

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA
MESTRADO EM GESTÃO DO TERRITÓRIO

JESSIKA ALEXANDRA ZAMBRANO HERNANDEZ

MAPEAMENTO DA ARBORIZAÇÃO DE CALÇADAS NAS VIAS PÚBLICAS DE
PONTA GROSSA-PR COM USO DE SENSORIAMENTO REMOTO

PONTA GROSSA

2020

JESSIKA ALEXANDRA ZAMBRANO HERNANDEZ

MAPEAMENTO DA ARBORIZAÇÃO DE CALÇADAS NAS VIAS PÚBLICAS DE
PONTA GROSSA-PR COM USO DE SENSORIAMENTO REMOTO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, curso de Mestrado em Gestão do Território da Universidade Estadual de Ponta Grossa, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre.

Orientação: Prof^a Dra. Sílvia Méri Carvalho.

Co-orientador: Prof Dr. Gil Rito Gonçalves.

PONTA GROSSA

2020

Z24 Zambrano Hernandez, Jessika Alexandra
Mapeamento da arborização de calçadas nas vias públicas de Ponta Grossa -
PR com uso de sensoriamento remoto / Jessika Alexandra Zambrano Hernandez.
Ponta Grossa, 2020.
136 f.

Dissertação (Mestrado em Gestão do Território - Área de Concentração:
Gestão do Território: Sociedade e Natureza), Universidade Estadual de Ponta
Grossa.

Orientadora: Profa. Dra. Sílvia Méri Carvalho.
Coorientador: Prof. Dr. Gil Rito Gonçalves.

1. Floresta urbana. 2. Arborização viária. 3. Classificações orientadas a
pixel. 4. Ndvi. 5. Mapeamento. I. Carvalho, Sílvia Méri. II. Gonçalves, Gil Rito. III.
Universidade Estadual de Ponta Grossa. Gestão do Território: Sociedade e
Natureza. IV.T.

CDD: 910

TERMO DE APROVAÇÃO

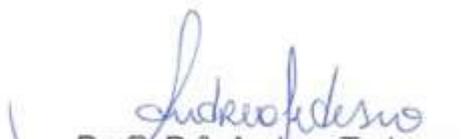
JESSIKA ALEXANDRA ZAMBRANO HERNANDEZ

“MAPEAMENTO DA ARBORIZAÇÃO DE CALÇADAS NAS VIAS PÚBLICAS DE PONTA GROSSA – PR COM USO DE SENSORIAMENTO REMOTO”

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Geografia – Mestrado em Gestão do Território, Setor de Ciências Exatas e Naturais da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:



Prof.ª. Dr.ª. Silvia Méri Carvalho
(UEPG)



Prof.ª. Dr.ª. Andrea Tedesco
(UEPG)



Prof. Dr. Rogério Bobrowski
(UNICENTRO)

Ponta Grossa, 4 de março de 2020.

Dedico essa pesquisa a Deus, ao Universo porque graças a essa força infinita tenho minha família. Especialmente, agradeço aos meus pais, Ariel Zambrano e Inês Hernandez, e a minha irmã, Martha Zambrano, por sempre encontrarem as palavras adequadas para aqueles momentos quando se sente que não se pode mais. Sempre manifestaram seu apoio incondicional e a profunda admiração que sentiam por mim por ter tomado a decisão de deixar minha zona de conforto. Aquelas palavras e conselhos continuamente foram alimento para mim para conseguir alcançar meu sonho. Serei agradecida por toda vida pela experiência no Brasil.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Estadual de Ponta Grossa pela oportunidade dada por meio das bolsas PAEC OEA-GCUB, destinadas aos alunos estrangeiros, no programa de Pós-Graduação em Geografia, Mestrado em Gestão do Território.

À professora e orientadora Dra. Silvia Méri Carvalho, pela dedicação e acompanhamento na elaboração dessa pesquisa. Além disso, agradecer de todo coração, pois trouxe à luz minha disciplina e coisas que não acreditava possíveis.

