreas de elevado declive, enquanto que as áreas de topo e fundo de vale se apresentam ocupadas por edificações (Figura 27). A grande diferença observada no padrão de ocupação destas áreas foi influenciada pela política de erradicação de mocambos na década de 40 do século passado, que promoveu a remoção de 12.000 mocambos localizados no centro do Recife e [...] "*grande parte das famílias que antes ocupava o entorno da área central migrou para municípios vizinhos e para os morros da zona norte da cidade* (INSTITUTO POLIS, 2009)".

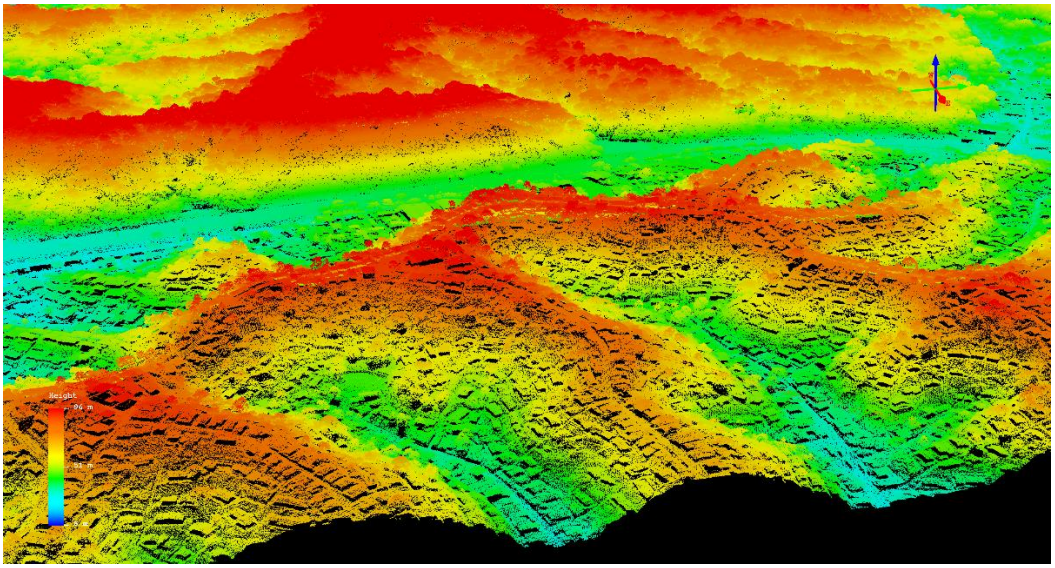
Visualizando as figuras 26 e 27 é possível perceber a grande diferença na quantidade de cobertura vegetal nas duas áreas. Enquanto que no bairro de Sitio dos Pintos é observado núcleos de edificações circundadas por vegetação encontramos o contrario na área dos bairros do Córrego do Jenipapo e Nova Descoberta. A vegetação encontra-se confinadas nas áreas onde a população não consegue utilizar devido ao declive. As áreas de topo de morro podem chegar a 90 m de altura em alguns pontos destes bairros.

Freitas, Filho e Mendes (2016) chamam a atenção para eventos associados "*a mudanças nas características naturais do relevo, como cortes de taludes para a construção, processo de mineração, construção de represas, passagem para estradas, entre outras formas, resultam em uma maior frequência desses acontecimentos, que, por vezes, são catastróficos*".

Figura 27 - Visualização 3D(a) e Modelo Digital de Superfície (b) de parte dos morros da zona norte, bairros do Córrego do Jenipapo e Nova Descoberta, Recife-PE. Fonte: Autor, 2018

(a)

(b)

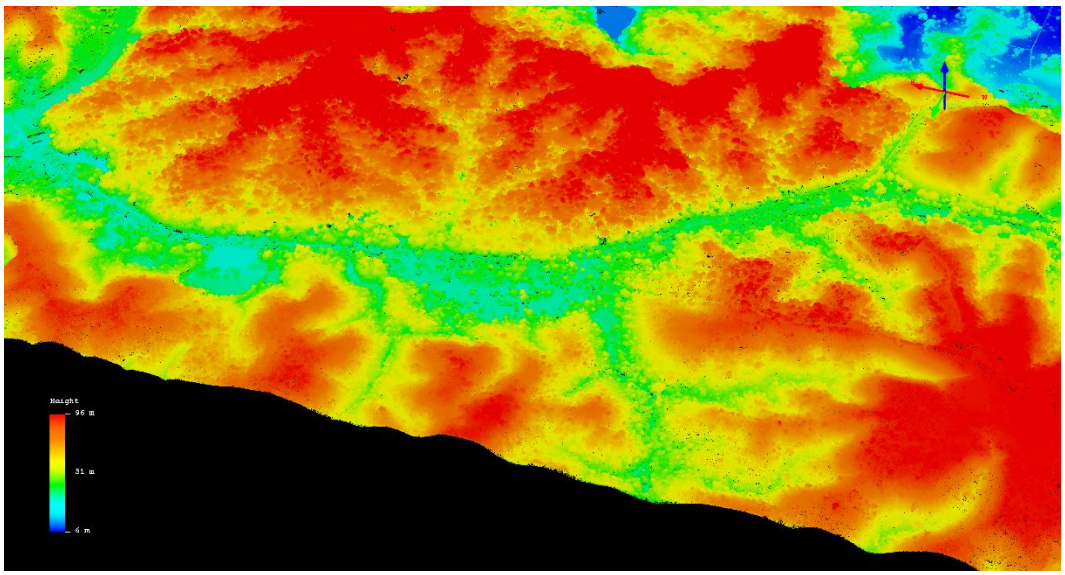


Ao norte da Mata de Dois Irmãos a construção de edificações tem se dado recentemente com a abertura da via Estrada dos Macacos, o que tem possibilitado a ocupação, conforme observado através da Figura 28. É possível visualizar como as edificações inicialmente ocupavam as áreas com cotas de altura mais baixas. Porém no final da estrada dos Macacos alguns tabuleiros se encontram quase que totalmente ocupados antropicamente. Recentemente, o Governo do Estado de Pernambuco recebeu e doou a área da Fazenda Brejo dos Macacos com área de 774,09 ha, bairro da Guabiraba, ao Parque Estadual de Dois Irmãos (Decreto estadual 38.660/2012).

Figura 28 - Visualização 3D (a) e Modelo Digital de Superfície (b) da parte norte do fragmento de Dois Irmãos e Estrada dos Macacos, Recife-PE. Fonte: Autor, 2018

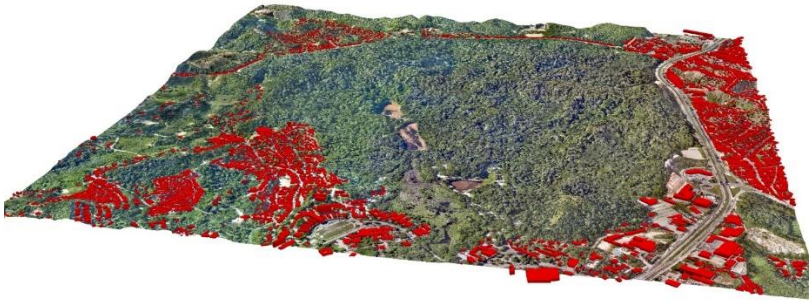
(a)

(b)



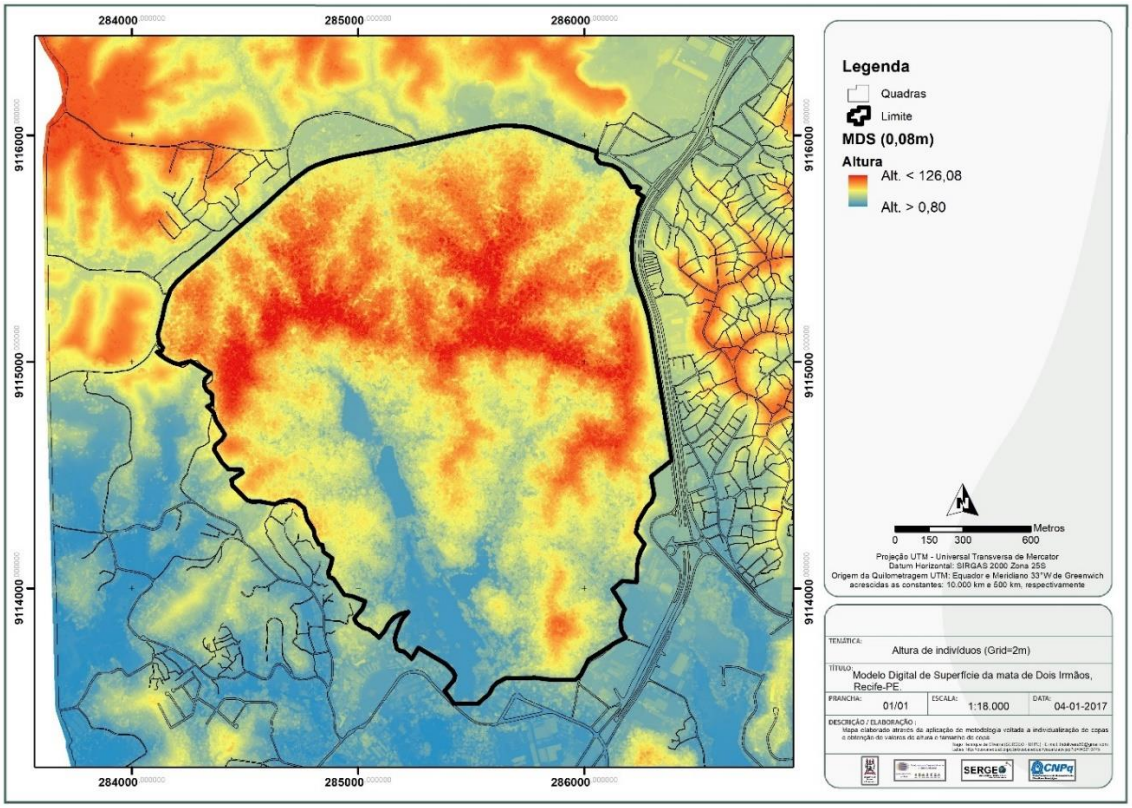
Esta área encontra-se em processo de regularização fundiária conforme o Plano de Manejo do Parque Estadual de Dois Irmãos (2014). Deste modo a ocupação do entorno da Estrada dos Macacos pode se apresentar como um empecilho para a incorporação desta nova área ao Parque Ecológico. Através da Figura 29 é possível observar mais facilmente todas as edificações localizadas no entorno do Parque Estadual de Dois Irmãos destacadas em vermelho. Deste modo é perceptível como o Parque Ecológico de Dois Irmãos vem sofrendo pressões antrópicas em todo o seu perímetro o que vem a influenciar na temperatura da superfície e consequentemente na temperatura do ar, direção e força do vento, umidade relativa entre outros aspectos.

Figura 29 - Visualização 3D e Modelo Digital de Superfície (MDS) do Parque Ecológico de Dois Irmãos e entorno com destaque para as edificações em vermelho, bairros de Sítio dos Pintos, Dois Irmãos, Apipucos, Córrego do Jenipapo e Guabiraba, Recife-PE. Fonte: Autor, 2018



Nota-se através do Modelo Digital da Superfície (MDS), Figura 30, que a altura máxima estimada para o Parque Estadual de Dois Irmãos e entorno é de 126 metros. No MDS é observado o mesmo padrão de alturas que o observado no MDT, onde as áreas mais baixas do Parque Ecológico encontram-se na região do centro ao sul e as mais altas nas áreas de tabuleiros mais ao norte. Através do Modelo Digital de Superfície é possível observar os padrões de uso e ocupação do solo e sua distribuição sobre o relevo.

Figura 30 - Modelo Digital de Superfície (MDS) do Parque Ecológico de Dois Irmãos, Recife-PE. Fonte: Autor, 2018



4.3 MODELO DE ALTURA DE ÁRVORE

4.3.1 Aplicação do Modelo Galvíncio e Popescu (2016)

Através de processamento dos dados LiDAR e aplicação do Modelo de altura de árvores (CHM), equação 8, foram identificadas e individualizadas as copas de árvores com altura superior a 1,86m. A tabela 2 apresenta a quantidade de árvores identificadas por faixa de altura para as grades de 1 e 2 metros com o modelo utilizado.

Com relação a grade de 1 metro algumas cenas apresentaram erro de processamento, provavelmente devido a capacidade de processamento do computador utilizado. Deste modo optou-se por obter os valores para todas as cenas com a grade de 2 metros assim como os valores para as mesmas cenas que não apresentaram erros para a grade de 1 metro.

Para a grade de 1 m (limite alterado) foi identificado 23.348 pontos de árvores enquanto que a grade de 2 m (limite alterado) e de 2m (limite completo) conseguiu identificar 7.900 pontos e 10.234 pontos de árvores respectivamente. A resolução espacial da grade influencia na quantidade de arvores identificadas. O modelo de 2 m encontrou 17 e 26 árvores maiores que 40,1 m de altura para o limite alterado e limite completo respectivamente enquanto que para o modelo de 1 m foi encontrado 6 árvores.

Tabela 2. Quantidade de árvores identificadas por faixa de altura para as grades de 1 m e 2 m no Parque Ecológico de Dois Irmãos, Recife-PE. Fonte: Os autores.

