

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**CÂMPUS LONDRINA**  
**CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

LETÍCIA ROSIM PORTO

**GEORREFERENCIAMENTO E PROCESSAMENTO DE IMAGENS DE  
SENSORIAMENTO REMOTO APLICADOS À ANÁLISE DA  
ARBORIZAÇÃO URBANA EM LONDRINA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**LONDRINA**

**2017**

**LETÍCIA ROSIM PORTO**

**GEORREFERENCIAMENTO E PROCESSAMENTO DE IMAGENS DE  
SENSORIAMENTO REMOTO APLICADOS À ANÁLISE DA  
ARBORIZAÇÃO URBANA EM LONDRINA**

Monografia apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina.

Orientador (a): Prof. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista

Coorientador (a): Prof. Dra. Patrícia Carneiro Lobo Faria

**LONDRINA**

**2017**



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Londrina  
Coordenação de Engenharia Ambiental



## TERMO DE APROVAÇÃO

Título da Monografia

Georreferenciamento e processamento de imagens de sensoriamento remoto  
aplicados à análise da arborização urbana em Londrina

por

Letícia Rosim Porto

Monografia apresentada no dia 12 de junho de 2017 ao Curso Superior de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho \_\_\_\_\_ (aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Adriana Castreghini de Freitas Pereira  
(UEL – Departamento de Geociências)

\_\_\_\_\_  
Prof. Dr. Edson Fontes de Oliveira  
(UTFPR)

\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Ligia Flávia Antunes Batista  
(UTFPR)  
Orientadora

\_\_\_\_\_  
Profa. Dra. Edilaine Regina Pereira  
Responsável pelo TCC do Curso de Eng. Ambiental

"A Folha de Aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso"

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer aos meus pais, Ronaldo e Valquíria, por todo amor, apoio e incentivo durante toda a graduação. À minha irmã e melhor amiga, Beatriz, que mesmo longe nos últimos meses sempre continuou me incentivando. Ao Lucas, pelo companheirismo, incentivo e paciência.

Às minhas orientadoras, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ligia Flávia A. Batista e Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Patrícia C. L. Faria, pelos ensinamentos, pela paciência, por aceitarem me orientar e por dedicarem seu tempo e conhecimento na elaboração deste trabalho.

Às minhas amigas Bárbara e Gabriella, pela amizade durante toda graduação e principalmente por todo apoio e incentivo nesses últimos meses. Ao meu amigo Igor, por todo companheirismo nas longas tardes de coleta de dados em campo.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Adriana Castreghini de Freitas Pereira e ao Prof. Dr. Edson Fontes de Oliveira, por aceitarem participarem da banca examinadora e contribuírem com este trabalho.

Por fim, a todos que estiveram ao meu lado e, direta ou indiretamente, ajudaram na execução deste trabalho.

## RESUMO

PORTO, L. R. Georreferenciamento e processamento de imagens de sensoriamento remoto aplicados à análise da arborização urbana em Londrina. 2017. 54f. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2 – Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. Londrina, 2017.

Inventários de arborização urbana envolvem trabalhosos levantamentos de campo. Apesar das dificuldades, tais levantamentos são necessários principalmente para permitirem o delineamento de diretrizes de gestão ambiental por parte de órgãos públicos, prefeituras, entre outros. O objetivo deste trabalho é avaliar se é possível caracterizar qualitativamente a distribuição espacial da arborização urbana por meio de imagens de Sensoriamento Remoto. Foram coletados dados sobre as árvores da área central do município de Londrina, estado do Paraná, os quais foram geocodificados e integrados em um banco de dados geográfico, que permite consultas por expressão. Aplicou-se então o operador de densidade Kernel, a fim de comparar seus resultados com índices de vegetação NDVI e EVI gerados com imagens RapidEye, pelo ajuste de um modelo de regressão. Os índices foram calculados utilizando as equações apresentadas na literatura e também substituindo o termo que corresponde à faixa do vermelho pela faixa *red-edge*. A modelagem dos dados foi feita para as ruas São Salvador, Alagoas e Cuiabá. Os resultados apresentaram os valores mais altos para o modelo de regressão do índice EVI com a faixa *red-edge* para a rua Cuiabá, com coeficiente de determinação pouco acima de 17,27%. Tal resultado mostrou que o método aplicado não foi bem-sucedido para a avaliação da arborização urbana com as imagens de Sensoriamento Remoto e técnicas utilizadas, porém, o banco de dados georreferenciado e o que ele possibilita em termos de consultas são importantes ferramentas de gestão pública.

**Palavras-chave:** Kernel; Índices de Vegetação; RapidEye; Geocodificação;  
Plano Diretor de Arborização Urbana

## ABSTRACT

PORTO, L. R. Georeferencing and processing of remote sensing imagery applied to urban tree analysis in Londrina. 2017. 54f. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina Trabalho de Conclusão de Curso 2 – Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina. Londrina, 2017.

Urban tree inventory requires field surveys which are difficult undertaking. Despite this, such surveys are necessary mainly to permit the definition of environmental management guidelines by public agencies, prefectures, and others. The aim of this work is to evaluate if it is possible to characterize qualitatively the spatial distribution of urban trees from Remote Sensing imagery. It was collected a data set about trees of central area of Londrina city, Paraná State, which were geocoded and integrated in a geographic database, which allows queries by expression. It was applied the Kernel density operator, in order to compare the results with vegetation index NDVI and EVI, generated with RapidEye imagery, and to assess the fitting of a regression model. The indexes were calculated using the equations presented in literature and also by replacing the term that correspond to the red band by red edge band. The data modeling was done for the following streets: São Salvador, Alagoas and Cuiabá. The results presented the highest values for the regression model of the EVI index with the red edge band for Cuiabá street with a determination coefficient slightly above 17.27%. This result showed that the applied method was not successful for the evaluation of urban trees from the Remote Sensing imagery and techniques used. However, the georeferenced database and what it enables in terms of queries are important tools of public management.

**Key words:** Kernel; Vegetation Indexes; RapidEye; Geocoding; Urban Tree Master Plan

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 –</b>	Radiação eletromagnética na formação da imagem.....	13
<b>Figura 2 –</b>	Características típicas de reflectância espectral para gramínea verde sadia e para solo seco exposto, no intervalo entre 250 e 1.000 nm.....	17
<b>Figura 3 –</b>	Imagem RapidEye do Estado do Rio de Janeiro (a) com aplicação de NDVI e correção atmosférica (b).....	19
<b>Figura 4 –</b>	Estimador de densidade de distribuição de pontos.....	20
<b>Figura 5 –</b>	Representação gráfica da função de quarta ordem.....	21
<b>Figura 6 –</b>	Representação gráfica da função gaussiana.....	22
<b>Figura 7 –</b>	Distribuição de casos de mortalidade por causas externas em Porto Alegre em 1996 (a). Aplicação do estimador de densidade Kernel (b).....	23
<b>Figura 8 –</b>	Tela do Portal Árvores de Campinas.....	24
<b>Figura 9 –</b>	Consulta por expressão lógica para seleção de todas as árvores da espécie <i>Tipuana tipu</i> , infestadas por erva-de-passarinho e localizadas na Rua Cônego Braga e os respectivos resultados.....	25
<b>Figura 10 –</b>	Portal online do projeto New York City Street Tree Map.....	26
<b>Figura 11 –</b>	Carta da área de estudo.....	28
<b>Figura 12 –</b>	Fluxograma de atividades desenvolvidas no transcorrer do trabalho.....	30
<b>Figura 13 –</b>	Carta das árvores inventariadas em trechos da região central de Londrina, PR.....	32
<b>Figura 14 –</b>	Carta das árvores de grande porte amostradas na região central de Londrina, PR.....	33
<b>Figura 15 –</b>	Carta das árvores de origem exótica inventariadas em amostragem na região central de Londrina, PR.....	34
<b>Figura 16 –</b>	Carta dos espaços disponíveis para introdução de mudas de árvore na região central de Londrina, PR.....	35

<b>Figura 17 –</b>	Carta com as árvores da espécie <i>Murraya paniculata</i> amostradas na região central de Londrina, PR.....	36
<b>Figura 18 –</b>	Visualização no Google Earth Pro do banco de dados georreferenciado para arborização amostrada na área central de Londrina, PR.....	37
<b>Figura 19 –</b>	Carta do Operador de densidade Kernel, gerado com parâmetros de 50 m de raio e resolução espacial de 30 m.....	39
<b>Figura 20 –</b>	Recorte do estimador de densidade Kernel para a extensão das ruas São Salvador, Alagoas e Cuiabá.....	40
<b>Figura 21 –</b>	Imagem RapidEye com composição R3G5B2.....	41
<b>Figura 22 –</b>	Carta do Índice de vegetação EVI, gerado com resolução espacial de 30 m.....	42
<b>Figura 23 –</b>	Carta do Índice de vegetação EVI com red-edge, gerado com resolução espacial de 20 m.....	43
<b>Figura 24 –</b>	Recorte dos índices de vegetação EVI com resolução espacial 30 m nas ruas São Salvador (a), Alagoas (b) e Cuiabá (c); e EVI red-edge com resolução espacial 20 m nas ruas São Salvador (d), Alagoas (e) e Cuiabá (f).....	44
<b>Figura 25 –</b>	Gráfico de dispersão e reta de regressão entre pontos de EVI, banda red, resolução de 30 m e Kernel, com raio 50 m e resolução de 30 m para a rua São Salvador. $R^2=8,03\%$ .....	45
<b>Figura 26 –</b>	Gráfico de dispersão e reta de regressão entre pontos de EVI red-edge, com resolução de 20 m e Kernel com raio de 50 m e resolução de 30 m para a rua São Salvador. $R^2=8,90\%$ .....	47
<b>Figura 27 –</b>	Gráfico de dispersão e reta de regressão entre pontos de EVI red-edge, com resolução de 20 m e Kernel com raio de 50 m e resolução de 30 m para a rua Alagoas. $R^2=12,57\%$ .....	48
<b>Figura 28 –</b>	Gráfico de dispersão e reta de regressão entre pontos de EVI red-edge, com resolução de 20 m e Kernel com raio de 50 m e resolução de 30 m para rua Cuiabá. $R^2=17,27\%$ .....	48



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>10</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	10
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>11</b>
3.1 ARBORIZAÇÃO URBANA.....	11
3.2 SENSORIAMENTO REMOTO.....	12
3.3 PROCESSAMENTO DA IMAGEM.....	14
3.4 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE VEGETAÇÃO E ÍNDICES DE VEGETAÇÃO .....	16
3.5 AVALIAÇÃO DE DENSIDADE POR ÁREA .....	20
3.6 TRABALHOS RELACIONADOS.....	23
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>27</b>
4.1 ÁREA DE ESTUDO .....	27
4.2 GEOCODIFICAÇÃO .....	28
4.3 AVALIAÇÃO DE DENSIDADE POR ÁREA.....	29
4.4 PROCESSAMENTO DA IMAGEM.....	29
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>31</b>
5.1 BANCO DE DADOS E CONSULTAS.....	31
5.2 ESTIMADOR DE DENSIDADE KERNEL.....	38
5.3 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO .....	40
5.4 MODELAGEM.....	44
<b>6. CONCLUSÃO .....</b>	<b>49</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>51</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, grande parte da população mundial vive em centros urbanos. No Brasil não é diferente, na Região Sul, por exemplo, mais de 20 milhões de pessoas já residem em cidades (IBGE, 2010). O processo de urbanização das cidades, muitas vezes, não vem acompanhado de um planejamento adequado, o que acarreta vários problemas de infraestrutura e mobilidade, com consequências de caráter social e ambiental.

Um desses problemas é a alteração provocada no meio ambiente. Além das mudanças na paisagem, há também processos de impactos ambientais, como a retirada da vegetação natural, impermeabilização do solo, lançamento de poluentes atmosféricos, despejos de efluentes contaminados nos rios, entre outros. Esses processos resultam em uma série de problemas, como alterações climáticas, formação de ilhas de calor, contaminação de mananciais, perda de solo e poluições sonora e visual, por exemplo (GOMES; QUEIROZ, 2011).

Em meio a tantos impactos ambientais, a retirada de vegetação assume uma posição de destaque, uma vez que a presença de áreas verdes em ambientes urbanos é fundamental para a saúde e o bem-estar dos seres humanos, já que as árvores desempenham funções moderadoras de clima, absorvendo dióxido de carbono, controlando o escoamento da água, reduzindo níveis de ruído, melhorando a atratividade da cidade, entre outros benefícios (ARAÚJO; ARAÚJO, 2011).

Áreas verdes urbanas são definidas como todo território intraurbano com cobertura vegetal arbórea, arbustiva ou rasteira, sendo ela de origem nativa ou exótica. Já a arborização urbana restringe-se à cobertura arbórea dessas áreas (MMA, [s. d.]).

Nesse contexto, é importante o planejamento e o manejo da arborização de uma cidade. Órgãos públicos competentes, como prefeituras e secretarias, devem sempre buscar conhecer a atual situação do patrimônio arbóreo da cidade para, a partir disso, poderem tomar as devidas medidas necessárias e, por conseguinte, promover a qualidade de vida da população.

A partir de um inventário é possível obter uma série de informações importantes sobre as árvores da cidade, como espécie, altura, circunferência do tronco,

altura da ramificação dos galhos, estado fitossanitário, área da copa, entre outros. Contudo, esses dados podem se tornar obsoletos com o tempo, já que a sua atualização e manipulação são demoradas e difíceis. Além disso, do ponto de vista do planejamento, simplesmente acumular dados sem utilizá-los como base para a tomada de decisão não é uma conduta recomendada.

Uma alternativa é a organização desse material por meio de um banco de dados georreferenciado, possibilitando a exploração de todo o potencial das informações disponíveis para a localização espacial de um conjunto de árvores com base em suas características. Surge, então, a possibilidade de se trabalhar também com imagens de sensoriamento remoto e o Sistema de Informações Geográficas (SIG), a fim de verificar como utilizá-los para auxiliar na caracterização e análise da arborização urbana.

Este trabalho se justifica pelo pouco que se conhece a cerca das árvores das cidades, tanto qualitativa quanto quantitativamente, tendo em vista o quão é importante a arborização urbana para o ser humano e para a qualidade ambiental (NOWAK et al., 2007). Ao aprofundar os estudos sobre a atual situação da arborização urbana de Londrina, é possível planejar ações corretivas a curto e longo prazo, fornecer subsídios para a adequação ao Plano Diretor de Arborização Urbana (PDAU), aprovado pela Lei 11.996, de 30 de dezembro de 2013, o que, por conseguinte, proporcionará melhor qualidade de vida à população e contribuirá com o meio ambiente.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Verificar a aplicabilidade de imagens de Sensoriamento Remoto para inferência da distribuição espacial da arborização urbana da cidade Londrina a partir de um banco de dados georreferenciado gerado de inventário.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Criar um banco de dados georreferenciado com informações sobre as espécies de árvores, tais como nome científico, origem, porte e altura, de modo a possibilitar a consulta por atributos e tornar mais fácil a avaliação sobre a arborização urbana viária de Londrina;
- Analisar a densidade arbórea por meio do estimador de densidade Kernel, e, a partir disso, verificar onde estão alocadas a maioria das árvores amostradas e geocodificadas;
- Avaliar a aplicabilidade da imagem de Sensoriamento Remoto para inferir características da arborização urbana;
- Contribuir para a valorização da arborização urbana, viabilizando uma futura disponibilização dos dados para a população e aos órgãos gestores.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 ARBORIZAÇÃO URBANA

Por vegetação urbana compreende-se toda vegetação existente nos espaços na zona urbana livres de construção, espaços de integração, como praças e parques, e nas unidades de conservação (MOURA; NUCCI, 2005). Inserido no contexto da vegetação urbana, encontra-se a arborização urbana que, segundo Grey e Deneke (1978), é o conjunto de áreas públicas e privadas situadas em perímetro urbano com cobertura arbórea.