Ao professor e co-orientador Dr. Gil Rito Gonçalves, pela ajuda e disposição sempre nos ensinamentos na área de Sensoriamento Remoto e Geotecnologias.

Aos colegas do LAESA - Laboratório de Estudos Socioambientais, especialmente Janaina Santana dos Santos, pela amizade.

Un árbol está vivo como un pueblo más que como un individuo,
derribarlo debería ser tarea solamente del rayo.
(Erri De Luca)

RESUMO

A arborização urbana nas calçadas das cidades está associada, em nível mundial, à qualidade de vida dos habitantes, pois é o fator principal que auxilia a romper a paisagem de concreto, além de contribuir com a circulação do ar, regulação do microclima e incentivar o lazer. No entanto, o plantio das árvores nas calçadas deve ser conduzido respeitando-se certas regras estabelecidas pelos órgãos de controle. Por esse motivo, é importante o conhecimento da distribuição e estado das árvores em relação ao ambiente urbano, sendo o inventário a ferramenta mais empregada para conhecer o estado das árvores. Uma das maneiras de efetivar inventários é utilizando os censos arbóreos, nos quais se pode incluir dados quantitativos e qualitativos. Um dos modos de realizar o censo é por meio de trabalho no campo, o qual requer profissionais com conhecimento específico e apresenta um custo elevado, sobretudo para cidades com grandes extensões. Alternativas vêm sendo buscadas para otimizar esse processo. Dentro desse contexto, a presente pesquisa realizou um mapeamento e quantificação das árvores presentes nas calçadas dos bairros Chapada, Boa Vista, Oficinas e Área Central, na área urbana de Ponta Grossa – PR. Foram empregadas três metodologias orientadas a pixel: a classificação supervisionada, classificação não supervisionada e classificação por segmentação do NDVI a partir do uso de imagem Pléiades (2013), com resolução espacial de 2m nas bandas multiespectrais e de 50cm na banda pancromática. Foi utilizado como referência de pontos de verdade o mapeamento arbóreo obtido pela metodologia da análise visual, fornecido pelo Laboratório de Estudos Socioambientais-LAESA da Universidade Estadual de Ponta Grossa. Comparadas as árvores mapeadas com as três metodologias, tendo como referência o mapeamento feito com a metodologia da análise visual, o índice de acerto para Oficinas foi de 97,78%, Boa Vista 94,74%, Área Central 81,01% e Chapada 76,02%. Fazendo clareza que a metodologia do NDVI é considerada na comparação, embora que as condições de sua resolução espacial é de 2m.

Palavras-chave: Floresta urbana, Arborização Viária, Classificações orientadas a pixel, NDVI e Mapeamento.

ABSTRACT

Urban afforestation on city sidewalks is associated, worldwide, with the quality of life of the inhabitants, as it is the main factor that helps to break the concrete landscape, in addition to contributing to air circulation, regulation of the microclimate and encouraging leisure. However, the planting of trees on the sidewalks must be carried out in compliance with certain rules established by the control bodies. For this reason, it is important to know the distribution and state of the trees in relation to the urban environment, with the inventory being the most used tool to know the state of the trees. One of the ways to carry out inventories is using tree censuses, in which quantitative and qualitative data can be included. One of the ways to carry out the census is through work in the field, which requires professionals with specific knowledge and has a high cost, especially for cities with large extensions. Alternatives are being sought to optimize this process. Within this context, this research carried out a mapping and quantification of trees present on the sidewalks of Chapada, Boa Vista, Oficinas and Central Area, in the urban area of Ponta Grossa - PR. Three methodologies oriented to pixel supervised classification, unsupervised classification and classification by segmentation of the NDVI were used using the Pléiades image (2013), with spatial resolution of 2m in the multispectral bands and 0.50cm in the panchromatic band. The tree mapping obtained by the visual analysis methodology, provided by the Laboratory of Socioenvironmental Studies-LAESA of the State University of Ponta Grossa, was used as a reference for points of truth. Compared the trees mapped with the three methodologies, having as reference the mapping made with the methodology of visual analysis, the hit rate for Oficinas was 97.78%, Boa Vista 94.74%, Central Area 81.01% and Chapada 76.02%. Making it clear that the NDVI methodology is considered in the comparison, although the conditions for its spatial resolution is 2m.