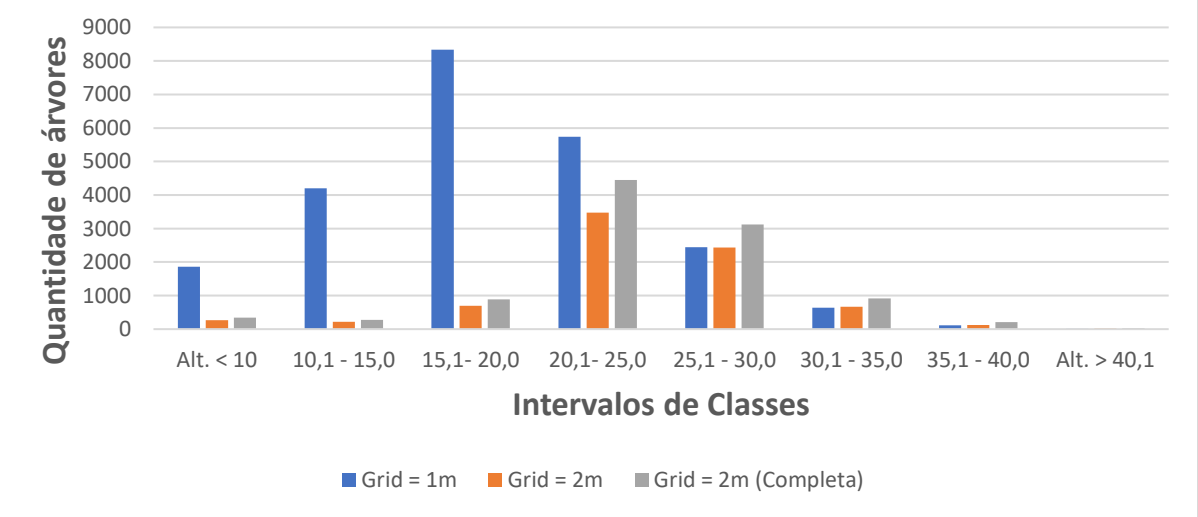
Altura de Indivíduos	Grid = 1 m (limite alterado)	Grid = 2 m (limite alterado)	Grid = 2 m (limite completo)
Alt. < 10	*1860*	*266*	*343*
10,1 - 15,0	*4205*	*223*	*274*
15,1- 20,0	*8336*	*692*	*891*
20,1- 25,0	*5738*	*3473*	*4450*
25,1 - 30,0	*2444*	*2439*	*3118*
30,1 - 35,0	*642*	*665*	*919*
35,1 - 40,0	*117*	*125*	*213*
Alt. > 40,1	*6*	*17*	*26*
Total	**23.348**	**7.900**	**10.234**

Para a grade de 2m a maior quantidade de indivíduos arbóreos identificados se encontra na faixa entre 20,1 e 25 m de altura enquanto que para a grade de 1 metro

a maior quantidade identificada se encontra na faixa entre 15,1 e 20,0 metros de altura, conforme pode ser melhor visualizado no gráfico da Figura 31. Nota-se como o modelo com a grade de 1 m conseguiu identificar uma quantidade 9 vezes maior de árvores nos intervalos de altura inferiores a 20 m, quando comparado ao modelo com grade de 2 m. Considerando árvores com alturas superiores a 20,1 m, os dois modelos de grade conseguiram boa resposta.

Para o modelo com grade de 1 m a média de altura encontrada apresentou o valor de 18,21 m e mediana de 18,41 m de altura. O modelo de 2 m (limite alterado) apresentou valor médio de 23,87 m e mediana de 24,13 m de altura. O modelo de 2 m (limite completo) apresentou valor médio de 24,09 m e mediana de 24,23 m de altura. Para o desvio padrão foram obtidos valores de 6,65, 5,74 e 5,71 respectivamente para a grade de 1 m, 2 m (limite alterado) e 2 m (limite completo).

Figura 31 - Gráfico com quantidade de árvores identificadas por faixa de altura para as grades de 1 m e 2 m no Parque Ecológico de Dois Irmãos, Recife-PE. Fonte: Autor, 2018



Através das Figuras 32 e 33 é possível observar a distribuição espacial dos indivíduos arbóreos identificados para o modelo com grade de resolução espacial de 1 m e de 2 m, respectivamente. Nota-se como as arvores identificadas como alturas inferiores a 20 m de altura encontram-se, em sua maioria, localizados nas áreas que apresentam as menores cotas de relevo.

Grande parte dos indivíduos identificados pelo modelo utilizado com valores de altura inferiores a 10 m se localizaram em áreas de borda do fragmento e nas áreas de entorno dos açudes localizados no interior do Parque Ecológico de Dois Irmãos, Figuras 32 e 33.

Conforme observado através de análise do gráfico da Figura 31, para o modelo de 2 m os indivíduos com alturas inferiores a 10 m, identificados pelo modelo, foram menos representativos que os identificados pela grade de 1 metro. Grande parte destes pontos encontram-se restritos a três áreas do Parque, nas áreas mais a leste e a oeste do Parque, esta última uma área de encosta degradada e na área mais próxima da UFRPE.

Nota-se como os indivíduos arbóreos identificados pelos dois modelos com alturas variando entre 20 e 30,1 m encontra-se nas áreas com as cotas mais baixas do Parque Ecológico, áreas mais centro sul. Na parte mais centro norte estes indivíduos encontram-se localizadas nas áreas com cotas mais elevadas com alturas superiores a 90 m (Figura 32).

Figura 32 - Distribuição espacial da altura de indivíduos arbóreos individualizados para a grade com resolução espacial de 1 m no Parque Ecológico de Dois Irmãos, Recife-PE. Fonte: Autor, 2018

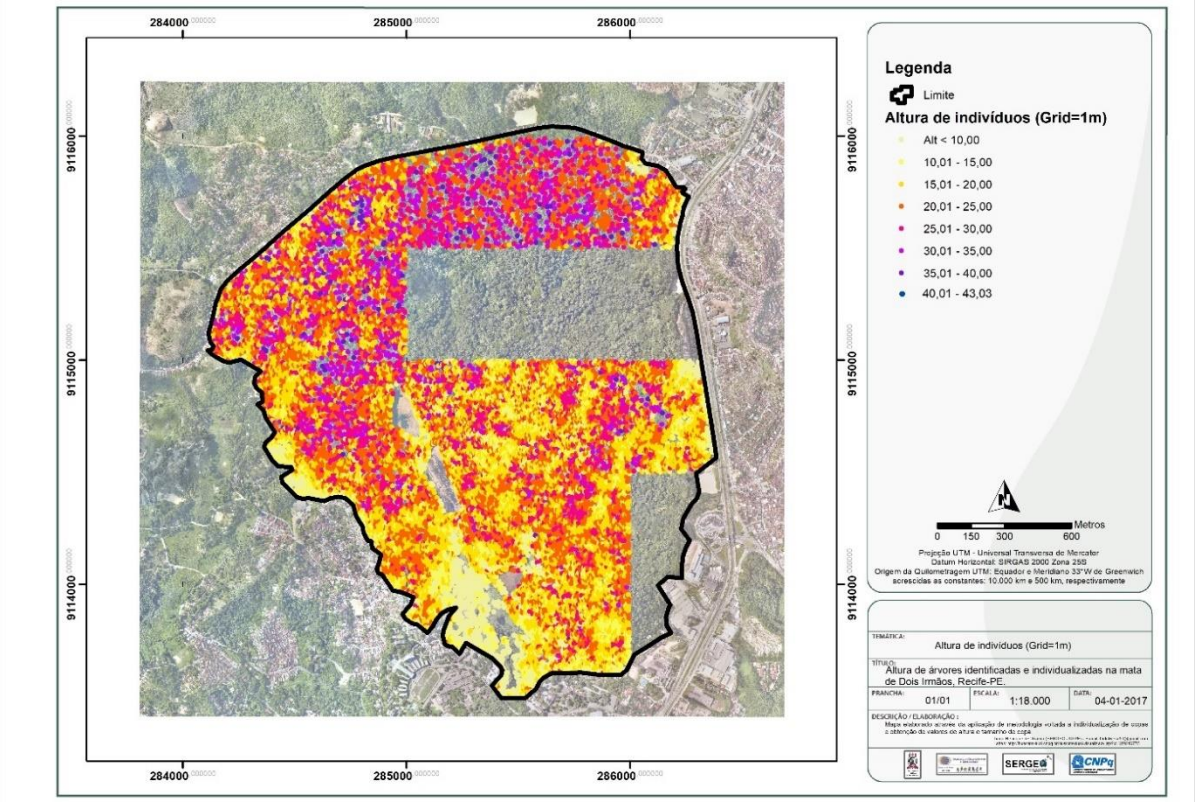
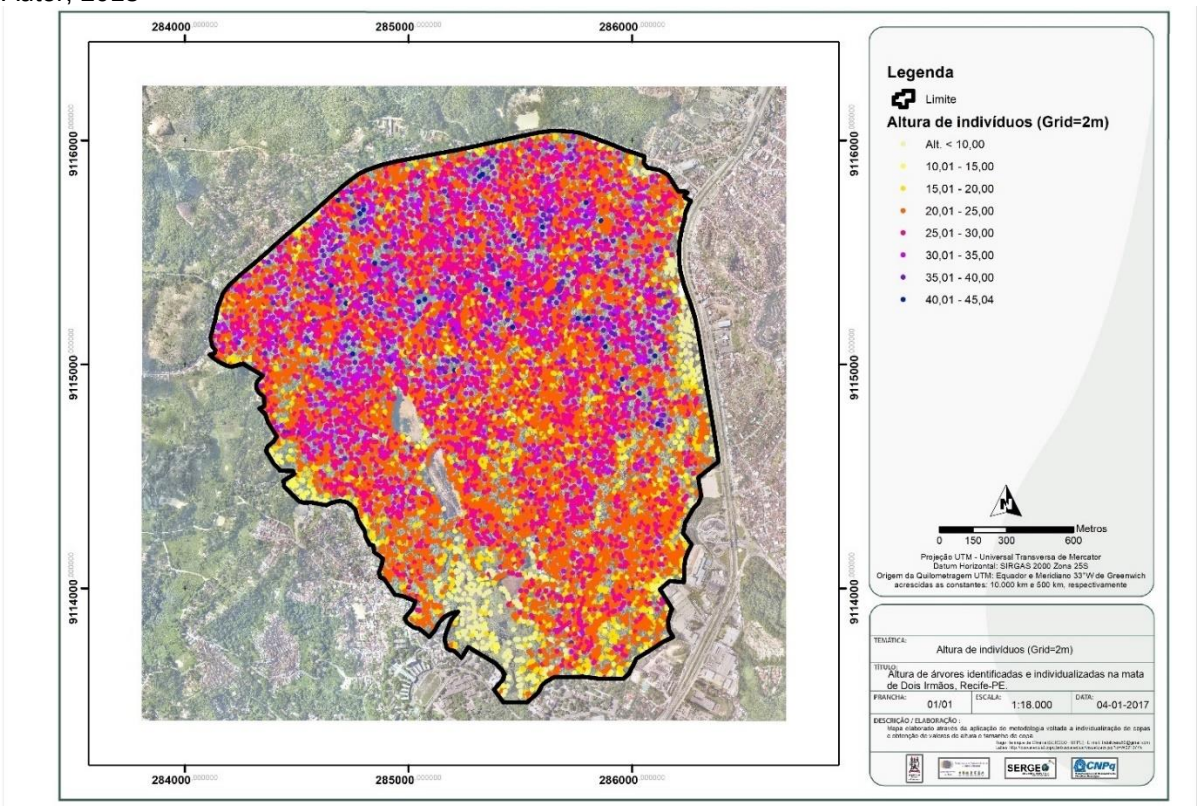


Figura 33 - Distribuição espacial da altura de indivíduos arbóreos individualizados para a grade com resolução espacial de 2 m (limite completo) no Parque Ecológico de Dois Irmãos, Recife-PE. Fonte: Autor, 2018

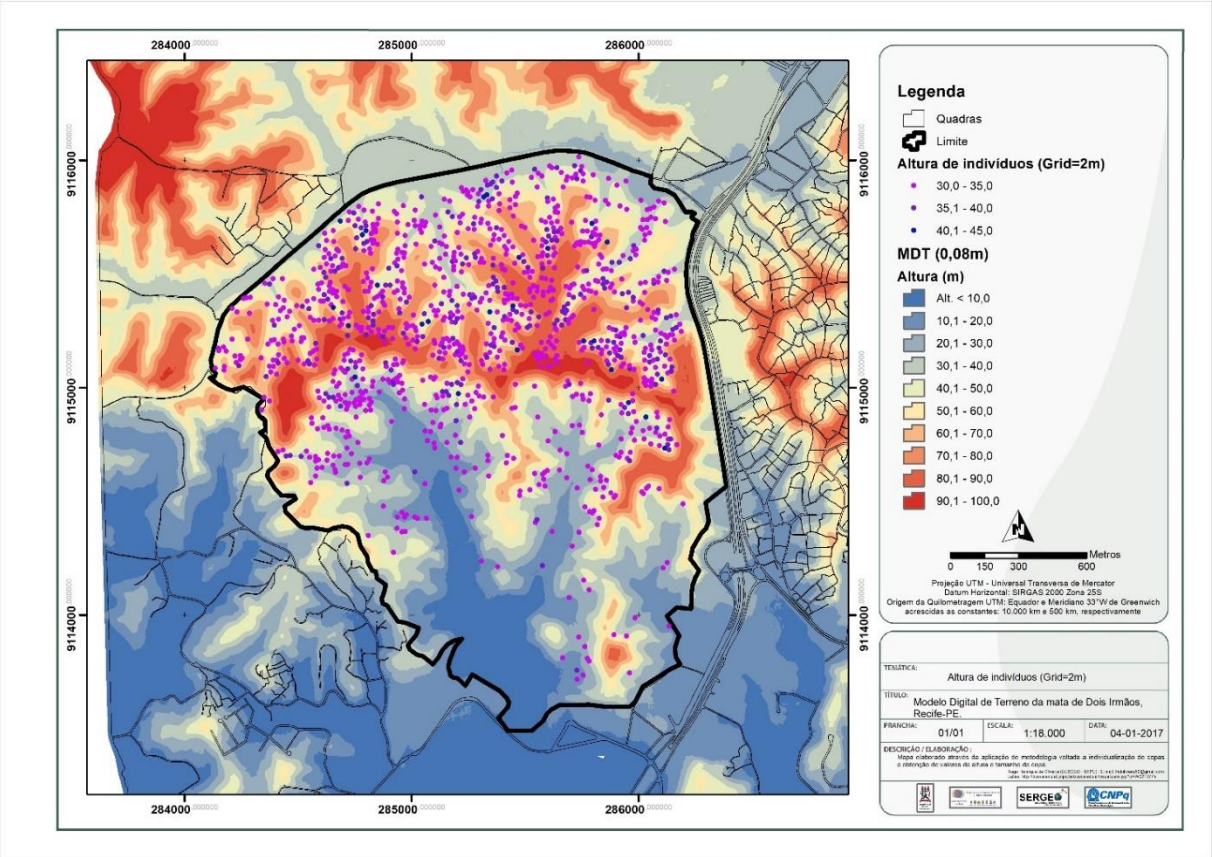


Os indivíduos arbóreos identificados com alturas superiores a 30,1 m foram encontrados em sua maioria na área mais centro norte do Parque Ecológico. Os mesmos encontram-se localizados encaixados nas áreas de fundo de vale sendo facilmente identificados nas Figuras 32 e 33.