A arborização possui muitas funções e é de grande importância para o ambiente urbano. Além do uso estético, promove a saúde da população e até mesmo desempenha funções de engenharia, estando presente no dia a dia dos habitantes da cidade. Os benefícios propiciados vão desde o conforto térmico e bem-estar psicológico até os serviços ambientais, como controlar temperatura, elevar a umidade do ar, elevar a permeabilidade do solo, proporcionar sombra, funcionar como corredor ecológico, diminuir a energia de impacto da chuva no solo, agir como barreira contra ventos, ruídos e luminosidade, diminuir a poluição e sequestrar e armazenar carbono atmosférico (NICODEMO, 2009; ARAÚJO, 2011).

Em relação à qualidade física e psicológica do ser humano, pode-se afirmar que a presença da vegetação nas cidades quebra a artificialidade do meio, melhora o microclima e proporciona uma melhor qualidade de vida, contando com a diminuição da poluição e o papel fundamental na estética da paisagem urbana (BONAMETTI, 2003). Onde há intenso processo de construção e pavimentação das vias ocorre, por consequência, a impermeabilização do solo e a falta de espaços livres. Nessas áreas, as árvores atuam como agentes indispensáveis na depuração do meio e minimizam as variações climáticas (GOMES; QUEIROZ, 2011).

Apesar de todos os benefícios que a arborização traz ao meio urbano, a sua proximidade a instalações públicas de infraestrutura, como postes de iluminação, fiações elétricas, bocas de lobo e pontos de ônibus, pode gerar conflitos. Para evitar esse tipo de conflito, o planejamento a partir de conhecimentos técnico-científicos é

fundamental. Por isso, um Plano de Arborização Urbana é imprescindível, já que serve de embasamento para a tomada de decisões relacionadas à arborização, devendo ser adaptado às características e às condições de cada município ou região (BARCELLOS et al., 2012).

Assim sendo, em se tratando de arborização, para que conflitos não ocorram e as decisões sejam tomadas de forma mais apropriada e eficiente, é preciso realizar uma avaliação da situação arbórea viária do local, o que pode ser feito mediante um inventário. Segundo Pivetta e Filho (2002), o inventário da arborização é o primeiro passo para o replanejamento de ruas e de avenidas, dado que auxilia na identificação de problemas, na quantificação de custos e na elaboração de programas de conscientização ou de educação ambiental.

Em geral, as informações mais importantes a serem obtidas são: localização, identificação da espécie, altura total da árvore, altura da primeira bifurcação, circunferência a 50 cm da altura do solo, diâmetro da copa, distância entre árvores e proximidades das infraestruturas urbanas, largura e comprimento da via, largura da calçada, largura do recuo, distância dos postes ao meio-fio, altura da fiação telefônica e altura da fiação de alta e baixa tensão (ALMEIDA; NETO, 2010).

No estado do Paraná, poucos municípios detêm elevado conhecimento de sua arborização urbana, como Francisco Beltrão, Campo Largo e Araçongas. Por outro lado, muitos municípios conhecem pouco de sua arborização. Um exemplo disso é a cidade de Londrina, onde se tem pouquíssimas informações disponíveis e pouco se discute sobre planejamento urbano (DELESPINASSE et al., 2011). Outras localidades do Brasil e do mundo já investem nessa área de conhecimento e implementam planejamentos urbanos de arborização, como é o caso de Campinas e de Nova Iorque, por exemplo (EMBRAPA, 2016; NOWAK, 2007).

### 3.2 SENSORIAMENTO REMOTO

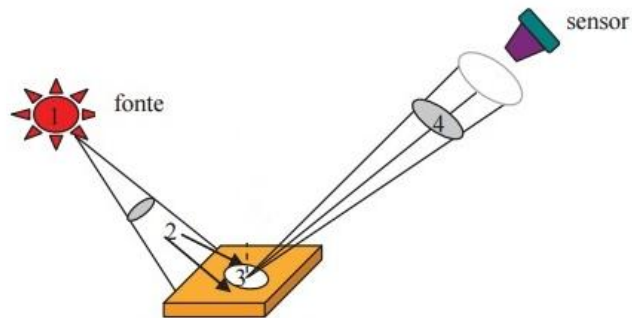
Sensoriamento Remoto é definido por Novo (2008, p. 2) como a “aquisição de informações sobre objetos a partir da detecção e mensuração de mudanças que estes impõem ao campo eletromagnético”. Como a radiação eletromagnética não

precisa de um meio de propagação, os sensores podem ser instalados a grandes distâncias dos objetos em estudo, até mesmo em satélites, o que resultou na noção de distância física sugerida pela palavra remoto (NOVO, 2008).

O sensoriamento remoto tem uma grande aplicabilidade para a aquisição de informações sobre os tipos de cobertura da superfície terrestre, como vegetação, água, solo, superfícies construídas, entre outros. As informações obtidas podem ser aplicadas ao estudo e ao monitoramento desses recursos terrestres, dando suporte a pesquisas sobre oceanografia, cartografia e mapeamentos temáticos, por exemplo (NOVO, 2008).

Na Figura 1 pode-se observar como ocorre a formação da imagem, processo que se inicia na fonte de radiação (1) em que a energia se propaga na forma de ondas eletromagnéticas e, em seguida, tem-se a energia radiante (2), que é transferida para a superfície. O item (3) se refere ao fluxo solar incidente na superfície do terreno, que passa por interações com a superfície terrestre, como: absorção, transmissão e reflexão. A porção refletida dessa energia chega até o sensor para ser medida e transformado em imagem (4).

**Figura 1** – Radiação eletromagnética na formação da imagem



**Fonte:** Adaptado de Meneses (2012)

Há diversos tipos de satélites que geram imagens, como a série Landsat (*Land Remote Sensing Satellite*), iniciada em 1972 e planejada para adquirir imagens continuamente sobre a superfície da Terra. Os satélites Landsat são de grande importância em virtude de sua longa série histórica e disponibilidade, permitindo consolidar e capacitar uma ampla comunidade de usuários. Já o satélite franco-europeu SPOT (*Système Probatoire d'Observation de la Terre*) lançado, primeiramente, em 1986, segue um viés comercial, em que as imagens são gravadas e processadas

apenas sob encomenda. Resultado do trabalho científico e tecnológico conjunto entre China e Brasil, o programa CBERS (*China-Brazil Earth Resources Satellite*) fez seu primeiro lançamento em 1999, constituindo-se um projeto de grande avanço tecnológico para ambos os países (NOVO, 2008).

A empresa alemã RapidEye lançou, em 2008, cinco Satélites de Observação da Terra, capazes de coletar imagens sobre grandes áreas, com alta capacidade de revisita. Esses satélites são idênticos e posicionados em órbita síncrona com o Sol, com igual espaçamento entre eles. Os cinco satélites são capazes de capturar imagens em cinco bandas espectrais, com alcance de comprimento de onda entre 440  $\mu\text{m}$  e 850  $\mu\text{m}$ . É o primeiro sistema orbital a incluir a banda *red-edge*, a qual está em um comprimento de onda entre o vermelho e o infravermelho próximo, específica para o monitoramento da atividade fotossintética (Tabela 1), permitindo medir variações e acompanhar a saúde da vegetação. A sua resolução espacial original é de 5 m, com precisão de detalhes compatíveis com escala de 1:25.000 (FELIX et al., 2009).<sup>1</sup>

**Tabela 1** – Bandas espectrais dos satélites do sistema RapidEye

Faixas de comprimento de onda	Banda
440 – 510 $\mu\text{m}$	Azul
520 – 590 $\mu\text{m}$	Verde
630 – 685 $\mu\text{m}$	Vermelho
690 – 730 $\mu\text{m}$	<i>Red-edge</i>
760 – 850 $\mu\text{m}$	Infravermelho próximo

**Fonte:** Felix et al. (2009)

### 3.3 PROCESSAMENTO DA IMAGEM

A conversão de números digitais (NDs) para reflectância ( $\rho$ ) permite a caracterização espectral de alvos por meio de imagens multiespectrais. Os NDs são valores numéricos proporcionais aos valores de radiância medidos em diferentes faixas

<sup>1</sup> Inclui material (C) (2014) RapidEye AG. Todos os direitos reservados.



espectrais, quanto maior o valor da radiância, maior será o valor de ND. A radiância corresponde à energia eletromagnética que foi registrada pelo sensor durante a aquisição da imagem, em uma determinada área, intervalo de tempo e faixa de comprimento de onda. A reflectância, por sua vez, é dada pela razão entre energia refletida em relação à energia incidente (PONZONI et al., 2007).

Para fazer essa conversão, primeiro é necessário encontrar o valor da radiância aparente ou no topo da atmosfera  $L_0$ , ou seja, o valor da radiância efetivamente medida pelo sensor na faixa espectral escolhida (Equação 1). Onde os valores de  $L_{min}$  e  $L_{max}$  são as radiâncias mínima e máxima que o sensor é capaz de medir em uma determinada faixa espectral, disponibilizados pelos responsáveis pela geração ou pela distribuição dos dados do sensor (PONZONI et al., 2007).

$$L_0 = \left( \frac{L_{max} - L_{min}}{ND_{max} - ND_{min}} \right) (ND - ND_{min}) + L_{min} \quad (1)$$

Dessa forma, é possível fazer a conversão para a reflectância (Equação 2), onde  $\rho$  é a reflectância na faixa espectral escolhida,  $d$  é a distância Terra-Sol em unidades astronômicas (obtida por tabelas, a partir da data da aquisição da imagem),  $E_{sun}$  é a irradiância solar ponderada pela função de resposta do sensor na mesma faixa espectral (valor conhecido para cada sensor) e  $\theta$  é o ângulo zenital solar (que é informado com os metadados da imagem) (PONZONI et al., 2007).

$$\rho = \frac{\pi \cdot L_0 \cdot d^2}{E_{sun} \cdot \cos\theta} \quad (2)$$

Sabe-se que a imagem tem interferência dos efeitos atmosféricos, que se resumem, principalmente, na redução do contraste e da possibilidade de detecção dos objetos em uma imagem ou mesmo de distinção entre os objetos de intensidade pouco variáveis, decorrentes do espalhamento da energia eletromagnética ao interagir com partículas suspensas na atmosfera (gases, vapor d'água, ozônio, aerossóis). Portanto, a imagem precisará passar por uma correção atmosférica (VERMOTE et al., 1997).

Uma das possibilidades de correção atmosférica é a aplicação do método 6S (*Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum*), que consiste na versão melhorada do 5S, desenvolvida pelo *Laboratoire d'Optique Atmospherique*. O método insere em seu cálculo novos gases, como CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O e CO. Os parâmetros de entrada exigidos pelo método são as configurações das condições geométricas do satélite, dia, mês, latitude e longitude, modelo atmosférico, visibilidade horizontal, altura em relação ao alvo, sensor abordo do satélite e banda espectral (VERMOTE et al., 1997).

### 3.4 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE VEGETAÇÃO E ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

A interação da energia eletromagnética com a vegetação pode ser descrita da seguinte forma: a vegetação verde sadia intercepta o fluxo radiante incidente (i) direto proveniente do sol ou da radiação difusa espalhada sobre a folha. Esta energia eletromagnética interage com os pigmentos, água e espaços intercelulares internos da folha. A equação do balanço de energia (Equação 3) representa como a energia incidente é decomposta a partir da quantidade de fluxo radiante refletido (r) pela folha, da quantidade de fluxo radiante absorvido (a) pela folha e da quantidade de fluxo transmitido (t) pela folha (JENSEN, 2009).

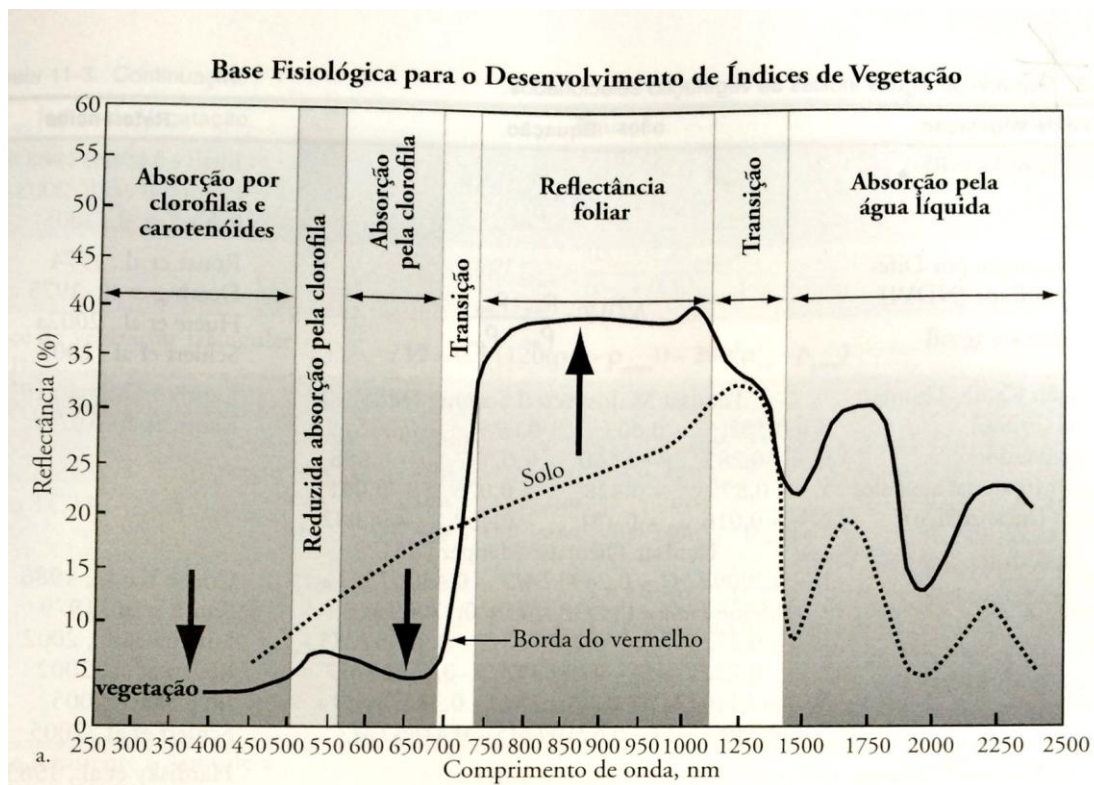
$$i = r + a + t \quad (3)$$

São fatores dominantes controladores da reflectância foliar: pigmentos presentes nas células do mesofilo paliçádico, espalhamento no mesofilo esponjoso e conteúdo de água foliar (JENSEN, 2009).

Na Figura 2 pode-se observar o comportamento espectral da vegetação representado pela reflectância, que indica o percentual de energia refletido pelo alvo, em relação à energia incidente, em cada faixa de comprimento de onda. Na região do visível, até 700 nm, a absorção da energia é influenciada principalmente pela presença de clorofila, sendo chamada de Radiação Fotossinteticamente Ativa (RFA); entre 750 e 1250 nm observa-se a região de reflectância foliar, no infravermelho próximo, cujo

comportamento deve-se à estrutura do mesófilo. É principalmente nessa região que se pode discriminar o solo exposto da cobertura vegetal. Na região entre 1500 e 2500 nm ocorre a absorção pela água líquida presente na vegetação (JENSEN, 2009). Assim, as plantas verdes e com vida absorvem com mais intensidade a radiação solar na região do vermelho, para aproveitar essa radiação como fonte de energia no processo da fotossíntese, enquanto as células das plantas refletem intensamente na região do infravermelho próximo (INSA, 2016).

**Figura 2** – Características típicas de reflectância espectral para gramínea verde sadia e para solo seco exposto, no intervalo entre 250 e 1.000 nm



Fonte: Jensen (2009, p. 385)

Índices de vegetação são definidos por Jensen (2009, p. 384) como “medidas radiométricas adimensionais, as quais são indicadores de abundância relativa, a atividade da vegetação verde, índice de área foliar (IAF), porcentagem de cobertura verde, e RFA absorvida”. São operações aritméticas aplicadas sobre as imagens em diferentes faixas de comprimento de onda, pixel a pixel. O IAF, por

exemplo, é definido como o total de área foliar por área de superfície do terreno (WATSON apud XAVIER; VETTORAZZI; MACHADO, 2004), enquanto o RFA se refere à quantidade de radiação solar potencialmente disponível para os processos fotossintéticos (GALVANI, 2009).