Keywords: Urban forest. Road afforestation. Classification. NDVI. Mapping.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Organograma do espaço urbano.....	19
Figura 2 -	Via arborizada na cidade de Ponta Grossa.....	22
Figura 3 -	Parklet na Rua Engenheiro Schamber em Ponta Grossa.....	23
Figura 4 -	Matriz de floresta urbana representando o alcance na cidade.....	26
Figura 5 -	Funções benéficas desempenhadas pelas partes constituintes de uma árvore.....	29
Figura 6 -	Diferenças no desenvolvimento das árvores no ambiente urbano versus o ambiente florestal.....	36
Figura 7 -	Situações e distâncias a serem consideradas para o plantio de árvores nas vias das cidades.....	37
Figura 8 -	Árvore na combinação RGB 321 e árvore na combinação RGB 413.....	40
Figura 9 -	Aparência das árvores em imagem com composição colorida em falsa cor.....	41
Figura 10 -	Aparência das árvores em imagem com composição colorida em verdadeira cor.....	42
Figura 11 -	Classificação para vegetação e disposição das árvores.....	46
Figura 12 -	Localização da área de estudo.....	62
Figura 13 -	Diagrama dos processos empregados.....	65
Figura 14 -	Conversão de pixels para polígonos.....	67
Figura 15 -	Análise visual da arborização do bairro Chapada.....	72
Figura 16 -	Análises visual da arborização da Área Central.....	72
Figura 17 -	Análise visual da arborização do bairro Boa Vista.....	72
Figura 18 -	Análise visual da arborização do bairro Oficinas.....	72
Figura 19 -	NDVI bairro Chapada- Ponta Grossa-PR.....	75
Figura 20 -	Extração da não vegetação no Bairro Chapada.....	74
Figura 21 -	Vegetação incluída nas vias - Bairro Chapada.....	75
Figura 22 -	Ampliação da região mostrando a retirada dos polígonos extras..	75
Figura 23 -	Mapeamento de árvores pela análise visual e NDVI do bairro Chapada.....	77

Figura 14 - Área Central método NDVI.....	79
Figura 25 - Árvores obtidas pela análise visual e NDVI da área central.....	80
Figura 26 - Bairro Boa Vista Método NDVI.....	82
Figura 27 - Árvores obtidas pela Análise visual e NDVI no bairro Boa Vista....	83
Figura 28 - Bairro Oficinas Método NDVI.....	85
Figura 29 - Árvores obtidas pela Análise visual e NDVI no bairro Oficinas.....	86
Figura 30 - Histograma das classes das vias.....	89
Figura 31 - Diagramas de dispersão das classes das vias.....	91
Figura 32 - Comportamento dos níveis digitais nas bandas.....	92
Figura 33 - Classificação não supervisionada para o bairro Chapada.....	94
Figura 34 - Classificação não supervisionada das vias no bairro Chapada.....	94
Figura 35 - Mapeamento de árvores pela classificação não supervisionada e análise visual no bairro Chapada.....	96
Figura 36 - Área Central método classificação não supervisionada.....	97
Figura 37 - Mapeamento de árvores pela classificação não supervisionada e análise visual na Área Central.....	98
Figura 38 - Bairro Boa Vista metodologia classificação não supervisionada...	100
Figura 39 - Mapeamento de árvores do bairro Boa Vista por classificação não supervisionada e análise visual.....	101
Figura 40 - Bairro Oficinas metodologia classificação não supervisionada.....	103
Figura 41 - Mapeamento de árvores pela classificação não supervisionada e análise visual no Bairro Oficinas.....	104
Figura 42 - Classificação supervisionada do bairro Chapada.....	106
Figura 43 - Histograma e diagramas de dispersão das classes das vias com a imagem segmentada.....	107
Figura 44 - Comportamento das classes, imagem segmentada.....	108
Figura 45 - Ampliação da visualização de pixel a polígono e depuração de polígonos.....	109
Figura 46 - Classificação supervisionada das vias no bairro Chapada.....	110
Figura 47 - Mapeamento de árvores pela classificação supervisionada e análise visual no bairro Chapada.....	111
Figura 48 - Área Central metodologia classificação supervisionada.....	113