Através da Figura 34 é possível visualizar os indivíduos arbóreos identificados pelo modelo de 2 metros de resolução espacial com alturas superior a 30 m sobre o Modelo Digital de Terreno da Reserva Florestal de Dois Irmãos sendo observado mais facilmente como estas árvores apresentam-se encaixadas, em sua maioria, nos fundos de vale.

Este fato pode ser explicado pela maior facilidade de acesso a água e sedimento no subsolo. Assim as árvores que estão em áreas mais baixas não precisam investir tanto no sistema radicular em busca de água como as árvores que estão em áreas de topo. Deste modo quanto mais água disponível, maior a capacidade fotossintética e consequentemente maior produção de biomassa.

Figura 34 - Distribuição espacial da altura de indivíduos arbóreos individualizados para a grade com resolução espacial de 2 m (Limite completo) e Modelo Digital de Terreno (MDT) no Parque Ecológico de Dois Irmãos, Recife-PE. Fonte: Autor, 2018



A tabela 3 mostra a quantidade de árvores identificadas por faixa de raio de copa as grades utilizadas, onde pode ser observado que a grade com resolução espacial de 1 m conseguiu identificar mais de 3000 indivíduos com raio de copa inferior a 2,5 m enquanto que a de 2 m identificou menos de 25.

Para as árvores com raio de copa superior a 10 metros os modelos encontraram 185, 313 e 452 árvores para os modelos de 1 m (limite alterado) e modelos de 2 m (limite alterado e limite completo), respectivamente. Foi observado que o modelo de 1 m de conseguiu identificar mais copas com raio inferior a 5 m.

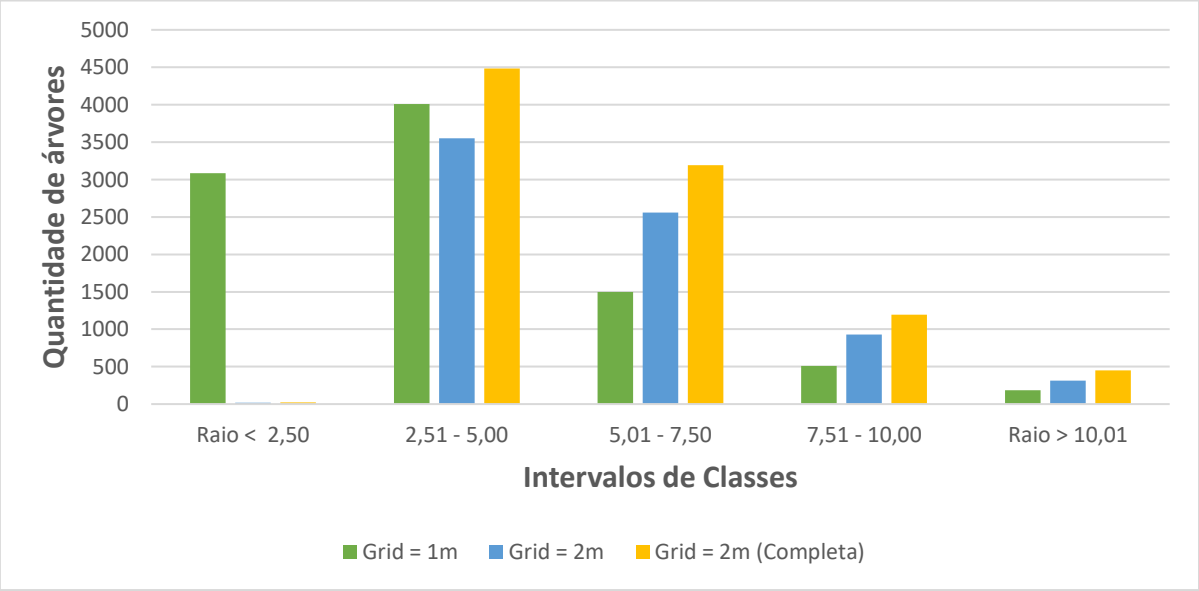
Já o modelo de 2 m de resolução espacial conseguiu melhor identificar os indivíduos arbóreos com maiores raios de copa, copas superiores a 5 m de resolução espacial, conforme pode ser observado através do gráfico, Figura 35. Isto deve-se ao fato que a resolução espacial da grade permite a individualização da árvore em uma área de busca mais ampla.

Tabela 3 - Quantidade de árvores identificadas por faixa de raio de copa para as grades de 1 m e 2 m no Parque Ecológico de Dois Irmãos, Recife-PE. Fonte: Os autores.

Raio da Copa	Grid = 1 m (limite alterado)	Grid = 2 m (limite alterado)	Grid = 2 m (limite completo)
Raio < 2,50	3087	20	23
2,51 - 5,00	4008	3550	4483
5,01 - 7,50	1500	2559	3193
7,51 - 10,00	509	930	1196
Raio > 10,01	185	313	452

Tanto o modelo com resolução espacial de 1 m quanto o modelo de 2 m identificaram a maior quantidade de árvores na classe com intervalo de raio de copa variando entre 2,51 e 5,00 m.

Figura 35 - Gráfico com quantidade de árvores identificadas por faixa de raio da copa para as grades de 1 m e 2 m no Parque Ecológico de Dois Irmãos, Recife-PE. Fonte: Autor, 2018



As Figuras 36 e 37 representam a distribuição espacial dos valores de raio da copa para os indivíduos arbóreos identificado pelo modelo utilizado para a grade de resolução espacial de 1 e 2 m. Nota-se como os indivíduos que apresem raio de copas inferiores a 7,5 m apresentam-se distribuídos em todas as áreas da Parque Ecológico de Dois Irmãos.

Porem grande parte dos indivíduos identificados com raio de copa superiores de 7,5 m encontram-se localizados na área centro norte do Parque Ecológico de Dois Irmãos. Da mesma maneira os indivíduos arbóreos com raios de copa superiores a 10,01 m apresentaram-se encaixadas nas áreas ao norte do Parque Ecológico

dissecadas dos tabuleiros, como observado na figura 34 relacionada as árvores com maiores alturas.

Silva et al. (2017c) realizando estudo fragmento de floresta mista de coníferas, localizado em Sawtooh National Forest, Stanley – Idaho, objetivando "*detectar árvores individuais e avaliar a homogeneidade da floresta, baseando em estimativas de altura por meio de dados LiDAR aerotransportado*" encontraram um total de 1366, 1067 e 894 indivíduos arbóreos encontrados, para as respectivas janelas de buscas utilizadas de 3 x 3, 5 x 5 e 7 x 7. Nas parcelas amostrais foram encontradas um total de 919 arvores de referência. Os autores chamam a atenção ao fato que a medida que a janela de busca é aumentada menos indivíduos são detectados, sendo a janela de 7 x 7 a que mais se aproximou da referência.

Rex et al. (2018) em estudo com o objetivo de "*testar o desempenho de dados de laser scanner aerotransportado para identificar as copas de Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze em um fragmento de floresta nativa em área urbana de Curitiba - PR*" obtiveram uma identificação de 297 copas de forma automática, o que representou 88,4% de acerto quando comparado ao censo do fragmento. O mesmo faz menção a complexidade deste tipo de análise em florestas nativas, assim como aos poucos trabalhos encontrados na literatura.

Comparando as figuras de altura das árvores identificadas, Figuras 32 e 33, com as figuras de raio da copa, Figuras 36 e 37 é possível visualizar que as árvores que apresentaram valores de altura inferiores a 20 metros apresentaram valores de raio de copa inferiores a 5 metros. Deste grupo uma parte dos indivíduos identificados com raio de copa inferiores a 2,5 metros se apresentam em áreas degradadas do Parque Ecológico, como na área de elevada declividade próximo a BR-101.

Figura 36 - Distribuição espacial do raio da copa de indivíduos arbóreos individualizados para a grade com resolução espacial de 1 m no Parque Ecológico de Dois Irmãos, Recife-PE. Fonte: Autor, 2018

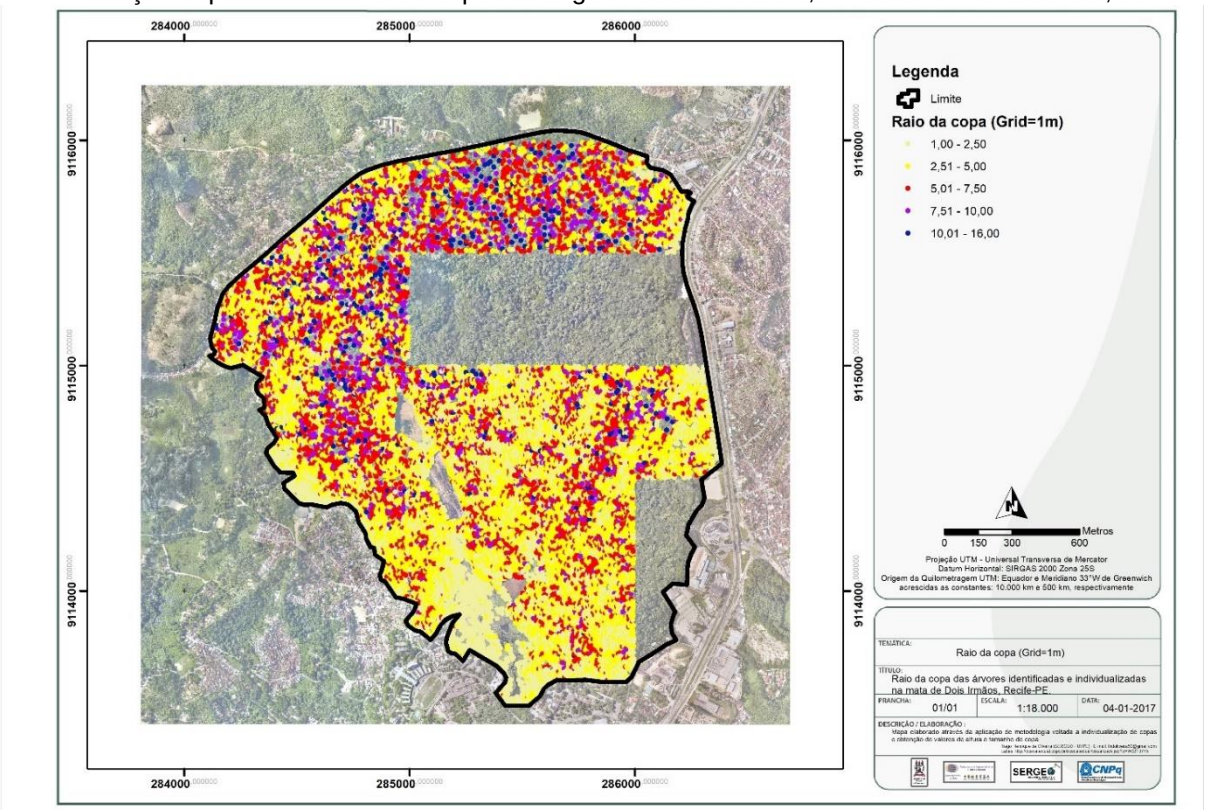
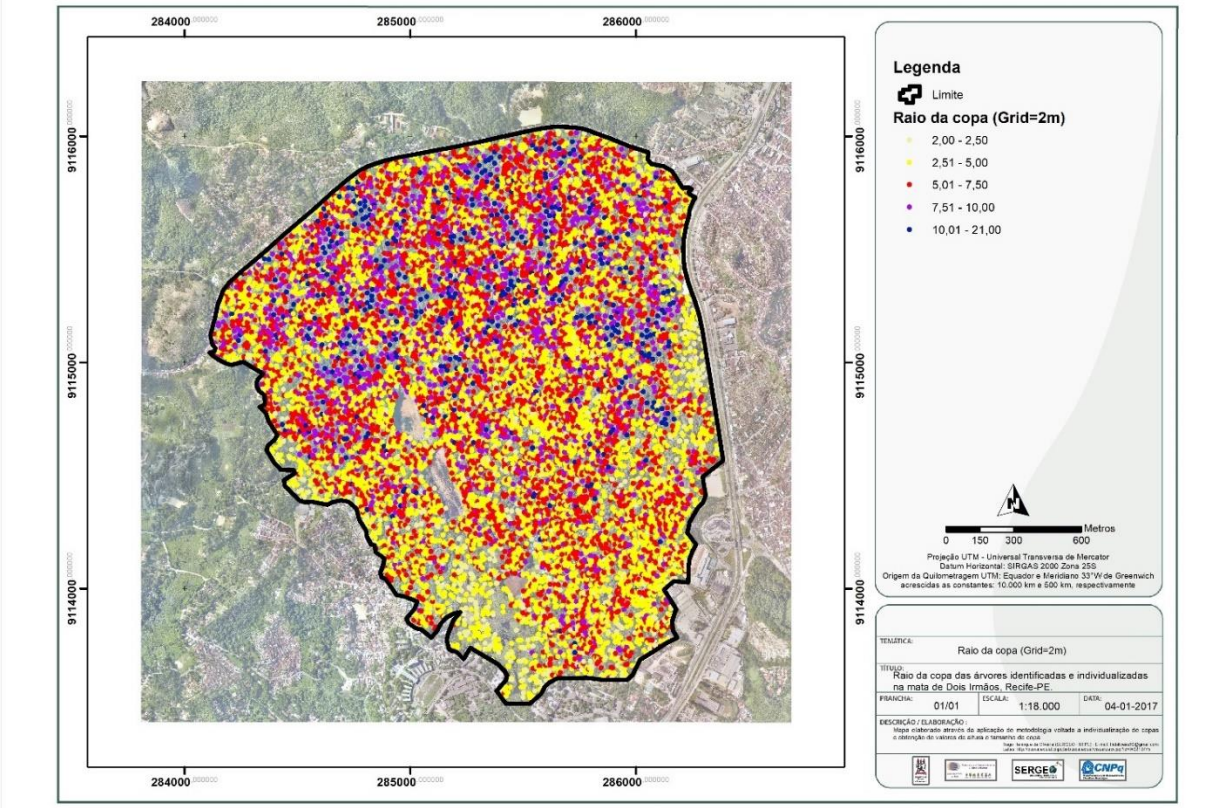


Figura 37 - Distribuição espacial do raio da copa de indivíduos arbóreos individualizados para a grade com resolução espacial de 2 m no Parque Ecológico de Dois Irmãos, Recife-PE. Fonte: Autor, 2018



4.3.2 Aplicação do Modelo obtido nesta pesquisa

Tendo em vista os resultados obtidos através da aplicação do modelo obtido em pesquisa realizada por Galvíncio e Popescu (2016) foram escolhidos aleatoriamente, através da utilização de ferramenta de geoprocessamento, 150 pontos para a obtenção da correlação dos valores de altura e raio da copa, podendo ser visualizados através da Figura 38. Estes pontos foram especializados em um gráfico de dispersão sendo calculado a linha de tendência e obtido um coeficiente de determinação r^2 de 0,75, Figura 39.