Os produtos gerados pelos índices de vegetação maximizam a sensibilidade a parâmetros biofísicos das plantas, normalizam efeitos externos (como o ângulo solar) permitindo comparações espaciais e temporais, normalizam efeitos internos (topografia, solos, presença de ramos lenhosos). Além disso, são acopláveis a algum parâmetro biofísico mensurável (biomassa, IAF) para fins de controle de qualidade, permitindo, portanto, avaliar a correlação de imagem de sensoriamento remoto com parâmetros medidos *in situ* (JENSEN, 2009).

Há diversos índices de vegetação descritos na literatura especializada que se diferenciam pela operação aritmética que os define. O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, ou NDVI (sigla de *Normalized Difference Vegetation Index*) permite o mapeamento, mensuração e análise da condição da vegetação de uma determinada área (JENSEN, 2009).

O cálculo de NDVI é feito por meio da Equação 4 e pode ser utilizado em uma gama muito grande de estudos, como modelagem climática e hidrológica, balanço de carbono, detecção de mudança climática, estimativas de parâmetros de vegetação (cobertura vegetal, índice de área foliar), atividades agrícolas, monitoramento de secas, detecção de desmatamentos, avaliação de áreas queimadas, entre outras aplicações práticas. O termo  $\rho_{nir}$  é o fluxo radiante refletido no infravermelho próximo e  $\rho_{red}$  é o fluxo radiante refletido no vermelho (JENSEN, 2009).

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \quad (4)$$

Já o Índice de Vegetação Realçado, ou EVI (sigla de *Enhanced Vegetation Index*), representado na Equação 5, é semelhante ao NDVI, porém contém três coeficientes determinados empiricamente: o coeficiente (C1) de correção dos efeitos atmosféricos para o vermelho (6,0), o coeficiente (C2) de correção dos efeitos

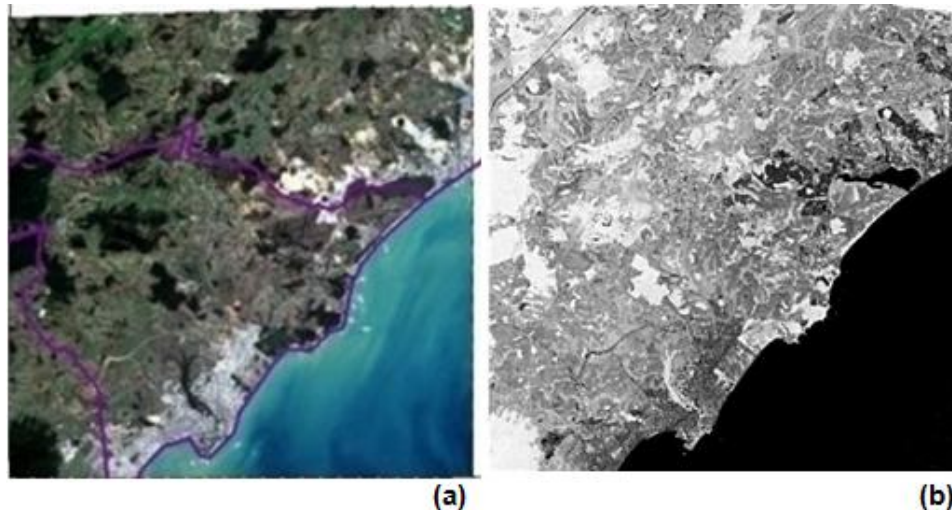
atmosféricos para o azul (7,5) e o fator de correção L para interferência do solo (1,0). Além disso, existe o fator de ganho G, que é 2,5. Esse algoritmo melhora a sensibilidade para regiões de alta biomassa e concede um melhor desempenho do monitoramento da vegetação, por meio da diminuição da influência do sinal oriundo do substrato abaixo do dossel e da redução da influência atmosférica (JENSEN, 2009).

$$EVI = G \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + C_1 \rho_{red} + C_2 \rho_{blue} + L} (1 + L) \quad (5)$$

Ademais, as imagens de sensoriamento remoto são geradas com certa interferência atmosférica, devido ao espalhamento da energia que ocorre quando há interação com partículas suspensas, vapor d'água e ozônio (JENSEN, 2009).

A Figura 3 (a) mostra uma composição colorida do Rio de Janeiro e na Figura 3 (b) a imagem NDVI, gerada após correção atmosférica por meio da técnica ATCOR (*Atmospheric Correction*), na qual é possível observar que os tons de cinza mais claro realçam as áreas com cobertura vegetal mais densa, indo gradativamente para tons de cinza intermediários conforme a densidade da cobertura vegetal diminui, até os tons escuros, das áreas sem nenhuma cobertura vegetal (EDUARDO; SILVA, 2013).

**Figura 3** – Imagem RapidEye do Estado do Rio de Janeiro (a) com aplicação de NDVI e correção atmosférica (b)



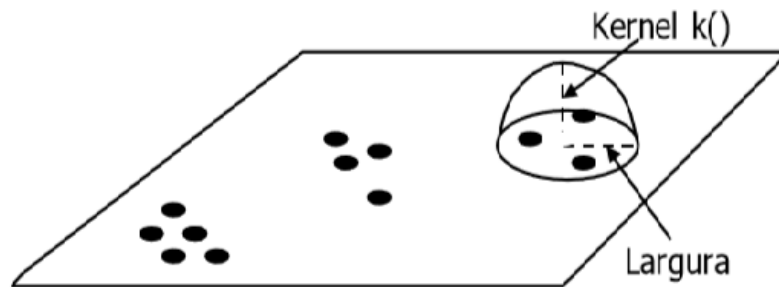
**Fonte:** Eduardo e Silva (2013)

### 3.5 AVALIAÇÃO DE DENSIDADE POR ÁREA

Dados de distribuição pontual podem não ter associação a valores, mas apenas à ocorrência, ou seja, cada ponto referencia um evento ou objeto, e esses pontos podem, ou não, estar associados a atributos de identificação.

Uma possibilidade para analisar o comportamento de padrões de pontos de ocorrência é estimar a densidade pontual do processo na região de estudo. Para esse fim, o estimador de densidade Kernel possibilita o ajuste de uma função bidimensional sobre os eventos estudados, estabelecendo uma superfície cujo valor será proporcional à densidade de amostras por unidade de área. Assim, a função realiza uma contagem de todos os pontos dentro de uma região de influência, ponderando-os pela distância de cada um à localização de interesse, como pode ser observado na Figura 4.

**Figura 4** – Estimador de densidade de distribuição de pontos



**Fonte:** Câmara e Carvalho (2004)

Suponha que  $u_1, \dots, u_n$  são localizações de  $n$  eventos observados em uma região  $A$  e que  $u$  represente uma localização genérica cujo valor será estimado. O estimador é computado a partir dos  $m$  eventos  $(u_i, \dots, u_{i+m-1})$  abrangidos por um raio de tamanho  $\tau$  em torno de  $u$  e da distância  $d$  entre a posição e a  $i$ -ésima amostra, a partir de funções das quais a forma geral é expressa na Equação 6, em que  $k$  é um interpolador não paramétrico que pode ser uma função gaussiana, quártica, triangular parabólica, entre outras.

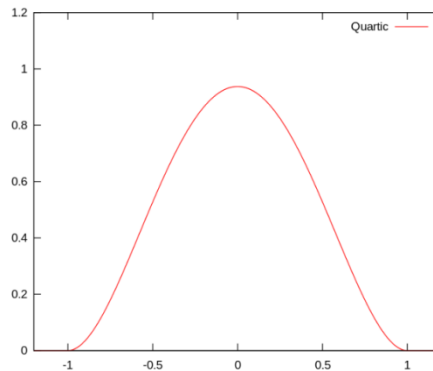
$$\hat{\lambda}_\tau(u) = \frac{1}{\tau^2} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{d(u_i, u)}{\tau}\right), \quad d(u_i, u) \leq \tau \quad (6)$$

O estimador Kernel tem como parâmetros básicos “um raio de influência  $\tau \geq 0$  que define a vizinhança do ponto a ser interpolado e controla a superfície que será gerada” (Câmara e Carvalho, 2004), além de uma função com propriedades de suavização do fenômeno. O raio de influência define a área centrada no ponto  $u$  que indica quantos eventos  $u_i$  contribuem para a estimativa da função  $\lambda$ . Quando o raio é muito pequeno a superfície gerada é descontínua, porém se o raio for muito grande a superfície poderá ficar muito suavizada.

Para a função de interpolação  $k()$ , é comum o uso de uma função de terceira ou quarta ordem como a Equação 7, representado graficamente pela Figura 5, ou o kernel gaussiano, expresso na Equação 8 e representado na Figura 6. Em ambas as funções, o termo  $h$  representa a distância entre a localização em que deseja-se calcular a função e o evento observado.

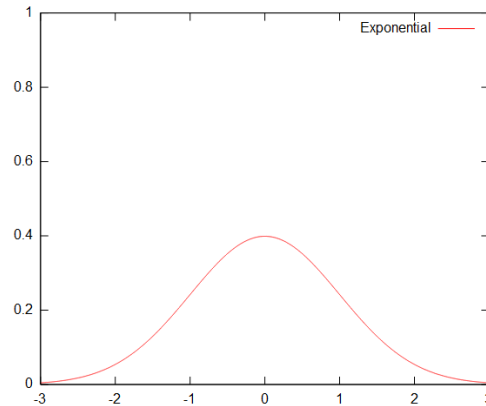
$$k(h) = \frac{3}{\pi} (1 - h^2) \quad (7)$$

**Figura 5** – Representação gráfica da função de quarta ordem



**Fonte:** Wikimedia (2017)

$$k(h) = \frac{1}{2\pi\tau} \exp\left(-\frac{h^2}{2\tau^2}\right) \quad (8)$$

**Figura 6** – Representação gráfica da função gaussiana

**Fonte:** Wikimedia (2017)

Com o uso da função de quarta ordem (Equação 9), o estimador de densidade pode ser apresentado como:

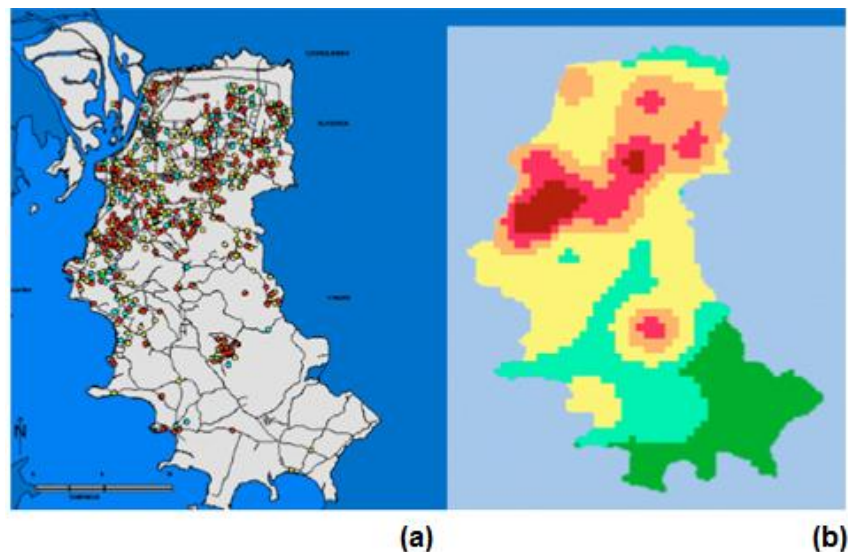
$$\hat{\lambda}_{\tau}(u) = \sum_{h_i \leq \tau} \frac{3}{\pi \tau^2} \left( 1 - \frac{h_i^2}{\tau^2} \right)^2 \quad (9)$$

O estimador de densidade Kernel é muito utilizado para fornecer uma visão geral da distribuição dos eventos, é também de fácil uso e interpretação. Pode ser usado para apresentar dados de queimadas, assaltos, focos de desmatamento, doenças, entre outros. A Figura 7 exemplifica a aplicação do estimador de densidade para o caso de mortalidade da população humana em Porto Alegre em 1996. Em (a) tem-se a localização dos homicídios (vermelho), acidentes de trânsito (amarelo) e suicídios (azul), e em (b) é apresentado o estimador de densidade dos casos de mortalidade (independente da causa). Pode-se observar um padrão de distribuição de pontos com forte concentração no centro da cidade, decrescendo em direção aos bairros mais afastados (CÂMARA; CARVALHO, 2004).

Neste trabalho o estimador de densidade Kernel foi utilizado como operação de análise espacial, e demonstrou onde estão alocadas as maiores densidades de árvores amostradas e geocodificadas na cidade de Londrina.



**Figura 7** – Distribuição de casos de mortalidade por causas externas em Porto Alegre em 1996 (a). Aplicação do estimador de densidade Kernel (b)



**Fonte:** Câmara e Carvalho (2004)

### 3.6 TRABALHOS RELACIONADOS

O portal Árvores de Campinas, é um banco de dados da arborização urbana viária disponível na internet, exemplo de projeto realizado a partir de banco de dados geográficos, foi lançado em 2015 pela EMBRAPA Monitoramento por Satélite, em parceria com a Prefeitura Municipal de Campinas, São Paulo. O portal permite apoio à gestão municipal, facilita a elaboração de política públicas que valorizem a arborização urbana, além de permitir o acesso de forma interativa por qualquer cidadão (Figura 8). No site é possível selecionar quais tipos de plantas visualizar (árvores, arbustos, palmeiras e mudas), quais densidades da arborização urbana, além da divisão por bairros, arruamentos e macrozonas (EMBRAPA, 2016).

Outro exemplo de estudo com essa temática é o trabalho de Filho e Silva (2010), que construíram um modelo de dados em ambiente SIG, orientado ao objeto geográfico árvore, possibilitando a visualização de todos os planos de informação e suas relações com a arborização urbana viária em uma área central do município de Guarapuava (PR). Assim, puderam ser realizadas consultas com o modelo de dados proposto, que demonstrou grande potencial como ferramenta para o monitoramento e manejo da arborização urbana. Os autores destacam que no caso de implantação da

arborização em novas áreas, os dados disponíveis no sistema têm grande importância e devem ser levados em consideração no planejamento, para assim, evitar problemas no futuro.

**Figura 8** – Tela do Portal Árvores de Campinas

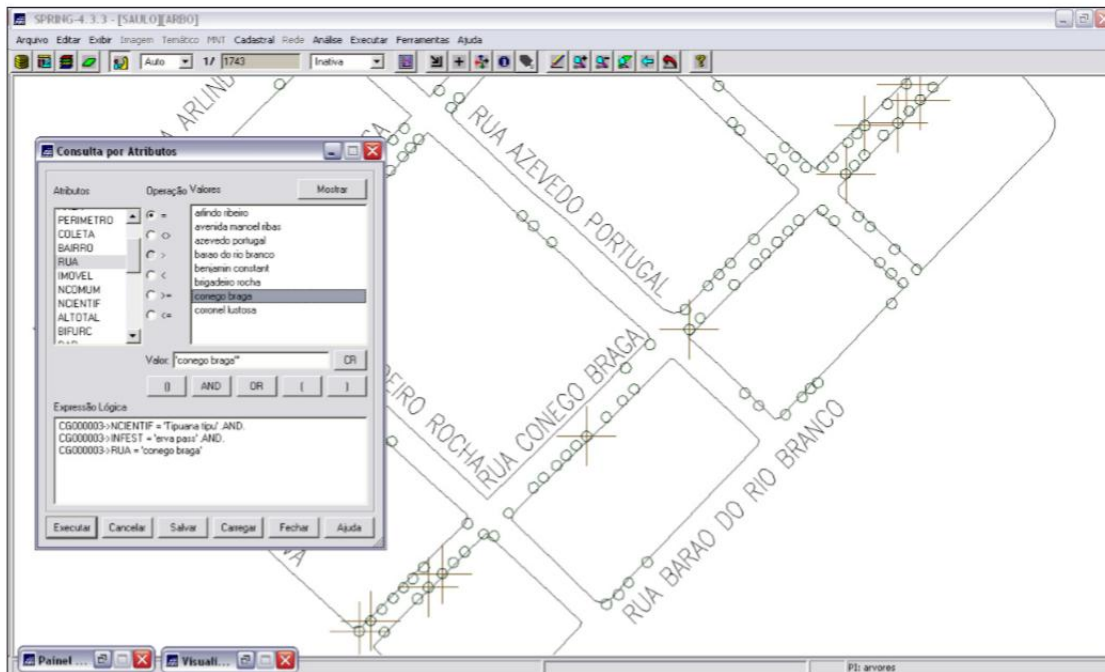


**Fonte:** Embrapa, 2016

A Figura 9 apresenta um dos possíveis tipos de consulta, no caso, por expressão lógica, que demonstra o potencial do banco de dados geográfico para análise das condições da arborização.