Figura 49 - Mapeamento de árvores pela classificação supervisionada e análise visual na Área Central.....	114
Figura 50 - Boa vista método classificação supervisionada.....	116
Figura 51 - Mapeamento de árvores pela classificação supervisionada e análise visual no bairro Boa Vista.....	117
Figura 52 - Bairro Oficinas método classificação supervisionada.....	119
Figura 53 - Mapeamento de árvores pela classificação supervisionada e análise visual no bairro Oficinas.....	120

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Espaços públicos.....	20
Quadro 2 -	Porte das árvores baseado na largura das ruas e calçadas.....	35
Quadro 3 -	Qualidade da classificação associada aos valores da estatística Kappa.....	51
Quadro 4 -	Estudos realizados utilizando geotecnologias no mapeamento da vegetação no Brasil.....	54
Quadro 5 -	Estudos realizados utilizando geotecnologias no mapeamento da vegetação urbana em alguns países do mundo.....	57
Quadro 6 -	Dados de árvores por vias na área urbana de Ponta Grossa.....	63
Quadro 7 -	Classes de uso e forma de interpretação na imagem.....	88
Quadro 8 -	Classes para as classificações não supervisionadas e supervisionadas, forma de interpretação no buffer das vias.....	90
Quadro 9 -	Estatísticas das classes aplicadas no buffer das vias.....	92
Quadro 10 -	Algoritmos de classificação do ArGis.....	105
Quadro 11 -	Estatísticas das classes aplicadas no buffer das vias, imagem segmentada.....	108
Quadro 12 -	Identificação de falsos positivos, falsos negativos e verdadeiros positivos.....	121
Quadro 13 -	Resumo das matrizes de erro por bairro e método empregado....	122
Quadro 14 -	Porcentagens de árvores mapeadas por bairro e o método usado.....	124

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Matriz de erro NDVI Bairro Chapada.....	76
Tabela 2 -	Matriz de erro NDVI para buffer de vias.....	78
Tabela 3 -	Matriz de erro NDVI área central.....	81
Tabela 4 -	Matriz de erro NDVI das vias na área central.....	81
Tabela 5 -	Matriz de erro NDVI no Bairro Boa Vista.....	84
Tabela 6 -	Matriz de erro das vias no bairro Boa Vista.....	84
Tabela 7 -	Matriz de erro NDVI no Bairro Oficinas.....	87
Tabela 8 -	Matriz de erro das vias no bairro Oficinas.....	87
Tabela 9 -	Matriz de erro classificação não supervisionada bairro Chapada..	95
Tabela 10 -	Matriz de erro classificação não supervisionada das vias do bairro Chapada.....	95
Tabela 11 -	Matriz de erro classificação não supervisionada da Área Central..	95
Tabela 12 -	Matriz de erro Classificação não supervisionada das vias da Área central.....	99
Tabela 13 -	Matriz de erro Classificação não supervisionada do bairro Boa Vista.....	99
Tabela 14 -	Matriz de erro classificação não supervisionada das vias do bairro Boa Vista.....	102
Tabela 15 -	Matriz de erro classificação não supervisionada do bairro Oficinas.....	102
Tabela 16 -	Matriz de erro classificação não supervisionada das vias do Oficina.....	102
Tabela 17 -	Matriz de erro para classificação supervisionada de Bairro Chapada.....	106
Tabela 18 -	Matriz de erro classificação supervisionada das vias de Chapada	110
Tabela 19 -	Matriz de erro para classificação supervisionada no Área Central	112
Tabela 20 -	Matriz de erro classificação supervisionada das vias na Área Central.....	112
Tabela 21 -	Matriz de erro para classificação supervisionada no Bairro Boa Vista.....	115
Tabela 22 -	Matriz de erro classificação supervisionada das vias do bairro Boa Vista.....	115