Popescu et al. (2003) obteve valores de r^2 variando entre 0,62 e 0,63 e erro padrão estimado entre 1,36 e 1,41 m para árvores dominantes nas florestas do leste dos Estados Unidos. Galvíncio e Popescu (2016) obtiveram correlação entre a altura da árvore no LiDAR e altura da árvore de campo de r = 0,60. A correlação entre altura e raio da copa obtida para 32 árvores e necessária para a parametrização doprograma para identificação de árvores foi de r = 0,83 e coeficiente de determinação de $r^2 = 0,69$.

Figura 38 - Distribuição espacial dos 150 pontos escolhidos para correlação entre os valores de altura e raio da copa para o Parque Estadual de Dois Irmãos, Recife - PE. Fonte: Autor, 2018

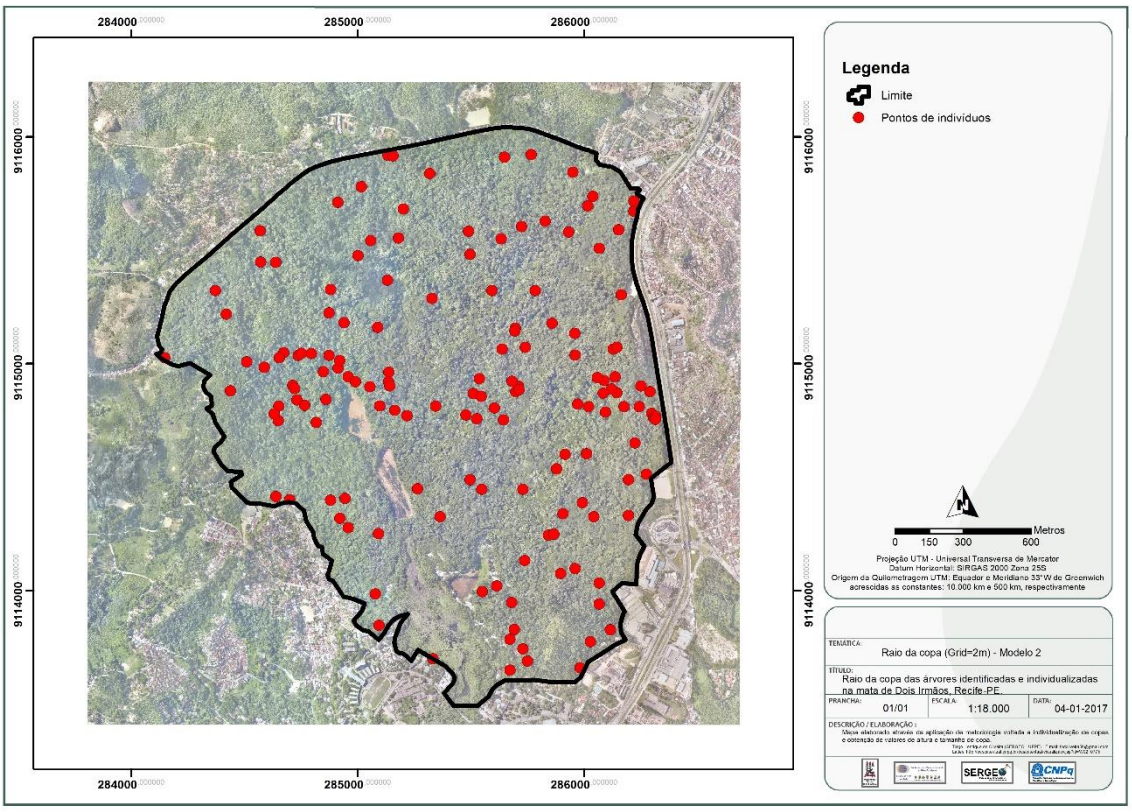
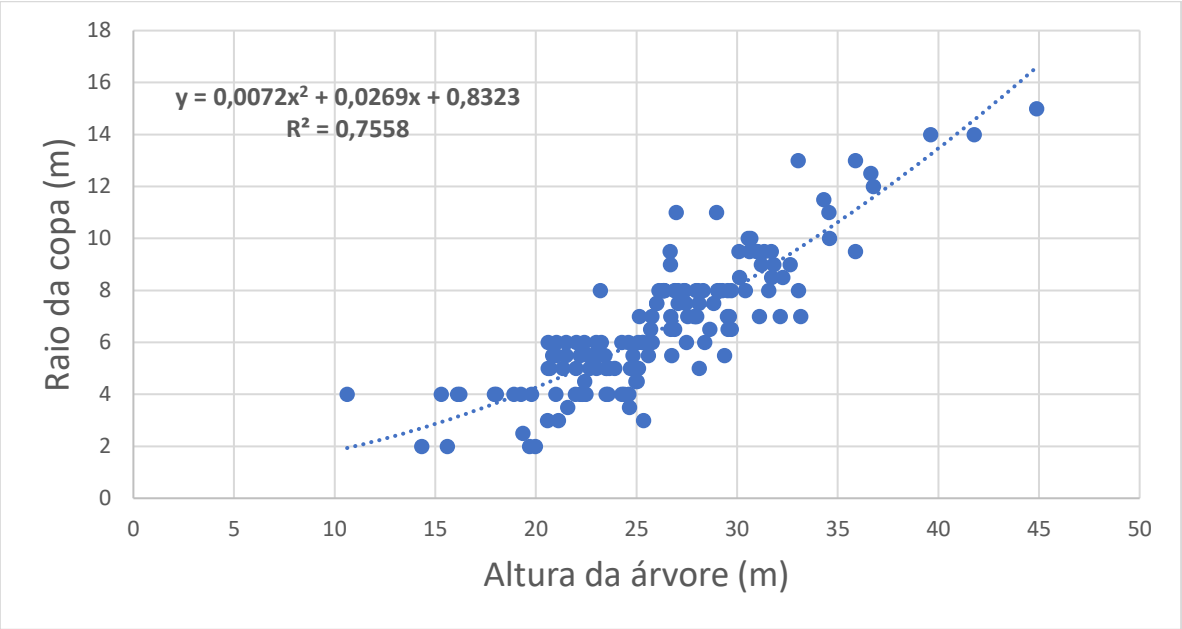


Figura 39 - Relação entre altura e raio da copa para 150 árvores do Parque Estadual de Dois Irmãos, Recife - PE. Fonte: Autor, 2018



Através de processamento dos dados LiDAR e aplicação do Modelo de altura de árvores (CHM) da equação 9 foram identificadas e individualizadas as copas de árvores com altura superior a 1,59 m. A tabela 4 apresenta a quantidade de árvores identificadas por faixa de altura para as grades de 1 e 2 m com o modelo utilizado. É possível observar que o modelo de 1 metro apresentou uma maior quantidade de pontos identificados quando comparado ao modelo de 2 m e aos modelos de 1 e 2 m obtidos com a aplicação da equação proposta por GalvÍncio e Popescu (2016). Nenhuma das cenas utilizadas para a área do Parque Ecológico de Dois Irmãos apresentou erro de processamento.

Nota-se como o modelo proposto conseguiu identificar uma maior quantidade de indivíduos arbóreos com alturas superiores a 20,1 m. Para as duas grades a maior quantidade de pontos identificados se concentrou na faixa de altura variando entre 20,1 e 25,0 m, com identificação de 13.244 indivíduos para a grade de 1 m e 1.758 indivíduos para a grade de 2 m. Considerando as maiores alturas de árvores identificadas, altura superior a 40,1 m, foram identificados 25 indivíduos para a grade de 1 m e 32 indivíduos para a grade de 2 m.

Tabela 4 - Quantidade de árvores identificadas por faixa de altura para as grades de 1 m e 2 m no Parque Ecológico de Dois Irmãos, Recife-PE. Fonte: Autores, 2018.

Altura de Indivíduos	Grid = 1m	Grid = 2m
Alt. < 10	*2807*	*419*
10,1 - 15,0	*5091*	*286*
15,1- 20,0	*10312*	*920*
20,1- 25,0	*13244*	*1758*
25,1 - 30,0	*12001*	*1241*
30,1 - 35,0	*2595*	*423*
35,1 - 40,0	*325*	*224*
Alt. > 40,1	*25*	*32*
Total	**46.400**	**5.303**

As Figuras 40 e 41 apresentam a distribuição espacial da altura dos indivíduos arbóreos identificados para a grade com resolução espacial de 1 e 2 m, respectivamente. Do mesmo modo, é possível observar a distribuição espacial dos padrões de alturas visualizado através da aplicação da equação proposta por Galvíncio e Popescu (2016), figuras 32 e 33, onde os indivíduos que apresentaram maiores alturas localizam-se, em grande parte, nas áreas centro norte do PEDI.

Figura 40 - Distribuição espacial da altura de indivíduos arbóreos individualizados para a grade com resolução espacial de 1 m no Parque Estadual de Dois Irmãos, Recife-PE. Fonte: Autor, 2018

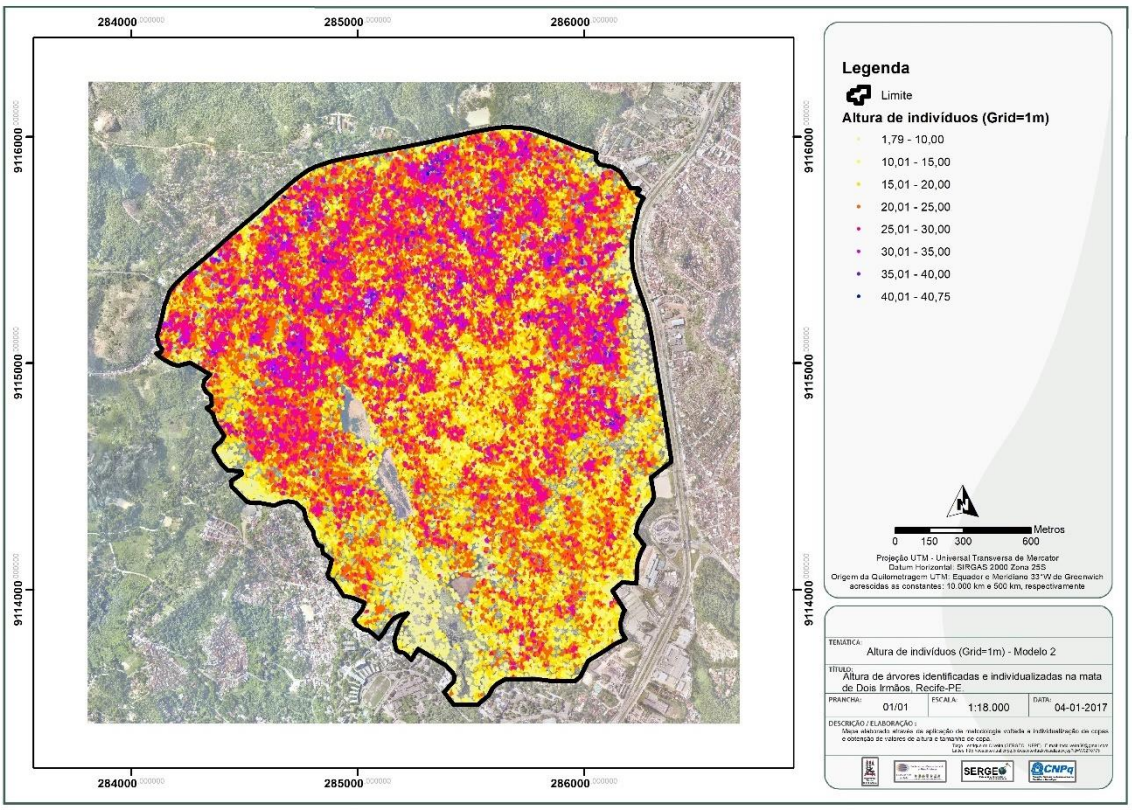
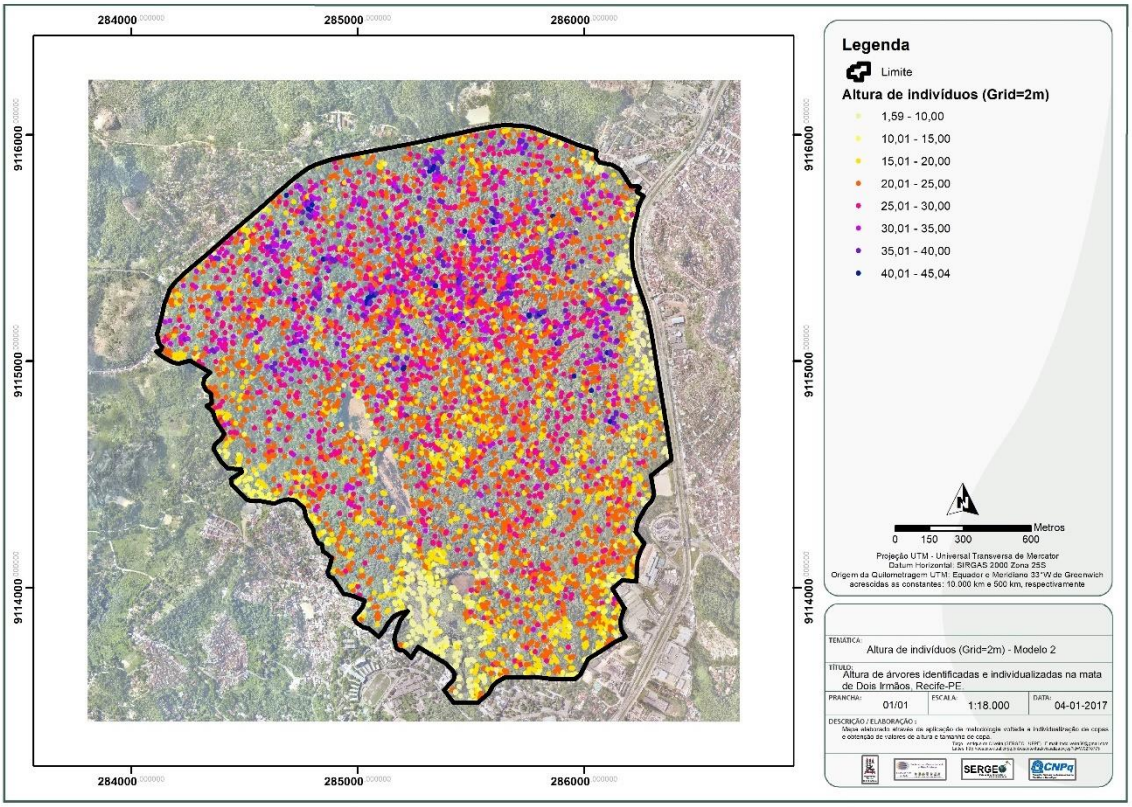