Na cidade de Nova York, nos Estados Unidos, existe o programa *New York City Street Tree Map*, que consiste em um mapa on-line que inclui as árvores das ruas da cidade. É possível selecionar um bairro para obter informações sobre o total de suas árvores, sua diversidade de espécies e seus benefícios totais para a cidade em termos de economia quanto à água da chuva captada, energia conservada, poluição removida do ar e dióxido de carbono reduzido da atmosfera, ou seja, incorporado na planta. Também pode-se escolher uma árvore individualmente para obter mais informações, como o número de identificação (ID) atribuído a ela, diâmetro do tronco, foto da folha e da árvore, endereço e seus benefícios ecológicos.

**Figura 9** – Consulta por expressão lógica para seleção de todas as árvores da espécie *Tipuana tipu*, infestadas por erva-de-passarinho e localizadas na Rua Cônego Braga e os respectivos resultados



**Legenda:**

○ Árvores

⊕ Árvores selecionadas a partir da consulta por expressão

**Fonte:** Adaptado de Filho e Silva (2010)

No Figura 10, as árvores são representadas por círculos, cujo tamanho representa o diâmetro da árvore e a cor do círculo reflete sua espécie, sendo que as espécies relacionadas foram designadas com cores semelhantes. O site permite ainda filtros por intervalos de diâmetro da árvore e consultas por espécies com informações sobre diversidade de toda arborização urbana de Nova York.

Figura 10 – Portal online do projeto New York City Street Tree Map

The screenshot displays the New York City Street Tree Map interface. At the top left, the logo for NYC Parks is shown next to the text "New York City Street Tree Map" and "Explore and Care For NYC's Urban Forest". To the right, there are navigation buttons for "Home", "My Trees", "Learn", "Groups", and "Log in or Register". Below the navigation is a search bar labeled "Zoom to Location" with a placeholder "Address or Zip" and a search icon. The main content area is split into two parts. On the left, a detailed view for a "Thornless Honey locust" (*Gleditsia triacanthos var. inermis*) is shown. This includes a small image of the tree, its ID number (1420760), trunk diameter (16 inches), and the closest address (248 WEST 124 STREET, NEW YORK, NY 10027). There is also a section for "Tree Care Activity" which states there are no activities reported for this tree, and a button to "Record Your Care". On the right, a map shows a grid of streets with numerous colored circular markers of varying sizes representing individual trees. A "Filter Trees" button is visible in the top right corner of the map area. At the bottom of the page, there is a small "Map Key" and a footer with copyright information for NYC Parks and Google.

Fonte: New York City Street Tree Map (2017)

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

Londrina é uma cidade localizada no norte do estado do Paraná, com uma área de 1.650,809 Km<sup>2</sup>, entre as coordenadas de latitude 23°08'47" e 23°55'46" Sul e entre os valores de longitude 50°52'23" e 51°19'11" Oeste. Possui população de 506.701 habitantes, onde 85% vivem em áreas urbanas. O clima, segundo a Classificação Internacional de Koppen, é o Cfa subtropical úmido, com verão quente, chuva em todas as estações, sendo essas bem definidas ao longo de todo ano (IBGE, 2010).

Foram escolhidos dois trechos da área urbana de Londrina para caracterizar a arborização viária. Um deles é o quadrilátero central da cidade, delimitado pelas avenidas Juscelino Kubitschek e Higienópolis, região principalmente comercial, que possui edifícios residenciais, tem grande circulação de pessoas e trânsito intenso ao longo do dia. O outro fica ainda no bairro Centro e início da Vila Filipin, é um bairro antigo e já consolidado, com menos comércio e predominantemente residencial, porém possui algumas vias de grande fluxo de veículos. Esses dois trechos compreenderam a amostragem de 25 ruas e uma extensão de aproximadamente 33,87 km (Figura 11).

Foi realizado um inventário de arborização urbana nessas ruas no período de 2012 a 2016 por grupos de alunos do curso de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Londrina, em projeto de extensão coordenado pela Prof<sup>a</sup>. Patrícia C. Lobo Faria (MASSI et al., 2014; PORTO et al., 2015) Foram coletadas diversas informações sobre cada árvore. No entanto, para o presente trabalho, foram utilizadas apenas as seguintes: data da coleta, largura da calçada, nome da via pública, número do imóvel, tipo do imóvel (residencial, comercial ou outro), nome comum, nome científico, porte, altura e origem da espécie. Nos imóveis onde não havia uma árvore, mas existia a possibilidade de plantio, respeitando as distâncias de usou-se o termo "Espaço Disponível", em atendimento à busca pela densidade arbórea máxima preconizada no Plano Diretor de Arborização Urbana de Londrina (LONDRINA, 2013).

**Figura 11** - Carta da área de estudo



**Fonte:** Elaborado pela autora

## 4.2 GEOCODIFICAÇÃO

Em virtude da dificuldade de utilização de sistemas de posicionamento em áreas densamente urbanizadas, devido a erros de multicaminhamento (rebatimento de sinal nas paredes de edificações) (MONICO, 2008), os dados de árvores foram coletados por endereços do imóvel em frete ao qual cada árvore se encontra. Por isso, foi necessário transformar os endereços em coordenadas. A geocodificação tem como objetivo obter coordenadas geográficas a partir de endereços. A ferramenta utilizada para realizar este processamento foi o plugin MMQGIS, cujo algoritmo envia os endereços inseridos para a base de informação do Google e retorna um conjunto de pontos associados a coordenadas de latitude e longitude.

Assim, os dados de posicionamento e as demais informações que caracterizavam cada árvore foram importados, a fim de gerar um banco de dados geográfico para futuras consultas espaciais, úteis em atividades de gestão. A partir dos dados geocodificados também foi possível realizar consultas por expressão, e assim, visualizar no mapa onde as árvores consultadas se localizavam.

#### 4.3 AVALIAÇÃO DE DENSIDADE POR ÁREA

Com a obtenção de dados pontuais das árvores, foi aplicado o operador de densidade Kernel, utilizando a função quarta ordem, também conhecida como função quártica, expressa na Equação 9 e representada pela curva da Figura 5. (CAMARGO; FUCKS; CÂMARA, 2004). Os valores para raios e resoluções avaliados foram combinações de 10, 20 e 30 m para tamanho do pixel dos índices de vegetação e Kernel; e 30 e 50 m para raio da função de Kernel.

#### 4.4 PROCESSAMENTO DA IMAGEM

Foi utilizada uma imagem gerada pela constelação RapidEye, cedida pelo Ministério do Meio Ambiente, data da aquisição 25/07/2014, com resolução espacial de 5 m e resolução radiométrica de 12 bits.

Realizou-se a conversão para reflectância, seguido de correção atmosférica, a fim de transformar a reflectância aparente em reflectância de superfície, corrigindo a interferência atmosférica existente devido ao espalhamento da energia, que ocorre quando há interação com partículas suspensas, vapor d'água, ozônio e aerossóis (JENSEN, 2009). Para corrigir essas interferências, aplicou-se o método de transferência radiativa 6S (VERMOTE et al., 1997). Os parâmetros utilizados para a correção atmosférica, realizada com o SIG Grass foram: modelo atmosférico tropical, modelo de aerossóis urbano e visibilidade de 40 km.

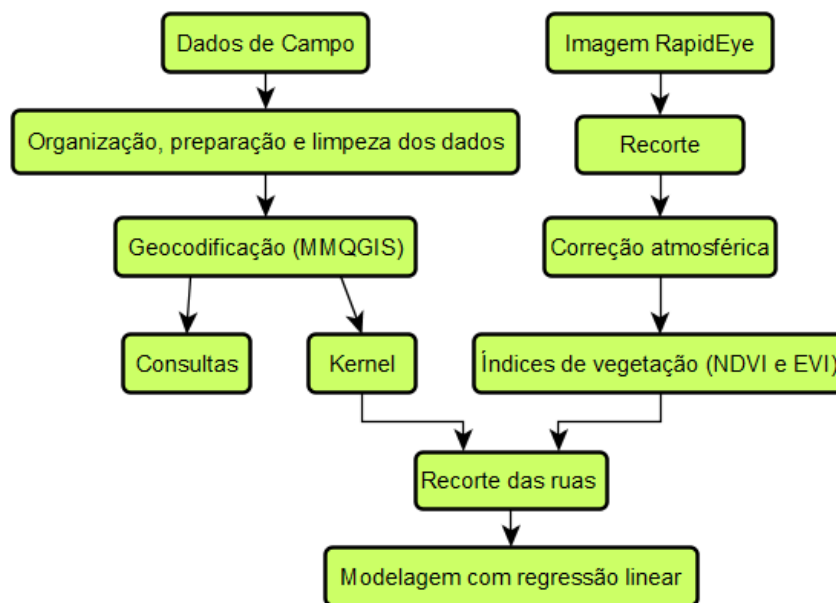
Os índices de vegetação (Equações 2 e 3) foram aplicados tanto para a reflectância na região da cor vermelha quanto para a reflectância gerada a partir da

faixa espectral *red-edge* substituindo a faixa do vermelho. Além disso, diferentes tamanhos de pixel foram testados para os índices: 10, 20 e 30 m.

Por fim, utilizou-se o SIG *System for Automated Geoscientific Analyses* (SAGA) para avaliar a possibilidade de modelar por regressão linear a relação entre a densidade gerada no operador Kernel e os valores de índices de vegetação avaliados, comparando-se o coeficiente de determinação  $R^2$  e o gráfico de dispersão. Para essa avaliação foram analisados apenas recortes das ruas Alagoas, Cuiabá e São Salvador, pois o intuito foi descartar a área verde do interior das quadras, jardins, praças, entre outros, restringindo a análise apenas às árvores presentes nas calçadas. Essas ruas foram escolhidas por apresentarem distribuição não uniforme das árvores, com trechos bem heterogêneos em termos de números de árvores por quadras. Além disso, a rua Alagoas também teve seu inventário realizado em data próxima (intervalo de tempo menor que um ano) da data de aquisição da imagem.

Na Figura 12 apresenta-se um fluxograma com todas as etapas metodológicas deste trabalho.

**Figura 12** – Fluxograma de atividades desenvolvidas no transcorrer do trabalho



**Fonte:** Elaborado pela autora



## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 BANCO DE DADOS E CONSULTAS

Após a geocodificação, obteve-se uma camada vetorial com 3.802 pontos e seus respectivos atributos, cada ponto associado a uma árvore ou espaço disponível para plantio. Separando os 821 espaços disponíveis em outra camada, é possível visualizar apenas onde se encontram as 2.980 árvores inventariadas, cuja localização pode ser visualizada na Figura 13. Na carta dessa figura, observam-se algumas ruas sem símbolos correspondentes às árvores. Nesse caso, não indica que a rua não tem árvores, mas que estas ruas não foram inventariadas. Junto com a camada vetorial gerou-se uma tabela de atributos, com dados de todos os endereços geocodificados.

Por exemplo, a partir das consultas por expressão, foram geradas camadas vetoriais para cada uma das seguintes categorias: presença de indivíduos de origem exótica, grande porte, espaço disponível, árvores mortas em pé, indivíduos da espécie *Ficus benjamina* e da espécie *Murraya paniculata*. Por conseguinte, foram identificadas 1.574 árvores de origem exóticas, 806 de grande porte, 17 árvores mortas em pé, 17 indivíduos da espécie *Ficus benjamina*, proibida pelo Art. 25 do PDAU e 235 da espécie *Murraya paniculata*. Do ponto de vista de gestão, tais consultas são fundamentais, uma vez que facilitam a visualização e identificação dos lugares em que é necessário fazer adequações, em atendimento ao PDAU.

Um exemplo de camada gerada a partir das consultas é apresentado na Figura 14, em que é possível visualizar todas as 806 árvores de grande porte da área amostrada. É importante ressaltar que o conceito da categoria “porte” para as espécies foi o definido no Art. 29º, do PDAU, nesse caso, grande porte como “espécies arbóreas acima de 10,00m (dez metros) de altura, quando adultas”. Além disso, espécies desse porte são priorizadas para o plantio de mudas, de acordo como o Art. 24º, do PDAU.

**Figura 13** – Carta das árvores inventariadas em trechos da região central de Londrina, PR

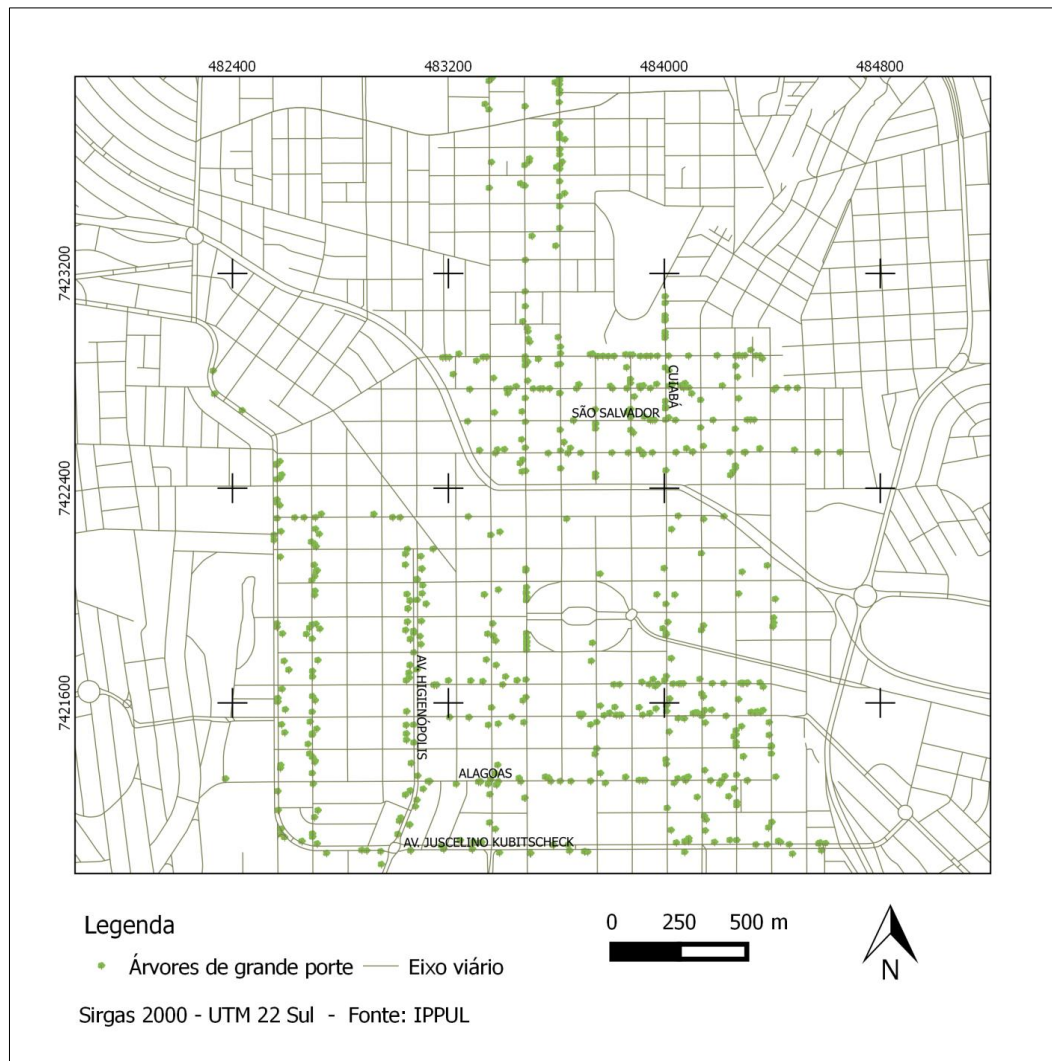


**Fonte:** Elaborado pela autora

**Nota:** Nem todas as ruas do mapa foram inventariadas.

Assim, é possível notar que as árvores de grande porte representam apenas 27% do total de árvores amostradas, significando muito pouco em termos quantitativos para a arborização urbana da cidade. Medidas de gestão podem ser tomadas a fim de, paliativamente, serem feitas substituições de espécies de pequeno e médio porte por espécies de grande porte, respeitando as instruções do Art. 32º do PDAU (LONDRINA, 2013), que indica mudas de espécies de grande porte para calçadas com largura mínima de 3 m.