Tabela 23 - Matriz de erro para classificação supervisionada no bairro Oficinas.....	118
Tabela 24 - Matriz de erro classificação supervisionada das vias no bairro Oficinas.....	118

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	ARBORIZAÇÃO DE VIAS PÚBLICAS NO CONTEXTO DO ESPAÇO URBANO.....	18
2.1	ESPAÇO PÚBLICO E ESPAÇO PRIVADO NO AMBIENTE URBANO..	18
2.2	ARBORIZAÇÃO URBANA, FLORESTA URBANA, BOSQUES URBANOS: DEFINIÇÕES E TIPOLOGIAS.....	23
2.3	ARBORIZAÇÃO DE VIAS.....	33
3	GEOTECNOLOGIAS APLICADAS A ESTUDOS SOBRE ARBORIZAÇÃO URBAN.....	38
3.1	PRINCÍPIOS DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA ESTUDOS ENVOLVENDO VEGETAÇÃO.....	38
3.2	DETECÇÕES DE ÁRVORES POR MEIO DE CLASSIFICAÇÕES ORIENTADAS A PIXEL.....	40
3.3	ESTUDOS SOBRE ARBORIZAÇÃO VIÁRIA COM APLICAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO.....	53
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	60
4.1	RECORTE ESPACIAL ADOTADO.....	60
4.2	BASE DE DADOS PARA O MAPEMANTO DAS ÁRVORES NAS CALÇADAS.....	62
4.3	PROCEDIMENTOS EMPREGADOS.....	64
4.3.1	Análise Visual.....	64
4.3.2	Índice de Vegetação da Diferença Normalizada – NDVI.....	64
4.3.3	Classificação supervisionada.....	67
4.3.4	Classificação não supervisionada.....	68
4.3.5	Validação das classificações.....	69
5	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA ARBORIZAÇÃO DE CALÇADAS NA ÁREA URBANA DE PONTA GROSSA.....	71
5.1	APLICAÇÃO DO NDVI.....	71
5.2	COMPORTAMENTO DAS BANDAS ESPECTRAIS PARA AS CLASSIFICAÇÕES.....	87
5.3	CLASSIFICAÇÃO NÃO SUPERVISIONADA.....	93
5.4	CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA.....	105

5.5 DISCUSSÕES.....	121
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	125
REFERÊNCIAS.....	128

1 INTRODUÇÃO

O aumento da população nas cidades tem gerado transformações sociais, culturais, ambientais e econômicas, dando origem aos espaços urbanos com dinâmicas singulares e problemas únicos. Segundo Narvaez (2015), "a população é a primeira conexão com os problemas da cidade e da relação do espaço urbano com a dinâmica social" (p. 51). É a partir da falta de controle e ordenamento desse crescimento demográfico que surgem os problemas das cidades, tais como usos inadequados da terra, diminuição da importância do meio ambiente, sistemas econômicos não elaborados, entre outros. Um dos conflitos, atualmente, é a gestão da vegetação presente nos espaços públicos, mais especificamente a arborização, especialmente aquela presente nas calçadas.

Segundo De Angelis e Loboda (2005), a ação benéfica que a vegetação proporciona ao meio urbano é bem conhecida, seja por meio de indicadores de purificação do ar, pela fixação de poeira e materiais residuais, depuração de microrganismos bacterianos, como também pela reciclagem do gás CO₂ através do mecanismo das fotossínteses. Por essa razão, os estudos realizados focalizam a importância do plantio de novas árvores, conservação das antigas, análise e levantamentos sobre a presença de espécies endêmicas, nativas e exóticas.