Figura 41 - Distribuição espacial da altura de indivíduos arbóreos individualizados para a grade com resolução espacial de 2 m no Parque Estadual de Dois Irmãos, Recife-PE. Fonte: Autor, 2018



Considerando a área mais centro sul do fragmento, é constatada uma grande distribuição de árvores com alturas mais baixas. Mais uma vez, é possível visualizar que estas árvores se encontram encaixadas nas áreas de fundo de vale. As árvores identificadas com as menores alturas, inferiores a 10 m, localizam-se, principalmente, em áreas de bordas do fragmento, zonas oeste e leste do fragmento, e na área localizada entre o Açude dos Macacos e o Campus da UFRPE. Para os açudes do Prata e do Meio foi observado que o seu entorno apresenta indivíduos com valores de altura inferiores a 30 m. Na parte mais ao norte do Açude do Prata são observados os indivíduos com maiores alturas do entorno.

Também é perceptível que a área central do Parque Ecológico de Dois Irmãos também apresenta uma grande quantidade de indivíduos arbóreos identificados e classificados com alturas inferiores a 20 m. Comparando os dois modelos de grade nota-se como o modelo com resolução espacial de 2 m apresentou uma uniformização de algumas copas, o que fez com em algumas áreas seja observado vazios quando comparados a grade com resolução espacial de 1 m.

Pham, Brabyn e Ashraf (2016) realizando a analise combinada de imagem Quickbird, LiDAR e índices topográficos em SIG visando a identificação de espécie de

árvore nativa da região costeira de Nova Zelândia utilizando classificação orientada a objeto obtiveram uma acurácia de 85,4% (Kappa de 80,6%) combinando informações espectrais e o LiDAR enquanto que a metodologia utilizando apenas dados espectrais obtiveram acurácia de 75,8% (Kappa 67,8%).

Estudo realizado por Gomes (2017) objetivando "*determinar a variação espacial da altura de espécies arbóreas em vegetação de semiárido com a utilização de dados LiDAR*" obtiveram boa correlação entre as medidas obtidas em campo e as obtidas por meio do LiDAR onde os indivíduos com alturas variando entre 1 e 6 metros representam 70% das áreas analisadas. O modelo utilizado pela autora conseguiu identificar 98% dos indivíduos contado nas 5 parcelas.

Através da Tabela 5 é possível observar os valores de raio de copa obtidos através da equação desenvolvida nesta pesquisa. Nota-se uma grande concentração de indivíduos arbóreos com valores de raio de copa inferiores a 2,5 m no modelo com grade de resolução de 1 m, apresentando mais de 38.000 indivíduos. Nas classes com raio de copa superiores a 5 m foram identificados 107 indivíduos arbóreos para a grade de resolução espacial de 1 m e 131 indivíduos para a grade de 2 m. O modelo de grade de 2 m apresenta uma melhor distribuição dos valores de raio de copa.

Tabela 5 - Quantidade de árvores identificadas por faixa de raio de copa para as grades de 1 m e 2 m no Parque Ecológico de Dois Irmãos, Recife-PE. Fonte: Autores, 2018.

Raio da Copa	Grid = 1m	Grid = 2m
Raio < 2,50	*38.316*	*2.118*
2,51 - 5,00	*7.977*	*3.054*
5,01 - 7,50	*106*	*123*
Raio > 7,51	*1*	*8*

As figuras 42 e 43 apresentam a distribuição espacial dos valores de raio de copa identificados através da utilização de modelo obtido nesta pesquisa. Mesmo assim ainda é possível observar que os indivíduos que apresentam maiores valores de altura também apresentam os maiores valores de raio de copa, com raio de copas superiores a 2,51 m.

Figura 42 - Distribuição espacial do raio da copa de indivíduos arbóreos para a grade com resolução espacial de 1 m no Parque Estadual de Dois Irmãos, Recife-PE.

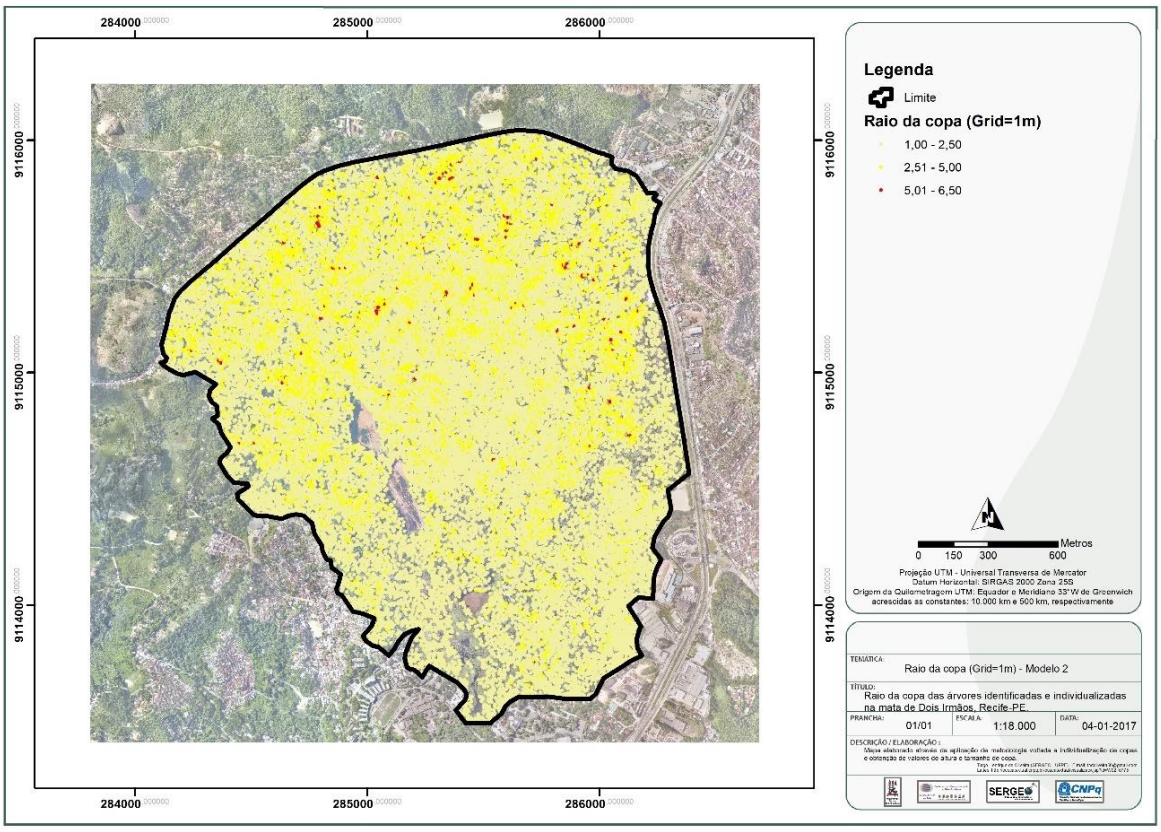
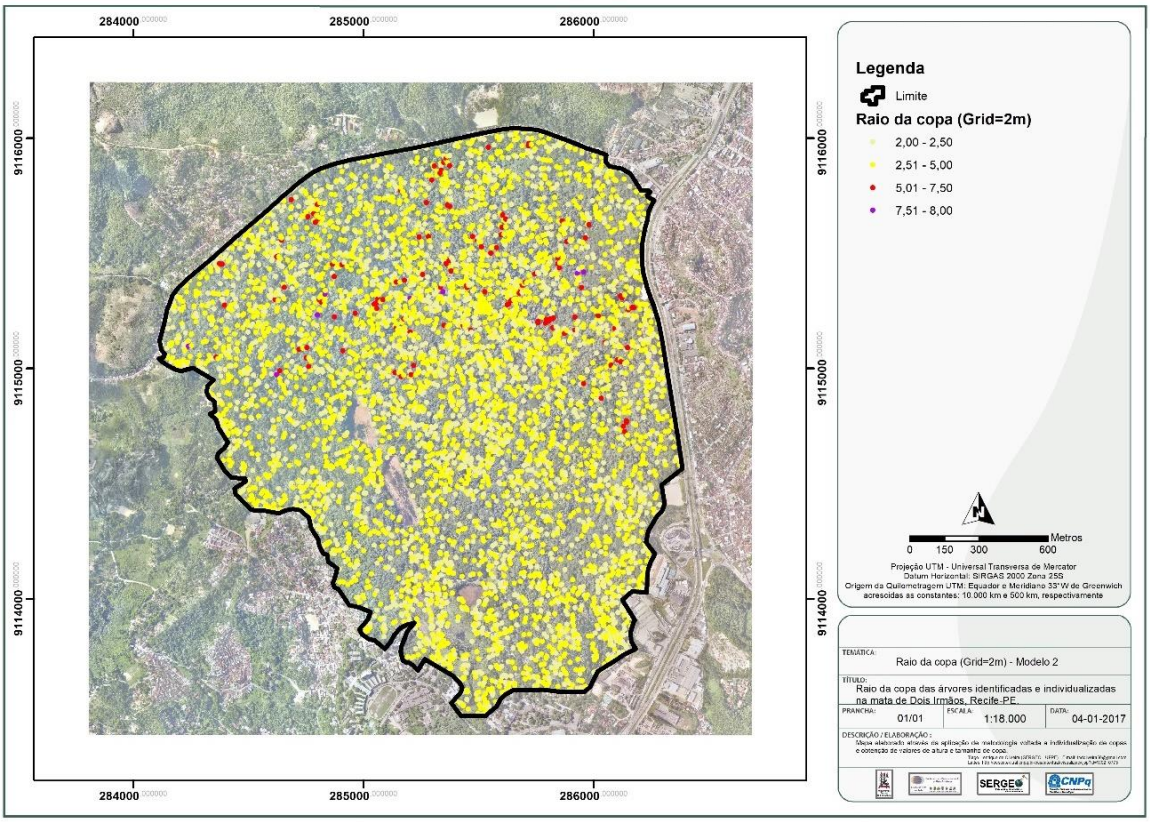


Figura 43 - Distribuição espacial do raio da copa de indivíduos arbóreos para a grade com resolução espacial de 2 m no Parque Estadual de Dois Irmãos, Recife-PE.



5 CONCLUSÕES

- De acordo com a metodologia adotada e os resultados obtidos no presente estudo pode-se comprovar que tanto a quantidade como os valores de copa e altura identificados foram influenciados espacialmente pela quantidade de urbanização observado em seu entorno assim como foi observado grandes mudanças espaço temporais no entorno dos fragmentos florestais nos últimos 40 anos;
- Apesar da intensa ocupação das bordas dos fragmentos ao longo das últimas décadas, os maiores fragmentos florestais das duas áreas estudadas, apresentaram desenvolvimento de biomassa e consequentemente melhores valores de umidade e temperatura da superfície;
- Para o entorno do Parque Ecológico de Dois Irmãos foi observado aumento no valor de área urbana, passando de 70ha em 1974 para um pouco mais de 180 ha em 2013. As demais classes apresentaram diminuição de valores, com exceção da classe de corpos hídricos que se manteve estável. Como consequência os valores de área foliar e umidade obtidas no entorno do PEDI foram diminuindo com os anos, enquanto que a temperatura da superfície foi aumentando.
- Foi observada a influência do relevo na altura das árvores e no raio da copa, onde os indivíduos com maiores valores foram encontrados em grande parte encaixados no fundo de vales;
- Considerando o Modelo Galvíncio e Popescu (2016)
    - Para a grade de 1 m (limite alterado) e de 2 m (limite completo) foram identificados 23.348 e 10.234 pontos de árvores, respectivamente. A grade de 2 m (limite alterado) conseguiu identificar 7.900 pontos de árvores.
    - O modelo com a grade de 1 m conseguiu identificar uma quantidade maior de árvores nos intervalos de altura inferiores a 20 m quando comparado ao modelo com grade de 2 m. O modelo com grade de 2 m conseguiu identificar mais árvores com alturas superiores a 20,1 m de altura.

  - Grande parte dos indivíduos identificados com raio de copa superiores de 7,5 m encontram-se localizados na área centro norte do Parque Ecológico de Dois Irmãos. Da mesma maneira os indivíduos arbóreos com raios de copa superiores a 10,01 m apresentaram-se encaixadas nas áreas ao norte do Parque Ecológico dissecadas dos tabuleiros.