**Figura 14** – Carta das árvores de grande porte amostradas na região central de Londrina, PR

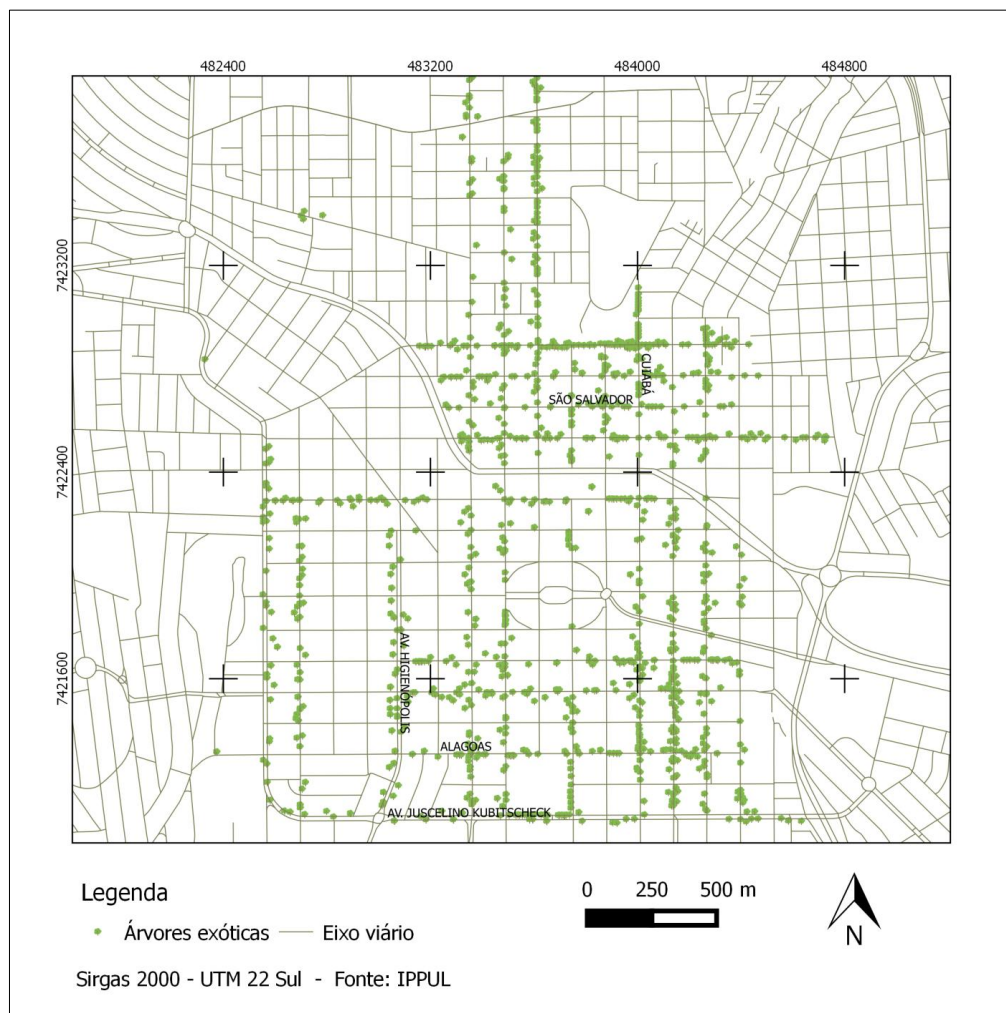


**Fonte:** Elaborado pela autora

Outra carta gerada a partir das consultas no banco de dados é apresentada na Figura 15, onde se visualiza especialmente as árvores de origem exótica presentes na região central de Londrina. É importante ressaltar que o PDAU determina, no Art. 24º, inciso I, que, a fim de “garantir a preservação genética local, a biodiversidade e a adequação urbana”, a quantidade de espécies vegetais arbóreas deve ser, quanto à origem, de no máximo 30% exóticas não invasoras adaptadas, ou seja, não relacionadas na Portaria IAP nº 95/07. Considerando que foram identificadas 106

espécies e, destas, 44 são espécies exóticas não invasoras para Floresta Estacional Semidecidual, ou seja, um percentual de 41,5%, pode-se afirmar que o município, na representação da área de estudo, não segue o estipulado pela legislação, que seria de privilegiar espécies nativas (LONDRINA, 2013). Também foram identificadas 7 espécies exóticas invasoras para Floresta Estacional Semidecidual listadas na Portaria IAP nº 95/07 (IAP, 2007).

**Figura 15** – Carta das árvores de origem exótica inventariadas em amostragem na região central de Londrina, PR

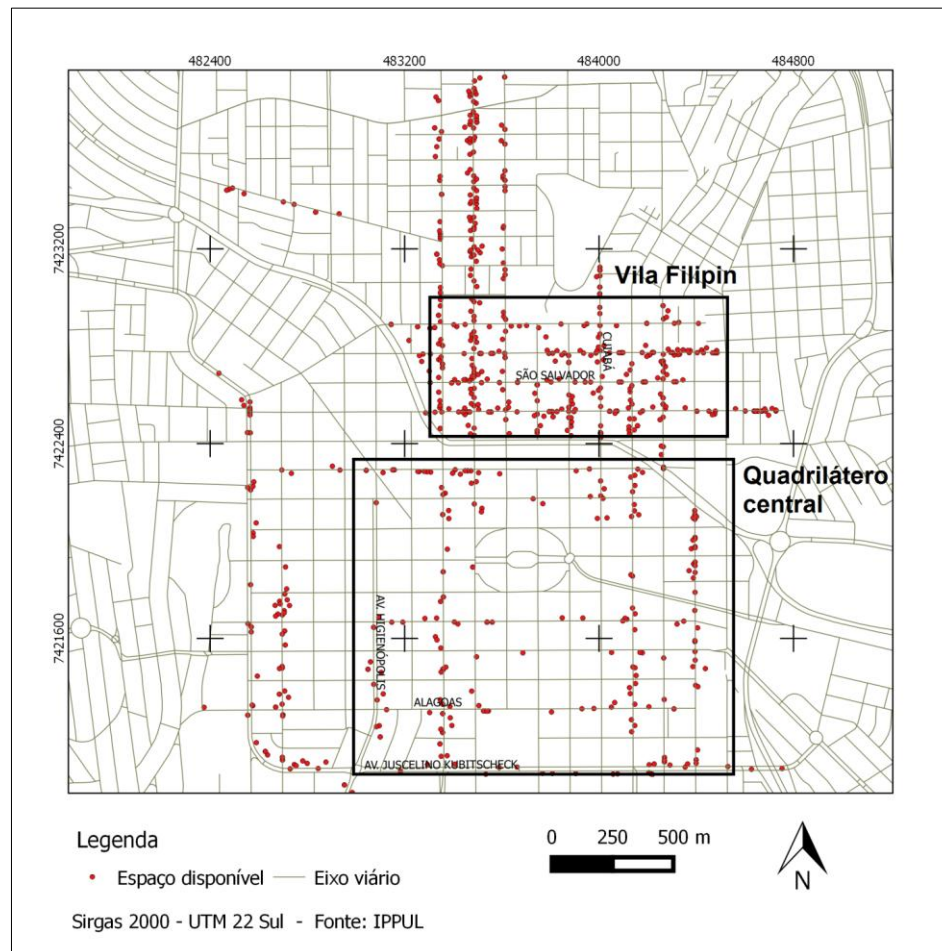


**Fonte:** Elaborado pela autora

Na Figura 16, é possível observar que há mais espaços disponíveis na área externa ao quadrilátero central do que, no bairro Vila Filipin (parte superior da carta). A

princípio, isso se deve a duas hipóteses. Em lugares onde o número de estabelecimentos comerciais é predominante, há menos espaços disponíveis para o plantio de árvores devido à existência de guias rebaixadas e ao conflito de interesses com os comerciantes, que não querem ter a fachada de seu estabelecimento coberta. Por outro lado, o quadrilátero central pode representar uma área de fiscalização mais intensa e, por isso, estar mais adequado às normas. Além disso, considerando que um dos objetivos do PDAU, de acordo com o Art. 4º, inciso I, é “atingir e manter permanente densidade arbórea máxima sobre vias e áreas urbanas do Município de Londrina”, esses espaços mostram o quão distante o município está de atingir tal meta, o que mostra a necessidade de políticas públicas que garantam esse objetivo.

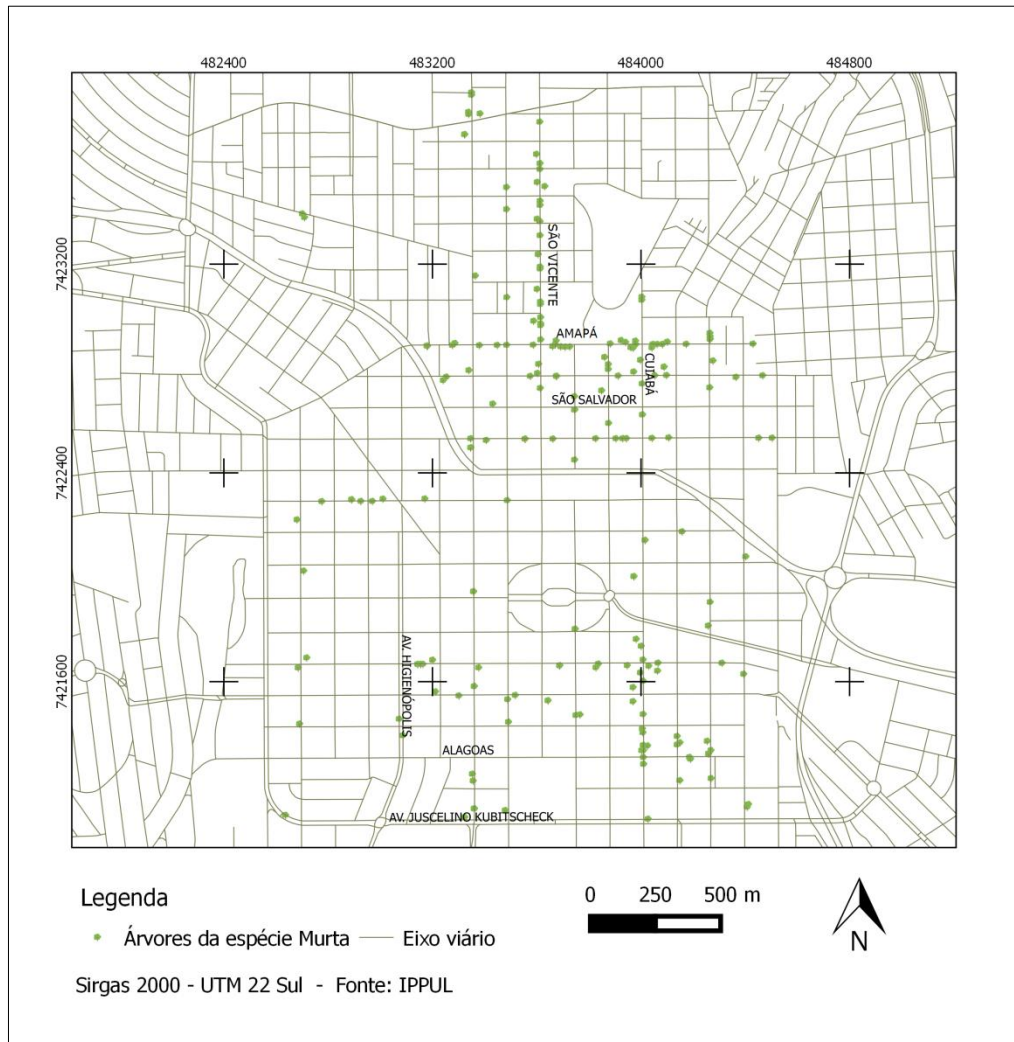
**Figura 16** – Carta dos espaços disponíveis para introdução de mudas de árvores na região central de Londrina, PR



**Fonte:** Elaborado pela autora.

Na Figura 17, têm-se indivíduos da espécie *Murraya paniculata*, popularmente conhecida como Murta, que, de acordo com a Lei Estadual 15.953/2008, tem o “plantio, comércio, transporte e produção proibidos por ser um vegetal que hospeda a bactéria *Candidatus liberibater* ssp., disseminada pelo inseto vetor *Diaphorina citri*, transmissor da praga *Huanglongbing* (HLB – greening)”, que ataca plantações de frutas cítricas, como laranjais e limoeiros, causando perdas na produção e, em algumas situações, a morte dessas plantas. As ruas São Vicente e Amapá são as mais populosas da espécie, com 20 e 18 indivíduos respectivamente.

**Figura 17** – Carta com as árvores da espécie *Murraya paniculata* amostradas na região central de Londrina, PR

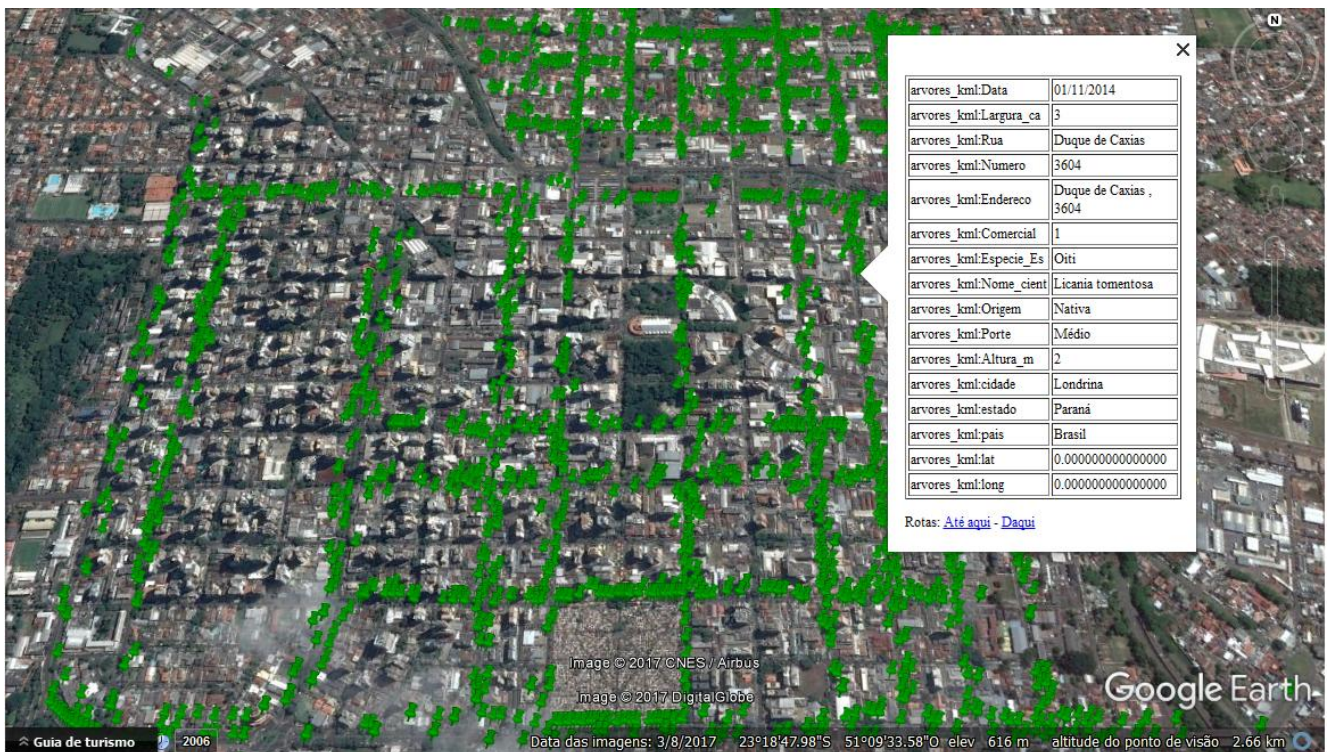


**Fonte:** Elaborado pela autora

A ação de gestão recomendada e exigida pela Lei Estadual supracitada é a criação de um plano de erradicação da espécie, medida essa que já vem sendo tomada por diversos municípios, como, por exemplo, Assaí, por meio da Lei Municipal 1.099/2.010, e Ivaiporã, que conta com a Lei Municipal 1.792/2.010, além de prever um plano de substituição. Contudo, Londrina ainda não dispõe de um plano de manejo como esse, de erradicação dos indivíduos da espécie *Murraya paniculata*.

O programa Google Earth é uma alternativa para o manuseio desses dados e tem como vantagem a facilidade em manuseá-lo, já que é uma ferramenta utilizada por profissionais de diversas áreas, não exigindo conhecimento técnico especializado. Nesse programa, com um simples clique em um dos pontos indicados na imagem, têm-se as informações da árvore selecionada, funcionando como um auxiliar na gestão da arborização urbana. Na Figura 18, pode-se observar como aparecem os atributos de cada árvore para o gestor.

**Figura 18** – Visualização no Google Earth Pro do banco de dados georreferenciado para arborização amostrada na área central de Londrina, PR



Fonte: Google Earth Pro (2017), adaptado pela autora

## 5.2 ESTIMADOR DE DENSIDADE KERNEL

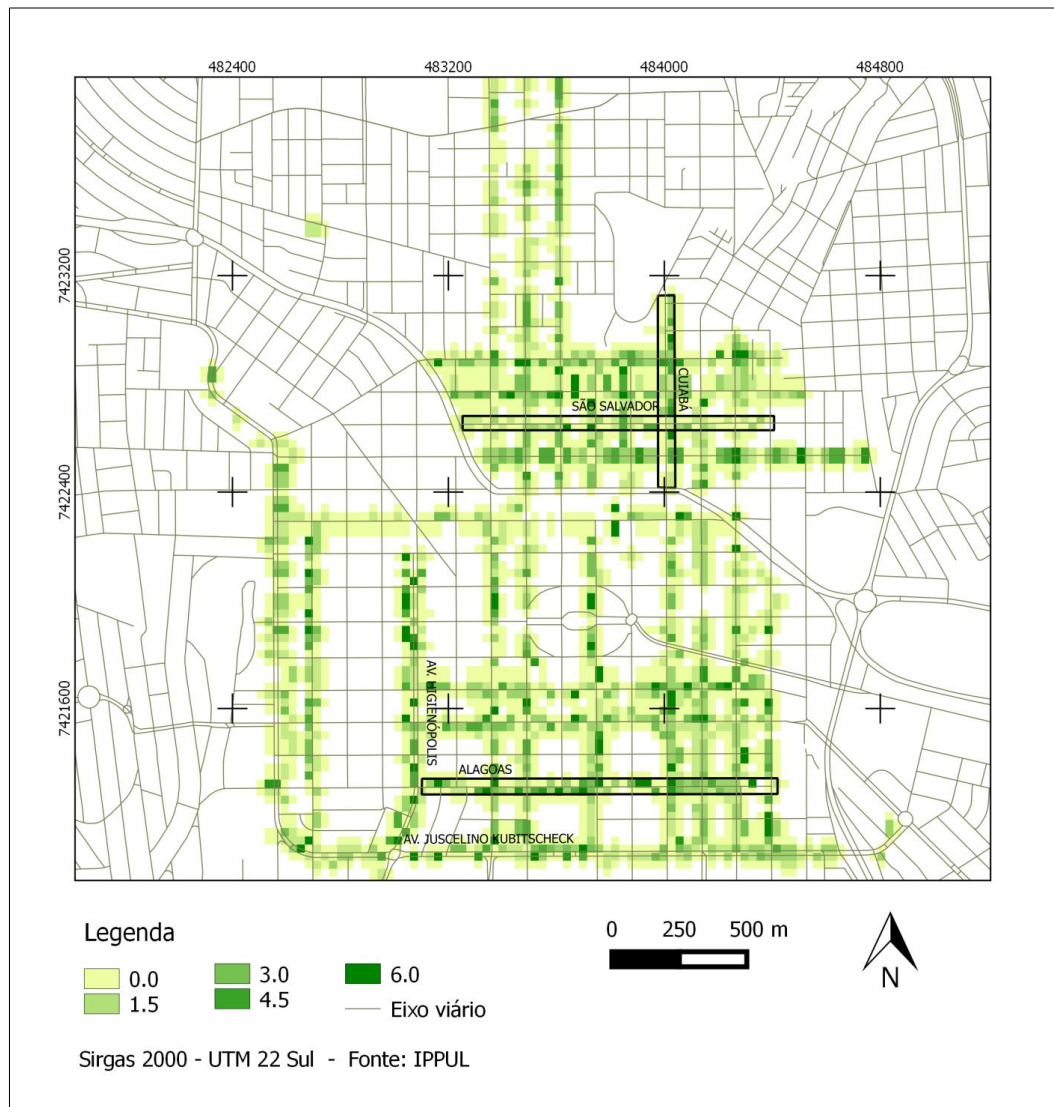
De modo geral, com o operador de densidade Kernel demonstra-se visualmente que, independentemente dos diferentes raios, a região predominantemente residencial possui maior densidade de árvores quando comparada com a região do quadrilátero central. Explicação para isso, por hipótese, pode estar relacionada ao fato de muitos estabelecimentos comerciais possuírem guia rebaixada para estacionamento de veículos.

A Figura 19 é a carta gerada a partir da aplicação de Kernel, adotado um raio de 50 m e uma resolução espacial de 30 m. Conforme indica a legenda, quanto mais escuro o tom de verde, maior é a densidade de árvores.

A fim de obter uma melhor visualização, em separado, das ruas escolhidas para a etapa de modelagem, ou seja, as ruas São Salvador, Alagoas e Cuiabá, foi elaborada a Figura 20, a qual apresenta apenas a área da rua e das calçadas dessas vias com base nos retângulos da Figura 19. Nessas ruas, é possível observar uma distribuição não homogênea de árvores, com pontos isolados de maior densidade. Além disso, ambas diferem entre si quanto à densidade de indivíduos arbóreos, a rua Cuiabá aparenta ter maior densidade, enquanto a rua São Salvador tem a menor.

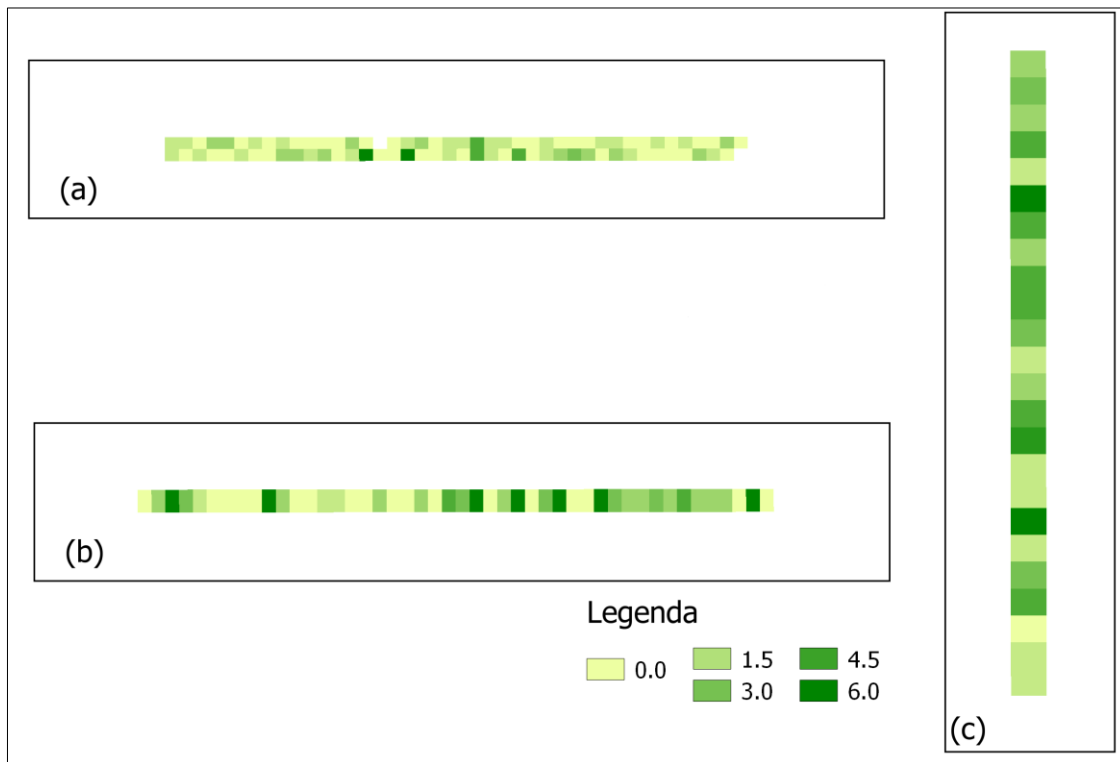


**Figura 19** – Carta do Operador de densidade Kernel, gerado com parâmetros de 50 m de raio e resolução espacial de 30 m



**Fonte:** Elaborado pela autora

**Figura 20** – Recorte do estimador de densidade Kernel gerado com parâmetros de 50 m de raio e resolução espacial de 30m, para a extensão das ruas São Salvador (a), Alagoas (b) e Cuiabá (c)



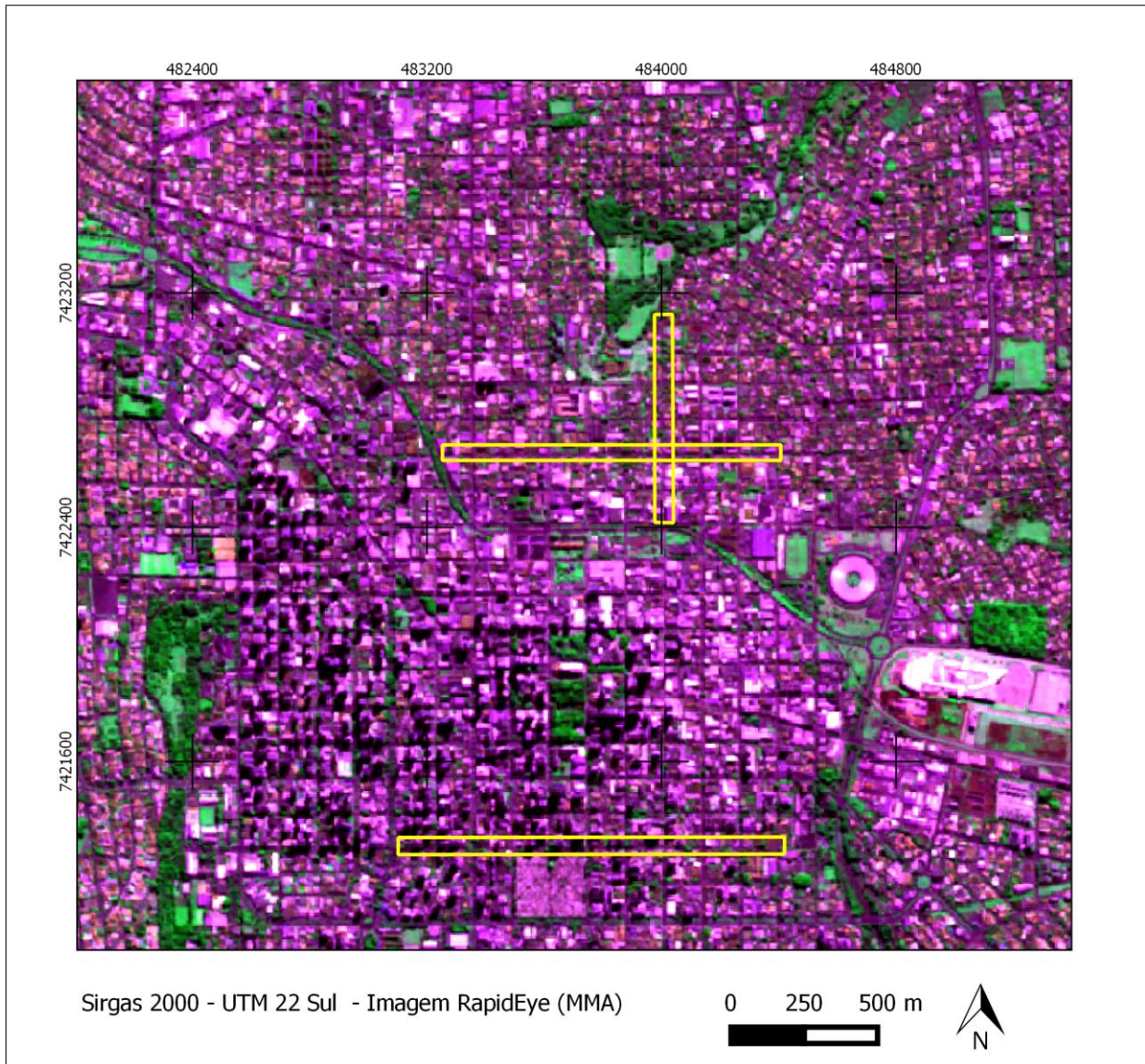
**Fonte:** Elaborado pela autora

### 5.3 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

A Figura 21 apresenta a imagem RapidEye com a composição R3G5B2, que realça a vegetação. Os tons de roxo e rosa com textura lisa mostram os locais que possivelmente representam solo exposto, enquanto a textura rugosa evidencia edificações. As regiões verdes indicam as vegetações da imagem, sendo os aspectos rugosos representações de vegetações arbóreas.

A partir dos índices de vegetação, é possível visualizar os locais de maiores concentrações de áreas verdes na cidade. Os pontos em destaque nas Figuras 22 e 23 representam essas áreas. A área “A” representa um fundo de vale, a “B” um bosque e a área “C” o Marco Zero da cidade, ou seja, áreas com considerável cobertura arbórea. Assim, percebe-se que com essa forma de visualização do índice de vegetação fica difícil identificar as condições de distribuição espacial da arborização urbana.