- Considerando o Modelo desenvolvido nesta pesquisa
  - O modelo apresentou um coeficiente de determinação r^2 de 0,75;
  - É possível observar que o modelo de 1 m apresentou uma maior quantidade de pontos identificados, quando comparado ao modelo de 2 m e aos modelos de 1 e 2 m, obtidos com a aplicação da equação proposta por GalvÍncio e Popescu (2016);
  - O modelo proposto conseguiu identificar uma maior quantidade de indivíduos arbóreos com alturas superiores a 20,1 m;
  - As árvores identificadas com as menores alturas, alturas inferiores a 10 m, localizam-se, principalmente, em áreas de bordas do fragmento, zonas oeste e leste do fragmento, e na área localizada entre o Açude dos Macacos e o Campus da UFRPE;
  - Analisando o raio das copas, foi observada uma grande concentração de indivíduos arbóreos com valores inferiores a 2,5 m no modelo com grade de resolução de 1 m, apresentando mais de 38.000 indivíduos.
- Recomenda-se a elaboração de um mapa indicando as áreas prioritárias para a implantação de vegetação (seja de porte arbórea, herbácea ou arbustiva) visando a promoção da qualidade ambiental urbana nas áreas de entorno dos fragmentos florestais, minimizando os impactos ambientais oriundo de atividades humanas;
- Também é recomendada a preservação de áreas que atualmente possuam vegetação implantada;
- Recomenda-se, por parte do poder Público, a realização de atividades que visem a conscientização dos residentes no entorno dos fragmentos florestais para a manutenção de quintais e áreas verdes existentes, mostrando os serviços ambientais prestados pelas áreas vegetadas.

REFERÊNCIAS

ACCIOLY, L. J.; PACHECO, A.; COSTA, T. C. C.; LOPES, O. F.; OLIVEIRA, M. A. J. Relações empíricas entre a estrutura da vegetação e dados do sensor TM/Landsat. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.3, p.492-498, 2002.

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. **SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land).** Advance Training and Users Manual – Idaho Implementation, version 1.0, 97p., 2002.

ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. Satellite-based energy balance for mapping evapotranspiration with internalized calibration (METRIC) – Model. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.133, n.4, p.380-394, 2007.

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Sttutgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.

ALVES-COSTA, C.P.; LOBO, L.; LEÃO, T.; BRANCALION, P. H. S.; NAVE, A.G.; GANDOLFI, S.; SANTOS, A.M.M.; RODRIGUES, R.R.; TABARELLI, M. **Implementando Reflorestamentos com Alta Diversidade na Zona da Mata Nordestina: Guia Prático.** Recife, 2008.

ARDILA, J. P. BIJKER, W.; TOLPEKIN, V. A.; STEIN, A. Context sensitive extraction of tree crown objects in urban areas using VHR satellite images. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation,** v 15, p. 57–69. 2012.

ASNER, G. P.; J. K. CLARK; J. MASCARO; G. A. GALINDO GARCIA; K. D. CHADWICK; D. A. NAVARRETE ENCINALES; G. PAEZ-ACOSTA; E. CABRERA MONTENEGRO; T. KENNEDY-BOWDOIN; A. DUQUE; A. BALAJI; P. VON HILDEBRAND; L. MAATOUG; J. F. PHILLIPS BERNAL; A. P. YEPES QUINTERO; D. E. KNAPP; M. C. GARĆIA DAVILA; J. JACOBSON; M. F. ORDONEZ. High-resolution mapping of forest carbon stocks in the Colombian Amazon. **Biogeosciences**, v.9, p.2683–2696, 2012

ANGELSEN, A. **Moving Ahead with REDD: issues, options and implications**. Bogor, Indonesia. Center for International Forestry Research (CIFOR), Bogor, Indonesia,156p. 2008.

BALZTER, H.; ROWLAND, C. S.; SAICH, P. Forest canopy height and carbon estimation at Monks Wood National Nature Reserve, UK, using dual-wavelength SAR interferometry. **Remote Sensing of Environment**, v.108, n.3, p.224-239, 2007.

BERNOUX, M.; CARVALHO, M. C. S.; VOLKOFF, B.; CERRI, C.C. Brazil's soil carbon stocks. **Soil Science Society of America Journal**. v. 72, p. 693 – 701. 2002

BEZERRA, M. G. C. L. **Transformações espaço-temporais da mata de dois irmãos a partir da avaliação dos processos de apropriação do espaço.** Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Pernambuco – UFPE. 106 f. Recife – PE, 2006.

BOEGH, E.; SOEGAARD, H.; THOMSEN, A. Evaluating evapotranspiration rates and surface conditions using Landsat TM to estimate atmospheric resistance and surface resistance. **Remote Sensing of Environment**, v.79, n.1, p.329-343, 2002.

BOYD, D. S.; G.M. FOODY, P.J. CURRAN. The relationship between the biomass of Cameroonian tropical forests and radiation reflected in middle infrared wavelenghts (3.0–5.0μm). **Int. Journal. Remote Sensing**., v.20, p. 1017–1023. 1999

BOTELHO, R.G.M e SILVA, A.S. Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental. In: GUERRA, A.J.T. e VITTE, A.C. (orgs). **Reflexões Sobre a Geografia Física no Brasil**. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 3.ed. 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza: **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000.

BRIANEZI, D.; JACOVINE, L. A. G.; SOARES, C. P. B.; CASTRO, R. V. O.; BASSO, V. M. Equações alométricas para estimativa de carbono em árvores de uma área urbana em Viçosa-MG. **Revista Árvore**, Viçosa , v. 37, n. 6, p. 1073-1081, Dec. 2013.

CALDEIRA, M. V. W.; SOARES, R. V.; WATZLAWICK, L. F. Estimativa de biomassa em espécies arbóreas da Floresta Ombrofila Mista Montana – General Carneiro-PR. **Biomassa e Energia**, Viçosa. V. 1, n. 3, p. 291-310. 2004

CHANDER, G.; MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. **IEEE Transactions On Geoscience and Remote Sensing**. v. 41. n. 11. 2003.

CHANDER, G.; MARKHAM, B.; BARSI, J. A. Revised Landsat-5 Thematic Mapper Radiometric Calibration. **IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters**, v. 4, n. 3, JULY 2007

CHEN, X., ZHAO, H., LI, P., YIN, Z.. Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. **Remote Sensing of Environment**. v. 104, n. 2, p. 133 – 146. 2006. Disponível: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425706001787. Acesso: 19 fev. 2010.

CONDEZ, T. H. **Efeitos da fragmentação da floresta na diversidade e abundância de anfíbios anuros e lagartos de serapilheira em uma paisagem do Planalto Atlântico de São Paulo**. 190 f. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) – Instituto Butantan, São Paulo, 2008.

COOPS, N.; HILKER, T.; WULDER, M. STONGE, B.; NEWNHAM, G. SIGGINS, A.; TROFYMOW, J. Estimating canopy structure of Douglas-fir forest stands from discrete-return LiDAR. **Trees – Structure and Function**, v. 21, n. 3, p. 295-310, 2007.

CORREA, A. C. B. Contribuição à análise do Recife como um geossistema urbano. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 23, p. 86-101. 2006

COSTA, C. W.; DUPS, F. A.; CESPEDES, J. G.; SILVA, L. F. Monitoramento da expansão urbana, cenários futuros de crescimento populacional e o consumo de recursos hídricos no município de São Carlos, SP. São Paulo, UNESP, **Geociências**, v. 32, n.1, p. 63-80, 2013

COSTANZA, R. et al. The value of the world's ecosystems services and natural capital. **Nature**,, v. 387, pp. 253-260, 1997.

COSTA, F. P. S. **Evolução urbana e da cobertura vegetal de Piracicaba – SP (1940-2000)**. Dissertação (Mestrado em Ecologia de Agroecossistemas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 96f. 2004

COUTINHO, L. M.; CECÍLIO, R. A. Estudo de vulnerabilidade de unidade de conservação por avaliação multicriterial, o caso da Reserva Biológica de Sooretama-ES. **Engenharia Ambiental** - Espírito Santo do Pinhal , v. 11, n. 1 p. 045-064, jan. / jun. 2014

CUI, H. & YUAN, L. Study on Thermal Environmental Distribution in Coastal City Using ASTER Data. In: **Anais** of Urban Remote Sensing Joint Event. Anais. 2009

DACANAL, C.; LABAKI, L. C.; SILVA, T. M. L. amos passear na floresta! O conforto térmico em fragmentos florestais urbanos. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 115-132, abr./jun. 2010.

DANILIN, I.; MEDVEDEV, E. Forest inventory and biomassassessment by the use of airbone laser scanning method (exemple for Siberia). **Anais** ISPRS Working Group VIII/2.Laser-scanners for forest and landscape assessment proceedings. Freiburg. Ludwing University, p. 139-144, 2004.

DURACK, P.J.; WIJFFELS, S. E. MATEAR, R. J. Ocean Salinities Reveal Strong Global Water Cycle Intensification During 1950 to 2000. **Science** v.27: p.455-458. 2012

ENGEFOTO. **Serviços de Engenharia para Cobertura Aerofotogramétrica, Perfilamento a Laser Aerotransportado, obtenção de polígonos 2D e 3D e restituição Estereofotogramétrica na cidade do Recife: Relatório de Atividades Executadas n 02**. Empresa de Aerolevantamento S/A 198 p. 2013.

FALKOWSKI, MICHAEL J. Quantifying aboveground forest carbon pools and fluxes from repeat LiDAR surveys. **Remote Sensing of Environment**, v.112(5), p.2232–2245. 2012.

FERNANDEZ, F. A. S. **O poema imperfeito: crônicas de biologia, conservação da natureza, e seus heróis**. Ed. da Universidade Federal do Paraná. Curitiba – PR. 265 p. 2000.

FERRAZ, E. M. N.; SILVA, S. I.; ARAUJO, E. L.; MELO, A. L. Espécies lenhosas de interesse econômico na Mata Atlântica de Pernambuco: Distribuição e relação entre formas de uso e abundância das populações. In: **Diagnóstico da biodiversidade de**

Pernambuco (Vol. 2). TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Orgs.). Recife: Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente, Editora Massangana, 2002.

FISZON, J. T.; MARCHIORO, N. de P. X.; BRITEZ, R. M. de; CABRAL, D. de C.; CAMELY, N. C.; CANAVESI, V.; CASTELLA, P. R.; CASTRO, E. B. V. de; JUNIOR, L. C.; CUNHA, M. B. S.; FIGUEIREDO, E. O.; FRANKE, I. L.; GOMES, H.; HRESEMNOU, V. H. V.; LANDAU, E. C.; LIMA, S. M. F.;LOPES, A. T. L.; NETO, E. M.; MELLO, A. L. de; OLIVEIRA, L. C. de; ONO, K. Y.; PEREIRA, N. W. V.; RODRIGUES, A. dos S.; RODRIGUES, A. A. F.; RUIZ, C.C.; SANTOS, L. F. G. L. dos; SMITH, W. S.; SOUZA, C. R. de. Causas Antrópicas. In: MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Fragmentação de Ecossistemas: Causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas.** Biodiversidade 6. Brasília/DF. 2003. p. 66-99.

FREITAS, S. R.; CRUZ, C. B. M. Índices de Vegetação na Caracterização de fragmentos de Mata Atlântica no Estado do Rio de janeiro. In: **Anais** do XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR, Belo Horizonte, Anais Eletrônicos, INPE, p. 2737-2744. 2003.

FREITAS, A. F. Análise da variação microclimática em diferentes níveis de fragmentação. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.09, n.01, p. 226-236. 2016

FREITAS, D. R.; FILHO, M. V.; MENDES, R. M. Loteamentos irregulares em área de risco a escorregamentos no município de São José dos Campos-SP: um estudo dos loteamentos Águas de Canindú I e II e Chacaras Havai. **Revista Univap**. São José dos Campos-SP-Brasil, v. 22, n. 41, dez.2016.

FUNDAÇÂO SOS Mata Atlântica: A Nossa Causa. 2014. Disponível em: <http://www.sosma.org.br/nossa-causa/a-mata-atlantica/>. Acesso em 18/07/2015.

FUNDAÇÂO SOS Mata Atlântica. **Relatório Técnico do Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica – Período 2015/2016.** Disponível em: < https://www.sosma.org.br/projeto/atlas-da-mata-atlantica/dados-mais-recentes/>. Acesso em 24/05/2017

GAO, B. C. NDWI – A Normalized Difference Water Index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v.58, p.257-266. 1996

GALVINCIO, J. D.; POPESCU, S. C. Measuring individual tree height and crown diameter for mangrove trees with airborne lidar data. **International Journal of Advanced Engineering, Management and Science**, v. 2, n. 5, p. 431–443, 2016.

GALINDO,-LEAL, C.; CÂMARA, I. G. **Mata Atlântica : biodiversidade, ameaças e perspectivas.** São Paulo : Fundação SOS Mata Atlântica — Belo Horizonte: Conservação Internacional, 2005.

GASCON, C.; WILLIAMSON, G. B.; FONSECA, G. A. B. Recending forest edges and vanishing reserves. **Science,** v. 288, p. 1356-1358. 2000.

GENELETTI, D. Using spatial indicators and value functions to asses ecosystem fragmentation caused by linear infrastructures. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 5, p.1-15, 2004.

GIONGO, M.; KOEHLER, H. S.; MACHADO, S. A.; KIRCHNER, F. F.; MARCHETTI, M. LIDAR: princípios e aplicações florestais. **Pesquisas Florestais Brasileira**, Colombo, v. 30, n. 63, p. 231-244, 2010.

GOETZ S, BACCINI A, LAPORTE N, JOHNS T, WALKER W, KELLNDORFER J, HOUGHTON R, SUN M: Mapping and monitoring carbon stocks with satellite observations: a comparison of methods. **Carbon Balance Managment**, v. 4, nº 2. 2009

GOMES, V. P. **Avaliação espacial de espécies vegetais em áreas de caatinga com dados LiDAR.** Dissertação de mestrado (Desenvolvimento e Meio Ambiente). 65f. UFPE. 2017

GUEDES, M. L. S. G. **Estudo floristico e fitossociológico de um trecho da Reserva Ecológica da Mata de Dois Irmãos.** Dissertação de Mestrado. Recife. Universidade Federal Rural de Pernambuco. 1992.

GUEDES, M. L. S. A vegetação Fanerogâmica da Reserva Ecológica de Dois Irmãos. **Reserva Ecológica de Dois Irmãos: Estudos em um remanescente de mata atlântica em área urbana.** Pernambuco: Recife, PE, Editora Universitária UFPE, 326 p. 1998.

GUIMARÃES, H. B.; BRAGA, R. A. P.; OLIVEIRA, T. H. Evolução da condição ambiental em fragmentos de mata atlântica na região metropolitana do Recife–PE. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária)**, Recife, v. 07, nº 2, p.306-314, 2012a.