**Figura 21** – Imagem RapidEye<sup>2</sup> com composição R3G5B2

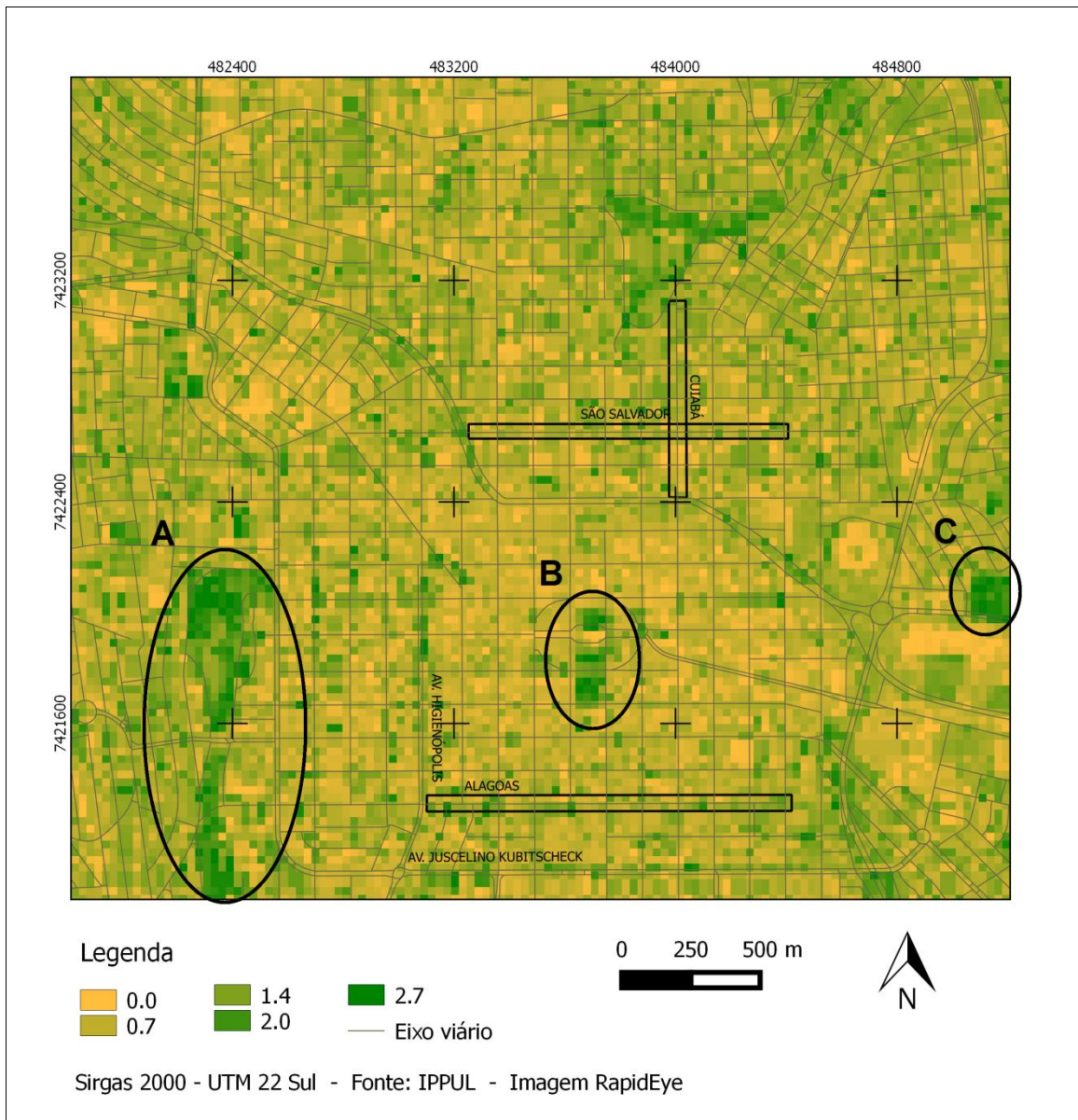


**Fonte:** Elaborado pela autora

Nas Figuras 22 e 23 têm-se as cartas que apresentaram melhor resultado na etapa de modelagem. A diferença na resolução espacial entre as duas imagens não interferiu significativamente na visualização da arborização urbana, porém, na carta do índice de vegetação EVI com *red-edge* gerado com resolução de 20 m (Figura 23), é possível perceber que a vegetação fica melhor delimitada e realçada.

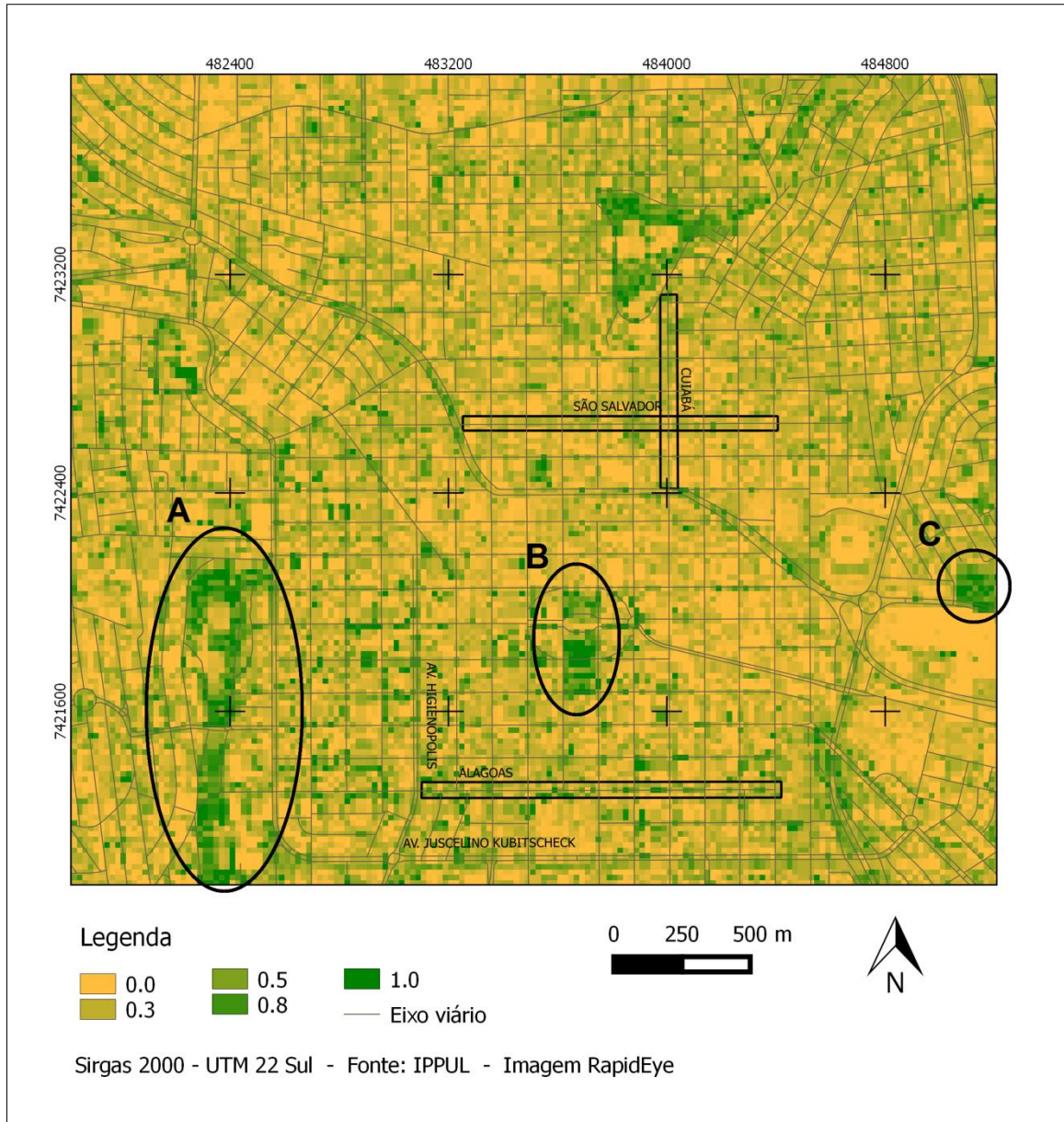
<sup>2</sup> Inclui material (C) (2014) RapidEye AG. Todos os direitos reservados.

**Figura 22** – Carta do Índice de vegetação EVI, gerado com resolução espacial de 30 m



**Fonte:** Elaborado pela autora

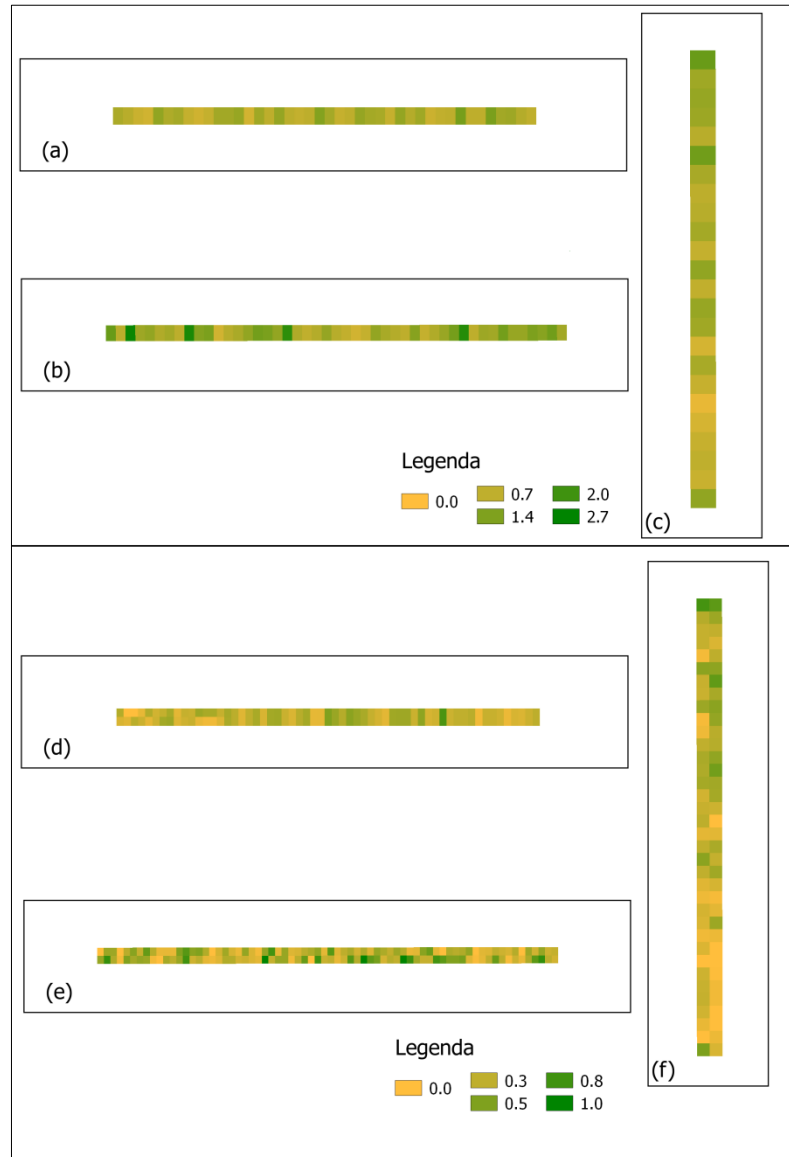
**Figura 23** – Carta do Índice de vegetação EVI com *red-edge*, gerado com resolução espacial de 20 m



**Fonte:** Elaborado pela autora

Na Figura 24 é apresentada uma montagem com os recortes das ruas avaliadas com índice EVI e EVI *red-edge* de resolução espacial de 30 e 20 m, respectivamente, na qual é possível notar que a distribuição da vegetação arbórea não é homogênea nessas ruas.

**Figura 24** – Recorte dos índices de vegetação EVI com resolução espacial 30 m nas ruas São Salvador (a), Alagoas (b) e Cuiabá (c); e EVI *red-edge* com resolução espacial 20 m nas ruas São Salvador (d), Alagoas (e) e Cuiabá (f)



**Fonte:** Elaborado pela autora

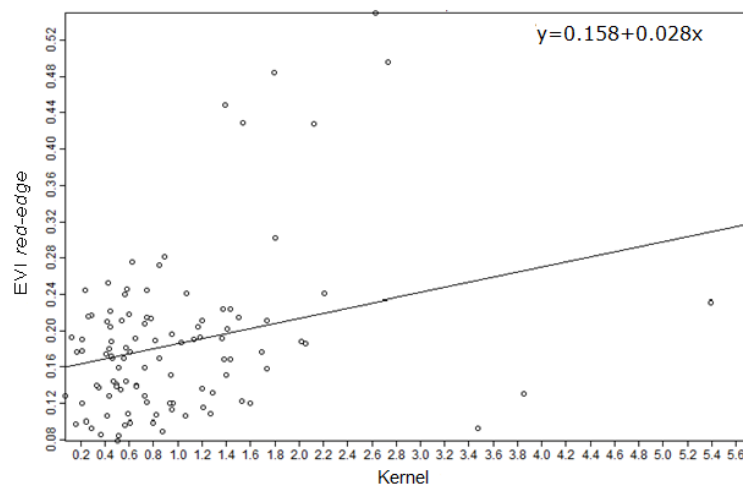
## 5.4 MODELAGEM

A rua São Salvador foi a primeira a ser analisada e, por isso, foram avaliados vários modelos de regressão com o objetivo de testar quais apresentariam melhor resultado. Os coeficientes de determinação  $R^2$ , que está na escala de 0% a 100%, entre os índices de vegetação e os operadores de densidade Kernel estão listados, com seus

respectivos parâmetros, na Tabela 2. Observou-se que o valor de  $R^2$  foi muito baixo para todas as combinações. Além disso, dentre as combinações avaliadas, verificou-se que o índice de vegetação EVI apresentou resultados um pouco melhores que o NDVI, chegando ao  $R^2$  de 8,03 e 8,9 (destacados na Tabela 2) quando utilizada a banda da cor vermelha e *red-edge*, respectivamente, bem como as resoluções de 30 m e 20 m. Nesses dois resultados, foi utilizado o operador de densidade Kernel de raio 50 m e resolução 30 m.

As Figuras 25 e 26 apresentam a dispersão entre os índices de vegetação e os operadores Kernel, bem como a reta de regressão. Observa-se que a dispersão entre os pontos do índice EVI é maior quando comparada ao índice EVI com a banda *red-edge*. Além disso, a orientação da reta de regressão é diferente nos dois modelos. Quando a regressão é negativa, como na Figura 25, significa que quanto maior o Kernel, menor o EVI. Já quando a regressão é positiva, como na Figura 26, significa que quanto maior o Kernel, maior o EVI *red-edge*. Espera-se que a densidade arbórea seja proporcional ao índice de vegetação, ou seja, quanto maior for a densidade arbórea, maior será o valor de índice de vegetação e, nesse sentido, o EVI *red-edge* é mais condizente que o EVI.