GUIMARÃES, H. B.; BRAGA, R. A. P.; OLIVEIRA, T. H. Serviços Ambientais Gerados por Matas Tuteladas ao Exército Brasileiro na Região Metropolitana no Recife. **Revista Floresta e Ambiente**. Recife, V. 19,nº 3, p 362 – 373, 2012b.

HWANG, R. L., LIN, T.P., MATZARAKIS,. A. Seasonal effects of urban street shading on long-term outdoor thermal comfort. **Building and Enviromment**.v. 46, nº 4, p. 863 - 870. 2011

HUDAK, A. T.; CROOKSTON, NICHOLAS L.; EVANS, JEFFREY S.; FALKOWSKI, MICHAEL K.; SMITH, ALISTAIR M.S.; GESSLER, PAUL E.; MORGAN, PENELOPE. Regression modeling and mapping of coniferous forest basal area and tree density from discrete-return lidar and multispectral data. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v.32, nº2, p.126–138. 2006.

HUETE, A. R. Adjusting vegetation indices for soil influences. **International Agrophysics**, v.4, n.4, p.367-376, 1988.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de Vegetação do Brasil**, Rio de Janeiro – RJ. 1993.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de uso da Terra.** Manuais técnicos em Geociências. n.7. 2ª Edição. Rio de Janeiro - RJ. 2006

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2ª Edição Revista e Ampliada. Rio de Janeiro - RJ, 271p. 2012

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico de 1991, Censo Demográfico 2000 e Censo Demográfico 2010.** Disponível em: https://www.ibge.gov.br/. Acesso em janeiro de 2016.

INSTITUTO POLIS. 2009. Moradia é central: inclusão, acesso e direito a cidade – Recife. Disponível em: < http://www.moradiacentral. org.br/pdf/recife.pdf>. Acesso em: 12 de julho de 2013

IOKI, K. IMANISHI, J.; MORIMOTO, Y.; KITADA, K. Estimating stand volume in broad-leaved forest using discrete return LiDAR: plot-based approach. **Landscape and Ecological Engineering**, v. 6, n. 1, p.29-36. 2010.

IPCC - Painel Intergovernamental Sobre Mudanças do Clima. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2013: The Physical Science Basis.** Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 2013

ISERNHAGEN, I.; LE BOURLEGAT, J. M. G.; CARBONI, M. Trazendo a riqueza arbórea regional para dentro das cidades: possibilidades, limitações e benefícios. **REVSBAU**, Piracicaba, SP, v.4, n.2, p.117-138, 2009.

JÚNIOR, O. A. C.; COELHO, M. A. N.; MARTINS, E. S.; GOMES, R. A. T.; JUNIOR, F. C.; OLIVEIRA, S. N.; SANTANA, O. A. Mapeamento da vegetação na floresta atlântica usando o classificador de árvore de decisão para integrar dados de sensoriamento remoto e modelo digital de terreno. **Revista Brasileira de Geofísica**. Vol.26, nº.3, São Paulo. Jul/Set., 2008.

KÖPPEN, W. **Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra**. Fondo de Cultura Econômica. México. 479p. 1948

KLOK L., ZWART, S., VERHAGEN, H., MAURI E. The surface heat island of Rotterdam and its relationship with urban surface characteristics. **Resources, Conservation and Recycling** [online] 64. 2012. Disponível: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344912000110. Acesso: 9 jun. 2015. DOI:10.1016/j.resconrec.2012.01.009.

LAURANCE, W. F.; LOVEJOY, T. E.; VASCONCELOS, H. L.; BRUNA, E. M.; DIDHAM, R. K.; STOUFFER, P. C.; GASCON, C.; BIERREGAARD, R. O.;

LAURANCE, S. G.; SAMPAIO, E. Ecosystem Decay of Amazonian Forest Fragments: a 22-Year Investigation. **Conservation Biology**, v. 13, n. 3, p. 605-618, 2002.

LAURENCE, W.F. Theory meets reality: How habitat fragmentation research has transcended island. Biogeographic theory. **Biol. Conserv**., v. 141, p. 1731 – 1744, 2008.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da paisagem com SIG.** 1ª edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

LEITE, A. P.; SANTOS, G. R.; SANTOS, J. E. O. Análise temporal dos índices de vegetação ndvi e savi na estação experimental de itatinga utilizando imagens landsat 8. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v.6, n.4, p. 606-623, 2017.

LIMA, M. G. C.; CORRÊA, A. C. B. Apropriação de uma unidade de Conservação de Mata Atlântica no espaço urbano de Recife – PE: o caso da Reserva de Dois Irmãos. **Revista de Geografia**, Campo Grande, v. 22, p. 67-77, 2005.

MACEDO, R. C. **Estimativa volumétrica de povoamentos clonal de Eucalyptus sp. Através de laser scanner aerotransportado.** 143 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009.

MACHADO, R. R. B.; PEREIRA, E. C. G.; ANDRADE, L. H. C. Evolução temporal (2000-2006) da cobertura vegetal na zona urbana do município de Teresina – Piauí – Brasil. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana - REVSBAU**, Piracicaba – SP, v.5, n.3, p.97-112. 2010.

MACHLIS, G. E.; TICHNELL, D. L. **The State of the World's Parks: An International Assessment for Resource, Management, Policy and Research**. Boulder (CO): Westview Press. Westview Press; 1 edition, 131 p. 1985.

MAGALHÃES, I. A. L.; JUNIOR, O. A. C.; SANTOS, A. R. Análise comparativa entre técnicas de sensoriamento remoto para mensuração da vegetação urbana no município de alegre, ES. **Revista Cerrados**. Montes Claros, v.15, n.1, p. 156-177, jan/jun-2017

MAIA, L. H.; DE SOUSA, G. M.; FERNANDES, M. do C.. Uso de Mineração de Dados para Mapeamento da Cobertura da Terra em Imagem OLI/Landsat 8 no Parque Nacional do Itatiaia. **Revista Continentes**, n. 8, p. 63-74, jan. 2016

MARCOLIN, Moacir; et. al. Emissões e Remoções de Dióxido de Carbono por Mudanças nos Estoques de Florestas Plantadas. In: **Primeiro Inventário Brasileiro de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa.** Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável. Publicação do Ministério da Ciência e Tecnologia. Brasília, 2006

MARKHAM, B. L. e BARKER, L. L. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. **International Journal of Remote Sensing**, v.8, n.3, p.517-523, 1987.

MARTINI, A.; BIONDI, D. Microclima e Conforto Térmico de um Fragmento de Floresta Urbana em Curitiba, PR. **Floresta e Ambiente**; V. 22, nº2, p.182-193. 2015

MCDONNELL, M. J.; MACGREGOR-FORS, I. The ecological future of cities. **Science**, v. 352, n. 6.288, p. 936-938, 2016.

MCFARLANE, R., SLEIGH, A. & MCMICHAEL, A. Land-use change and emerging infectious disease on an island continent. **Internacional Journal of Environmental Research and Public Health**. V. 10, nº 7, p 2699–2719. 2013.

MCGAUGHEY, R.J. **FUSION/LDV: Software for LiDAR Data Analysis and Visualization.** United States Department of Agriculture. Forest Service. Pacific Northwest Research Station, Seatle. 150p. 2010

MELO, M. D. V. C.; FURTADO, M. F. G. Florestas urbanas: estudo sobre as representações sociais da Mata Atlântica de Dois Irmãos, na cidade do Recife – PE. São Paulo: Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, 45 p.: il. ; 21 cm. **Cadernos da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica**. Série Ciência e Pesquisa; 33. 2006

MELO, A. G. C.; CARVALHO, D. A.; CASTRO, G. C.; MACHADO, E. L. M. Fragmentos florestais urbanos. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal**. Garça-SP, v.17, n.1, p.58-79, Fev. 2011

METZGER, J. P. Estrutura da paisagem: o uso adequado de métricas. In: CULLEN JUNIOR, L. et al. (Ed.). **Métodos de estudos em biologia da conservação e manejo da vida silvestre.** 2. ed. Curitiba: UFPR. p. 423-453. 2004

METZGER, J. P. Como restaurar a conectividade de paisagens fragmentadas In: KAGEYAMA, P. Y. et al. (Orgs.). **Restauração ecológica de ecossistemas naturais.** Botucatu: FEPAF, v. 1, 340 p. 2008.

MILLENNIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being: synthesis.** Washington –DC, United States of América, Island Press, 2005.

MUCHAILH, M. C. **Análise da Paisagem Visando à Formação de Corredores de Biodiversidade: Estudo de caso da porção superior da bacia do rio São Francisco Falso, Paraná.** Curitiba. 142 f. Dissertação (Mestrado em Eng. Florestal) – Universidade Federal do Paraná. 2007.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, p. 853-858, 2000.

NAESSET, E. Determination of mean tree height of forest stands using airbone laser scanner data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 52, n. 2, p. 49-56, 1997.

NILSSON, M. Estimation of the tree Heights and stand volume using an Airbone LiDAR System. **Remote Sensing of Environment**, v. 56, p. 1-7, 1996.

NOWAK, D.J., CRANE, D.E., STEVENS, J.C., IBARRA, M. **Brooklyn's Urban Forest. General Technical Report NE-290.** Radnor, Pennsylvania. 2002. Disponível: http://www.fs.fed.us/ne/newtown_square/publications/technical_reports/pdfs/2002/gtrne290.pdf. Acesso: 14 fev. 2015.

OLIVEIRA, J. S. S.; SOUZA, J. R.; OLIVEIRA, T. H.; GALVINCIO, J. D.; TORRES, M. F. A. Análise multitemporal de um fragmento de Mata Atlântica como gerador de ilha de amenidade em área urbana através do IVAS e a temperatura da superfície, estudo de caso: Mata do Engenho Uchôa, Recife – PE. In: **Anais** do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, 2011, Curitiba - PR. Anais. São José dos Campos - SP: INPE, 2011. v. 01. p. 1873-1880. 2011

OLIVEIRA, T. H. **Mudança espaço temporal do uso e cobertura do solo e estimativa do balanço de energia e evapotranspiração diária no município do Recife-PE.** Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco. CFCH. Programa de Pós–Graduação em Geografia. 154 f. 2012.

OLIVEIRA, T.H., GALVÍNCIO, J.D., PIMENTEL, R.M.M., SILVA, B.B. Uso e cobertura do solo e seus efeitos na distribuição da temperatura de superfície em área urbana. **Revista Brasileira de Geografia Física**. Recife, v. 6, nº6, p. 1598 – 1616. Disponível: www.revista.ufpe.br/rbgfe/indexphp/revista/article/view/698. Acesso: 1 mar. 2015.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Prospecção de População Mundial.** Departamento de Economia e Política Social. Disponível em: https://www.unric.org/pt/actualidade/31537-relatorio-da-onu-mostra-populacao-mundial-cada-vez-mais-urbanizada-mais-de-metade-vive-em-zonas-urbanizadas-ao-que-se-podem-juntar-25-mil-milhoes-em-2050. Acessado em: Julho, 2017

PAIVA, H. N.; GONÇALVES, W. **Florestas urbanas: planejamento para melhoria da qualidade de vida.** Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 180 p., 2002.

PAN, Y., BIRDSEY, R. A., FANG, J., HOUGHTON, R. A., KAUPPI, P. E., KURZ, W. A., PHILLIPS, O. L., SHVIDENKO, A., LEWIS, S. L., CANADELL, J. G., CIAIS, P., JACKSON, R. B., PACALA, S., MCGUIRE, A. D., PIAO, S., RAUTIAINEN, A., SITCH, S., HAYES, D.: A large and persistent carbon sink in the world's forests, **Science,** 333, p. 988–993, 2011.

PAULA, I. F. M.; PIMENTEL, F. O.; FERREIRA, C. C. M. Correlação entre a temperatura de superfície e o índice vegetativo no perímetro urbano de Juiz de Fora – MG. **Revista de Geografia – PPGEO**. Juiz de Fora, v.6, n.4, p.339-351, 2016

PAULEIT. S., ENNOS, R., GOLDING, Y. Modeling the environmental impacts of urban land use and land cover change - a study in Merseyside, UK. **Landscape and Urban Planning**, v. 71, Nº 2 – 4, p. 295 – 310. 2005

PEDI. **Plano de Manejo do Parque Estadual de Dois Irmãos.** Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade. Coordenação técnica Marina Falcão Rodrigues Silvana Paula Valdevino da Silva. Governo do Estado de Pernambuco. 193 p. Recife, agosto de 2014.

PERNAMBUCO. Lei Estadual n. 9.989 de 13 de janeiro de 1987. Define as reservas ecológicas da Região Metropolitana do Recife. Pernambuco. **Diário Oficial do Estado de Pernambuco** de 13/01/1987.

PERNAMBUCO. Lei Estadual n.11.622 de 30 de dezembro de 1998. Dispõe sobre a mudança de categoria, de Manejo das Reservas Ecológicas de Caetés e Dois Irmãos e dá outras providências. . **Diário Oficial do Estado de Pernambuco** 30/12/1998.

PERNAMBUCO. Lei Estadual n.13.787 de 08 de junho de 2009. Institui o Sistema Estadual de Unidades de Conservação da Natureza – SEUC, no âmbito do Estado de Pernambuco. **Diário Oficial do Estado de Pernambuco** de 08/06/2009.

PHAN, L. T. H.; BRABYN, L.; ASHRAF, S. Combining QuickBird, LiDAR, and GIS topography indices to identify a single native tree species in a complex landscape using an object-based classification approach. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation,** V. 50, P.187-197. 2016

PIAZZA, G. A.; VIBRANS, A. C.; LIESENBERG, V.; OLIVEIRA, L. Z.; MOSER, P. Mapeamento de remanescentes em estágio inicial de sucessão na floresta subtropical atlântica do sul do Brasil. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 22, n.4, p.774 - 789, out - dez, 2016

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação.** 2ª ed. Atualizada e ampliada – São Paulo: Oficina de textos, 2012.

POPESCU, S. C. **Estimating Plote-level forest biophysical parameters using small-footprint Airbone Lidar measurements.** Blacksburg, Virgínia, 115f. Tese (Doutorado em Floresta) – Departament of Forestry, Virginia Tech, 2002.