**Figura 25** – Gráfico de dispersão e reta de regressão entre pontos de EVI, banda red, resolução de 30 m e Kernel, com raio 50 m e resolução de 30 m para a rua São Salvador.  $R^2=8,03\%$



**Fonte:** Elaborado pela autora

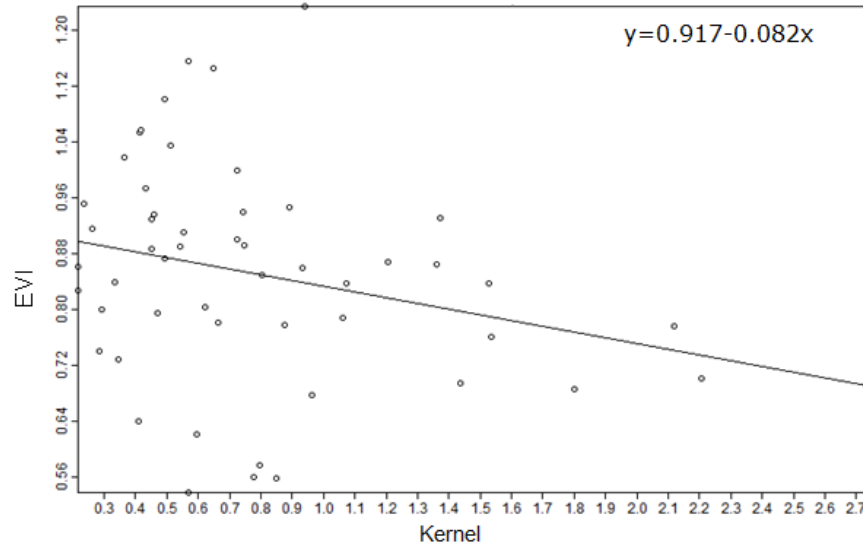
**Tabela 2** – Valores de  $R^2$  obtidos pela regressão entre índices de vegetação e operadores Kernel

Índice de vegetação	Resolução do Índice de vegetação	Raio do Kernel (m)	Resolução do Kernel (m)	$R^2$ (%)
EVI	20	30	30	2,14
<b>EVI</b>	<b>30</b>	<b>50</b>	<b>30</b>	<b>8,03</b>
EVI	20	50	30	4,43
EVI	30	30	30	0,69
EVI <i>red-edge</i>	10	30	10	0,14
EVI <i>red-edge</i>	20	30	30	4,78
<b>EVI <i>red-edge</i></b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>30</b>	<b>8,9</b>
EVI <i>red-edge</i>	30	50	30	1,68
NDVI	10	50	10	0,34
NDVI	20	30	30	1,27
NDVI	20	50	20	3,27
NDVI	20	50	30	4,72
NDVI	30	50	30	3,52
NDVI	30	30	30	0,38
NDVI <i>red-edge</i>	10	50	10	0,47
NDVI <i>red-edge</i>	20	30	30	3,9
NDVI <i>red-edge</i>	20	50	30	7,18
NDVI <i>red-edge</i>	20	50	20	5,81
NDVI <i>red-edge</i>	30	30	30	2,78

**Fonte:** Elaborado pela autora



**Figura 26** – Gráfico de dispersão e reta de regressão entre pontos de EVI *red-edge*, com resolução de 20 m e Kernel com raio de 50 m e resolução de 30 m para a rua São Salvador.  $R^2=8,90\%$

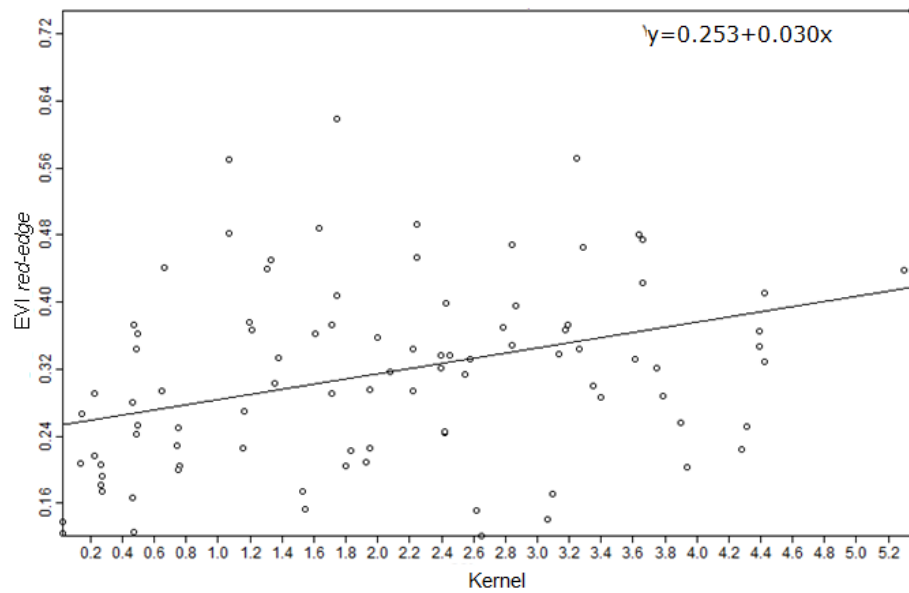


**Fonte:** Elaborado pela autora

Os modelos cujos parâmetros geraram os melhores resultados para a rua São Salvador foram aplicados também nas ruas Alagoas e Cuiabá, ou seja, EVI com banda *red*, resolução de 30 m e Kernel com raio 50 m e resolução de 30 m; e EVI *red-edge*, resolução de 20 m e Kernel com raio de 50 m e resolução de 30 m. Para a primeira rua, o coeficiente de determinação com melhor resultado foi o índice de vegetação EVI com a banda *red-edge*, com  $R^2$  12,57%. Observa-se na Figura 27 que os pontos estão bem dispersos e a reta de regressão é crescente.

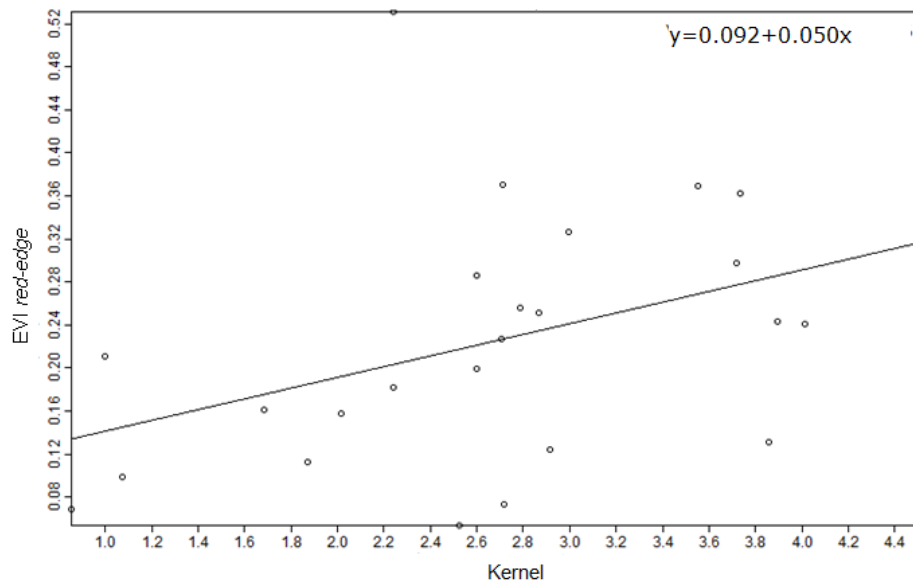
Na rua Cuiabá, o resultado foi semelhante, com melhor coeficiente onde foi aplicado o índice de vegetação EVI com a faixa espectral *red-edge*, resultando no maior  $R^2$  (17,27%) entre as três ruas. Pode-se observar na Figura 28 que os pontos estão dispersos e a reta de regressão é crescente.

**Figura 27** – Gráfico de dispersão e reta de regressão entre pontos de EVI *red-edge*, com resolução de 20 m e Kernel com raio de 50 m e resolução de 30 m para a rua Alagoas.  $R^2=12,57\%$



**Fonte:** Elaborado pela autora

**Figura 28** – Gráfico de dispersão e reta de regressão entre pontos de EVI *red-edge*, com resolução de 20 m e Kernel com raio de 50 m e resolução de 30 m para rua Cuiabá.  $R^2=17,27\%$



**Fonte:** Elaborado pela autora

## 6. CONCLUSÃO

A partir deste estudo, conclui-se que a criação de um banco de dados georreferenciados é uma eficiente ferramenta para a gestão da arborização viária, podendo ser expandido para todas as áreas verdes da cidade e disponibilizado para acesso e consulta de toda a comunidade, por meio de sites interativos. Embora seja natural a atribuição de um custo elevado ao fornecimento desse serviço por empresas de consultoria, o desenvolvimento dessa atividade no âmbito acadêmico pode contribuir para a sua implementação nos municípios.

O banco de dados georreferenciado vai ao encontro dos objetivos do PDAU, que no Art. 4º, inciso VI, cita a realização de diagnóstico, ação e acompanhamento da arborização urbana, com “fins de planejamento, avaliação, conservação, manejo, reposição, expansão, controle, fiscalização e participação popular”. Além disso, no mesmo artigo, no inciso VII, objetiva-se incentivar a cooperação de populares e organizações civis, com intuito de incrementar e conhecer os benefícios ambientais propiciados pela arborização urbana.

A densidade arbórea foi avaliada por meio do estimador de densidade Kernel e comparada com os dados de índices de vegetação. Concluiu-se que, a partir das técnicas e imagem utilizada, não foi possível confirmar a aplicabilidade do Sensoriamento Remoto para inferir características qualitativas da distribuição espacial da arborização urbana viária, em trechos da cidade de Londrina. A resolução espacial da imagem utilizada foi de 5 m, o que, por hipótese, poderia dar condições para realizar a inferência desejada. O fato de várias árvores no mesmo endereço serem geocodificadas com a mesma coordenada pode ter influenciado os resultados. Sugere-se que se busque utilizar a distância entre árvores como uma forma de atenuar esse efeito.

De qualquer forma, trabalhos futuros podem avaliar imagens de resolução espacial maior, com menor intervalo temporal entre os dados obtidos em campo e a aquisição da imagem, bem como fotografias aéreas, outros parâmetros para geração do Kernel e outros índices de vegetação.

Outra possibilidade é a utilização de técnicas de interpolação em substituição ao Kernel. Com tais métodos, seria possível, por exemplo, associar fatores de ponderação com base nas características alométricas observadas em campo, como porte e CAP. Coloca-se ainda a avaliação do diâmetro de copa como dado a ser coletado e utilizado na interpolação, apesar de ser muito variável em função da ocorrência de podas de manutenção e condução, ainda rotineiras em muitas cidades.

Ressalta-se que mesmo que não se tenha obtido bons resultados com a modelagem, a organização do banco de dados georreferenciado e o que ele possibilita em termos de consultas, por si só, são importantes ferramentas de gestão pública, sensibilização e educação ambiental.

.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, D. N.; NETO, R. M. R. Análise da arborização urbana de duas cidades da região norte do estado de Mato Grosso. *Revista Árvore*, Viçosa-MG, v. 34, n. 5, p. 899-906, 2010.

ARAÚJO, M. N.; ARAÚJO, A. J. *Arborização urbana*. Série de Cadernos Técnicos da Agenda Parlamentar, CREA-PR, p. 9, 2011.

BARCELLOS, A. et al. Manual para elaboração do plano municipal de arborização urbana. Paraná, mai. 2012, 18p.

BONAMETTI, J. H. Arborização urbana. *Revista Terra e Cultura: cadernos de ensino e pesquisa*. Londrina, Ano XIX, n. 36, jan./jun. 2003.

CÂMARA, G.; CARVALHO, M. S. Análise de eventos pontuais. *Análise Espacial de Dados Geográficos*. Brasília, EMBRAPA, 2004 (ISBN: 85-7383-260-6).

CAMARGO, E. C. G.; FUCKS, S. D.; CÂMARA, G. Análise espacial de superfícies. In: DRUCK, S.; CARVALHO, M. S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. (Ed.). *Análise espacial de dados geográficos*. Planaltina: Embrapa Cerrados, 2004. p. 79-122.

DELESPINASSE et al. Cenário da arborização urbana nas maiores cidades do estado do Paraná. *REVSBAU*, Piracicaba – SP, v. 6, n. 3, p. 149-171, 2011.

EDUARDO, B. F. S.; SILVA, A. J. M. *Avaliação da influência da correção atmosférica no cálculo do índice de vegetação NDVI em imagens Landsat 5 e RapidEye*. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu, Brasil, INPE p. 1442-1449, 13-18 abr. 2013.

Embrapa Monitoramento por Satélite e Prefeitura Municipal de Campinas. *Portal árvores de Campinas*. Disponível em: < [http://mapas.cnpm.embrapa.br/arvores\\_campinas/](http://mapas.cnpm.embrapa.br/arvores_campinas/) >. Acesso em: 18 out. 2016.

FELIX, I. M. et al. *RapidEye: a nova geração de satélites de observação da Terra*. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2009, Natal. *Anais...* Natal: INPE, abr. 2009, p. 7619-7622.

FILHO, P. C. O.; SILVA, S. V. K. *Um sistema de informações para suporte espacial e de decisões à gestão da arborização urbana no município de Guarapuava, Paraná.*

FRAGAL, E. H.; MONTANHER, O. C. *Correções atmosféricas 6s e DOS na caracterização espectral de alvos naturais de Ilha Grande utilizando dados do sensor TM 5.* Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, Brasil, INPE p. 7456-7463, 30 abr. - 05 mai. 2011.

GALVANI, E. *Avaliação da radiação solar fotossinteticamente ativa (par) em São Paulo, SP.* GEOUSP - Espaço e Tempo, São Paulo: USP, n. 25, p. 155-164, 2009.

GOMES, M. F.; QUEIROZ, D. R. E. *Avaliação da cobertura vegetal arbórea na cidade de Birigui com emprego de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto.* Revista Geografar, Curitiba, v. 6, n. 2, p. 93-117, dez. 2011.

GREY, G. W.; DENEKE, F. J. *Urban forestry.* New York: John Wiley & Sons, 1978.

Instituto Ambiental do Paraná (IAP). Portaria n. 95, de 22 de maio de 2007. Reconhece a Lista Oficial de Espécies Exóticas Invasoras do Paraná, estabelece normas de controle e dá outras providências. Curitiba, 22 mai. 2007.

IBGE. *Censo demográfico 2010.* Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/apps/atlas>>. Acesso em: 03 jun. 2016.

Instituto Nacional do Semiárido (INSA). *Índice de vegetação por diferença nomalizada.* Disponível em: <<http://www.insa.gov.br/ndvi/#.V1mc1PkrLIU>>. Acesso em: 09 jun. 2016.

JENSEN, J. R. *Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.* 2. ed. São José dos Campos/SP: Parêntese, 2009. 598p.

LONDRINA. Lei n. 11.996, de 30 de dezembro de 2013. Institui o Plano Diretor de Arborização do Município de Londrina. Jornal Oficial, n. 2334, p. 18, segunda-feira, 30 dez. 2013.

MASSI, E. H. G. et al. Arborização das vias públicas em um trecho da área central da cidade de Londrina, PR. In: *IV Seminário de Extensão e Inovação da UTFPR – 4º SEI-UTFPR*, Cornélio Procópio/PR, 30 set. 2014.

MENESES, P. R. Princípios de sensoriamento remoto. In: MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (Org.) *Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto*. Brasília: UnB, 2012, p. 1-33.

Ministério do Meio Ambiente (MMA). *Parque e áreas verdes*. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/areas-verdes-urbanas/parques-e-%C3%A1reas-verdes>>. Acesso em: 18 out. 2016.

MONICO J. F. G. *Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações*. 2. ed. São Paulo/SP: Unesp, 2008. 476 p.

MOURA, A. R.; NUCCI, J. C. *Análise da cobertura vegetal do bairro de Santa Felicidade, Curitiba/PR*. In: XI SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 2005, São Paulo. *Anais...* São Paulo: USP, 2005.

NICODEMO, M. L.; PRIMAVESI, O. *Por que manter árvores na área urbana?* São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, p. 14, 2009. Disponível em: <<http://www.cppse.embrapa.br/080servicos/documentos89.pdf>>. Acesso em: 09 jun. 2016.

NOVO, E. M. L. de M. *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações*. São Paulo: Blucher, 2008. 363p.

NOWAK, D. J. et al. *Assessing urban forest effects and values*. USDA Forest Service. feb. 2007. 24p.

PARANÁ. Lei n. 15.953, 24 de setembro de 2008. Proíbe o plantio, comércio, transporte e produção da planta murta (*Murraya paniculata*), por ser vegetal hospedeiro da bactéria *Candidatus liberibacter* ssp., disseminada pelo inseto vetor *Diaphorina citri*, transmissor da praga denominada *Huanglongbing* (HLB-Greening). Diário Oficial do Estado do Paraná, n. 7813, 24 set. 2008.

PIVETTA, K. F. L.; SILVA-FILHO D. F. *Arborização urbana*. Boletim Acadêmico. Serie Arborização Urbana, UNESP /FCAV /FUNEP. Jaboticabal, SP. 2002.

PONZONI, F. J. et al. *Calibração Absoluta de Sensores Orbitais*. Conceituações, Principais Procedimentos e Aplicações. Editora Parêntese. São José dos Campos/SP, 2007. 65p.

PORTO, L. R. et al. Como adequar a arborização urbana ao PDAU: um estudo de caso para o centro de Londrina. In: *V Seminário de Extensão e Inovação da UTFPR – 5º SEI-UTFPR*, Campo Mourão/PR, 10-11 nov. 2015.

VERMOTE, E. F. et al. Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview., *IEEE Trans. Geosc. and Remote Sens*, v. 35, p. 675-686, 03 mai. 1997.

XAVIER, A. C.; VETTORAZZI, C. A.; MACHADO, R. E. *Relação entre Índice de área foliar e frações de componentes puros do modelo linear de mistura espectral, usando imagens etm+/landsat*. *Eng. Agríc.*, Jaboticabal, v. 24, n. 2, mai./ago. 2004, p. 421-430.