POPESCU, S. C., WYNNE, R. H., e NELSON, R. F. Measuring individual tree crown diameter with lidar and assessing its influence on estimating forest volume and biomass. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v.29, nº 5, p.564–577. 2003

POPESCU, S. C., e WYNNE, R. H. Seeing the trees in the forest: Using LIDAR and multispectral data fusion with local filtering and variable window size for estimating tree height. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.70, nº5, p.589−604. 2004

POPESCU, S. C. Estimating biomass of individual pine trees using airborne Lidar. **Biomass and Bioenergy**, v.31, p 646–655. 2007.

POPESCU, S. C. e ZHAO, K. A voxel-based LiDAR method for estimating crown base height for deciduous and pine trees. **Remote Sensing of Environment**, v.112, p. 767–781. 2008

POPESCU, S.C.; ZHAO, K.; NEUENSCHWANDER, A.; LIN, C. Satellite lidar vs. small footprint airborne lidar: Comparing the accuracy of aboveground biomass estimates and forest structure metrics at footprint level. **Remote Sensing of Environment,** v. 115, p. 2786–2797. 2011

PULIAFITO, S. E. et al. Green areas and microscale thermal comfort in arid environments: a case study in Mendoza, Argentina. **Atmospheric and Climate Sciences,** v. 3, p. 372-384. 2013

RANTA, P.; BROM, T.; JOENSUU, E.; MIKKO, S. The fragmented atlantic forest of Brazil: size, shape and distribution of forest fragments. **Biodiversity Conservation**, v.7, p. 385-403. 1998.

REX, F. E.; CORTE, A. P. D.; MACHADO, S. A..; SANQUETTA, C. R. Identificação e extração de copas de Araucaria angustifolia (Bertol.) Kuntze a partir de dados lidar. **Advances in Forestry Science**., Cuiabá, v.5, n.2, p.319-323, 2018

RIBEIRO, M C., METZGER, J P., MARTENSEN, A C., PONZONI, FJ., and HIROTA, M M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? **Implications for conservation. Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141-1153. 2009

RIBEIRO, M. C.; MARTNSEN, A. C.; METZGER, J. P.;TABARELLI, M.; SCARANO, F.; FORTIN, M. The Brazilian Atlantic Forest: A Shrinking Biodiversity Hotspot. In: Frank E. Zachos; Jan Christian Habel. (Org.). **Biodiversity Hotspots: Distribution and Protection of Conservation Priority Areas.** Berlin: Springer-Verlag, p. 405-434, 2011.

RICKLEFS, R. E. **A Economia da Natureza.** 5ª Edição. Rio de Janeiro. Guanabara Koogan, 2003.

RODRIGUEZ L. C. E, POLIZEL J. L, FERRAZ S. F. B, ZONETE M. F, FERREIRA M. Z. Inventário florestal com tecnologia laser aerotransportada de plantios de Eucalitus spp no Brasil. **Ambiência.** Garapuava (PR), v.6, Ed. Especial, p. 67-80. 2010

ROSCOE, R. Rediscutindo o papel dos ecossistemas terrestres no seqüestro de carbono. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, v. 20, n. 2, p. 209-223. 2003

SAMPAIO, Y., ALCÂNTARA, R.; SAMPAIO, E. Ação antrópica e biodiversidade: O índice de pressão antrópica em Pernambuco. In: **Diagnóstico da biodiversidade de Pernambuco (Vol. 2).** TABARELLI, M.; SILVA, j. m. c. (Orgs.). Recife: Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente, Editora Massangana, 2002.

SANQUETTA, C. R. Métodos de determinação de biomassa florestal. In: SANQUETTA, C. R.; WATZLAWICK, L. F.; BALBINOT, R.; ZILIOTTO, M. A. B.; GOMES, F. dos S. (Ed.). **As florestas e o carbono.** Curitiba: Ed. dos Autores. Curitiba: [s.n.], p. 119-140. 2002

SANTANA, S. H. C. DE; SILVA, E. R. A. C.; LAURENTINO, M. L. S.; MELO, J. G. DA S.; GALVÍNCIO, J. D. Identificação dos índices de vegetação com melhores respostas espectrais para a Mata Atlântica na cidade de São Paulo - SP. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, V. 03, N. 02, p. 200-209. 2018

SANTIN, D. A. **A vegetação remanescente do município de Campinas (SP): mapeamento, caracterização fisionômica e florística, visando a conservação**. 502 p. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Universidade Estadual de Campinas, SP. 1999.

SCHUMACHER, M. V.; HOPPE, J. M.; BARBIERI, S. **Quantificação da biomassa e do conteúdo de nutrientes no corte raso de uma floresta de Araucaria angustifolia (Bert.) O. Ktze. na região de Quedas do Iguaçu-PR**. Santa Maria, RS: UFSM. Relatório de pesquisa. 2002

SHAMS, J.C.A., GIACOMELI, D.C., SUCOMINE, N.M. Emprego da arborização na melhoria do conforto térmico nos espaços livres públicos. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana - REVSBAU**, Piracicaba – SP, v. 4.nº4, p. 1 – 16, 2009

SILVA, V. V. da. **Médio Vale da Paraíba do Sul: Fragmentação e Vulnerabilidade dos Remanescentes da Mata Atlântica.** 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2002.

SILVA, B.B.; CÂNDIDO, M. V. Determinação da evapotranspiração em escala regional através do SEBAL e imagens Landsat 5 – TM. In: **Anais** do XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza. 2004

SILVA, B. B. da; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. de. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 – TM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 2, p. 243-252, 2005.

SILVA, B. B., GALVÍNCIO, J. D.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MACHADO, C. C. C.; OLIVEIRA, L. M. M. DE; MOURA, M. S. B.. 2013a. Determinação por Sensoriamento Remoto da Produtividade Primária Bruta do Perímetro Irrigado São Gonçalo – PB. Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife, PE, Brasil Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), Petrolina, PE, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, nº1, p.57–64. 2013

SILVA, B. C.; MOLINARI, D. C. Aspectos fitossociológicos dos fragmentos florestais da cidade de Manaus (AM). **Caderno de Geografia**, v.27, n.51, 2017

SILVA, L. A. P.; LEITE, M. R. Estimativa por sensoriamento remoto do comportamento da temperatura de superfície diante da conversão de Cerrado à Pastagem. **Geografia em Atos** (Online), v.1, n.5, 2017b

SILVA, I. L. G.; SILVA, C. A.; KLAUBERG, C.; MELLO, J. M. Detecção de árvores individuais em área florestal mista de coníferas por meio de dados LiDAR aerotransportando. **Advances in Forestry Science**, Cuiabá, v.4, n.2, p.107-112, 2017c

SILVA JÚNIOR, L. A. S.; DELGADO, R. C.,WANDERLEY, H. S. Estimativa da temperatura da superfície por sensoriamento remoto para a região da Amazônia Ocidental Brasileira. **Revista Brasileira de Geografia Física** v.11, n.01. 2018.

SIQUEIRA, D. R. **Estudo floristico e fitossociológico de um trecho da Mata do Zumbi, Cabo de Santo Agostinho Pernambuco**. Dissertação de Mestrado. Recife. Universidade Federal Rural de Pernambuco. 1997.

SOUZA, S. M.; SILVA, A. G.; SANTOS, A. R.; GONÇALVES, W.; MENDONÇA, A. R. Análise dos fragmentos florestais urbanos da cidade de Vitória – ES. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana - REVSBAU**, Piracicaba – SP, v.8, n.1, p.112-124, 2013.

SMUP. Lei municipal nº 18.014/2014. Institui o Sistema Municipal de Unidades Protegidas – SMUP. **Diário Oficial do Recife.** 2014.

SOS MATA ATLÂNTICA. Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica, período de 2012 a 2013. Rio de Janeiro, 2017. Disponível em: <http://www.sosmataatlantica.org.br>. Acesso em: 02-01-2017.

TABARELLI, M, PINTO L.P., SILVA J.M.C., HIROTA, M.M., BEDE, L.C. Desafios e oportunidades para a conservação da biodiversidade na Mata Atlântica brasileira. **Megadiversidade,** v. 1, nº1, p. 132-138. 2005

TAVARES, M. C. G. **Fitossociologia do componente arbóreo de um trecho de floresta Serrana do Parque Ecológico Vasconcelos Sobrinho, Caruaru, Pernambuco**. Dissertação de Mestrado. Recife. Universidade Federal Rural de Pernambuco. 1998

TAYLOR, P. D.; FAHRIG,L. HENEIN, K.; MERRIAM, G. Connectivity is a vital element of landscape structure. **Oikos**,v. 69, p. 571 – 573, 1993.

TRAN, D. X.; PLA, F.; LATORRE-CARMONA, P.; MYINT, S. W.; CAETANO, M.; KIEU, H. V. Characterizing the Relationship between Land Use Land Cover Change and Land Surface Temperature. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing.** V. 124, P. 119-132. 2017

WEBER, A. e REZENDE, S.M. Reserva Ecológica e Parque de Dois Irmãos: Histórico e Situação Atual. In: Machado, Isabel Cristina; Lopes, Ariadna Valentina e Porto, Kátia Cavalcanti (orgs.). **Reserva Ecológica de Dois Irmãos: Estudos de Um remanescente de Mata Atlântica em Área Urbana**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 1998.

WENG, Q., LU, D., SCHUBRING, J. Estimation of land surface temperature – vegetation abundance relationship for urban heat island studies. **Remote Sensing of Environment,** v. 89, nº 4, p. 467 – 483. 2004 Disponível: http://www.science direct.com/science/article/pii/S0034425703003390. Acesso: 15 jun. 2009.

WENG, Q., QUATTROCHI, D.A. Thermal remote sensing of urban areas: An introduction to the special issue. **Remote Sensing of Environment**, V.104, nº 2, p. 119 – 122, 2006. Disponível: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003442 5706001763. Acesso: 15 jun. 2009.

WHITFORD, V., ENNOS, A.R., HANDLEY, J. City form and natural process—indicators for the ecological performance of urban areas. and their application to Merseyside, UK. **Landscape Urban Plann**, v. 57, nº 2, p. 91 - 103. Disponível: http://www.sciencedirect.com/science/article/p ii/S016920460100192X. Acesso: 20 jun. 2010.

VIANA, V.M. Conservação da biodiversidade de fragmentos de florestas tropicais em paisagens intensamente cultivadas. In: **Abordagens interdisciplinares para a Conservação da Biodiversidade e Dinâmica do Uso da Terra no Novo Mundo.** Gainesville: Conservation International do Brasil/Universidade Federal de Minas Gerais/University of Florida, 1995. p. 135-154.

VIANA, V. M.; PINHEIRO, L. A. F. V. Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais. **Série Técnica IPEF**, v. 12, nº 32, p. 25-42. Dez. 1998

VIEIRA, C. H. S. D.; BIONDI, D. Análise da dinâmica da cobertura vegetal de Curitiba, PR (de 1986 a 2004), utilizando imagens Landsat TM. **Revista Árvore**, vol.32, n.3, p. 479-487. 2008

VILLELA, D.M.; De MATTOS, E.A.; PINTO, A.S.; VIEIRA, S.A.; MARTINELLI, L.A. Carbon and nitrogen stock and fluxes in coastal Atlantic Forest of southeast Brazil: potential impacts of climate change on biogeochemical functioning. **Braz. J. Biol**., São Carlos , v. 72, n. 3, p. 633-642, Aug. 2012.

VOGEL, H. L. M.; SCHUMACHER, M. V.; TRÜBY, P. Quantificação da biomassa em uma Floresta Estacional Decidual em Itaara, R.S., Brasil. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 4, p. 419-425. 2006.

WOODS, M., P., D., PENNER, M.; LIM, K.; NESBITT, D.; ETHERIDGE, D.; TREITZ, P. Operational implementation of a LiDAR inventory in boreal Ontario. **The Forestry Chronicle**, Vol. 87, p. 512–528. 2011

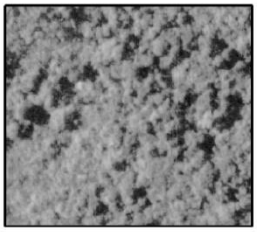
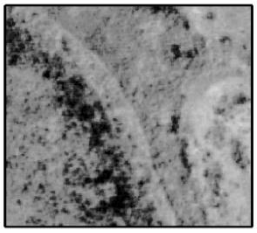
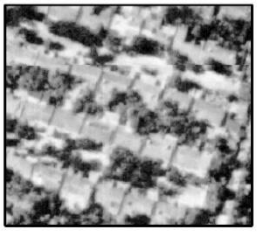
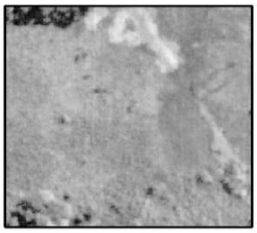
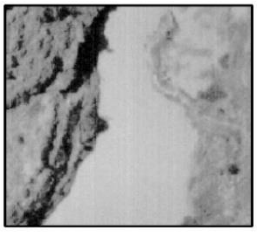
XIAO, W.; XU S.; ELBERINK, S. O. E VOSSELMAN, G. Change detection of trees in urban areas using multi-temporal airborne lidar point clouds. In: **Anais** of Remote Sensing of the Ocean, Sea Ice, Coastal Waters, and Large Water Regions, 2012.

YUAN, F.; SAWAYA, K.E.; LOEFFELHOLZ, B.C.; BAUER, M.E. Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing. **Remote Sensing of Environment,** v. 98, p. 317 – 328. 2005

ZANDONÁ, D. F.; LINGNAU, C. NAKAJIMA, N. Y. Varredura a Laser aerotransportado para estimativa de variáveis dendrométricas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 80, p. 295-306, dez. 2008.

ZHAO, K.; POPESCU, S.; NELSON, R. Lidar remote sensing of forest biomass: A scale-invariant estimation approach using airborne lasers. **Remote Sensing of Environment** v.113, p.182–196. 2009.

APÊNDICE A - CHAVE DE INTERPRETAÇÃO PARA ANÁLISE VISUAL DE USO E COBERTURA DO SOLO UTILIZADAS NO MAPEAMENTO.

Fotografia aérea	Ortofotocarta	
		Vegetação arbórea ou Florestal
		Vegetação herbácea e arbustiva
		Área urbana
		Área alagada
		Solo exposto e vias
		Corpos hídricos