Em relação à arborização de vias que se referem às árvores plantadas ao longo das calçadas, Biondi (2008) afirma que a vegetação viária é o fator que mais estabelece contato com a população urbana em geral. A presença da arborização nas calçadas, por exemplo, pode proporcionar uma cidade com uma paisagem agradável, regular o microclima, proporcionar sombras para os pedestres e possibilitar o lazer em praças públicas, dando origem a uma concepção de cidade amigável (SILVA et al., 2002).

Mas, deve-se ter em mente que o plantio de árvores é regido por regras de planejamento em cada cidade. O estado de Paraná conta com o "Manual para elaboração do Plano Municipal de Arborização Urbana", cujo objetivo é o de dar orientações aos 399 municípios do estado. Enfatiza que, de acordo com o Estatuto da cidade (Lei 10.257/2001), é obrigatório que cada município formule e execute um plano de arborização urbana (PARANÁ, 2018). "A finalidade deste documento é apresentar subsídios às Prefeituras Municipais do Estado do Paraná quanto aos

requisitos, tópicos e etapas que devem estar contemplados no Plano Municipal de Arborização Urbana” (PARANÁ, 2018, p. 7).

A coleta de informações arbóreas é uma etapa essencial, pois possibilita um conhecimento prévio da realidade da cidade. Dentre as principais metodologias estão os inventários arbóreos com emprego dos censos, os quais devem considerar o tamanho da cidade, o tamanho da amostra, o número de árvores, o diâmetro, a altura do tronco, a condição da árvore, a presença de pragas, a localização das redes de serviço etc. (ARAUJO; ARAUJO, 2011). Embora seja o método mais preciso, é um processo longo devido ao trabalho gerado no campo e gabinete. Em função do exposto, foi introduzido para a obtenção dos inventários arbóreos o sensoriamento remoto, que permitirá a coleta de dados de objetos distantes, neste caso as árvores, por meio de imagens de satélite.

No caso da cidade de Ponta Grossa, os estudos da arborização viária ocorreram inicialmente com levantamentos de campo, de forma fragmentada, ou seja, em alguns bairros. O laboratório de Estudos Socioambientais (LAESA) da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) realiza, atualmente, esses levantamentos utilizando imagem de satélite de alta resolução espacial, proveniente do sensor Pléiades. A metodologia usada é a de análise visual que, de maneira geral, consiste em quantificar as árvores localizadas nas vias urbanas para que, posteriormente, sejam digitalizadas e georeferenciadas por meio de softwares de SIG (Sistemas de Informação Geográfica) e processamento digital de imagens.

A dificuldade dessa metodologia é o tempo empregado e, em algum momento, a subjetividade do analista. Considerando essa situação, é necessário propor uma metodologia que seja, de alguma forma, mais eficiente, rápida e precisa, a fim de realizar um inventário arbóreo das calçadas da área urbana de Ponta Grossa ou de qualquer outra área urbana.

Por esse motivo, surge a necessidade de aplicar métodos de identificação e organização dos dados obtidos no campo automatizados ou, pelo menos, semi-automatizados, com a finalidade de criar um banco de dados georeferenciados que no futuro também seja passível de atualização.

Em vista do exposto, surge a questão inicial dessa pesquisa: Como a aplicação de uma metodologia, a partir do uso do sensoriamento remoto, pode contribuir para a quantificação e para o mapeamento da arborização urbana de vias públicas em Ponta Grossa?

A partir da questão inicial, a seguinte hipótese foi levantada: O uso dos sensores remotos para o mapeamento da arborização viária contribui para acrescentar a precisão dos processos convencionais feitos com o uso da metodologia da análise visual. Espera-se que um aporte robusto seja obtido para o processo de mapeamento das árvores localizadas nas calçadas.

Para dar resposta à pergunta inicial, teve-se como objetivo geral propor uma metodologia, a partir do uso do sensoriamento remoto, para a quantificação e mapeamento da arborização de calçadas na área urbana de Ponta Grossa-PR. Os objetivos específicos estabelecidos foram:

- i) identificar e desenvolver procedimentos que permitissem um adequado mapeamento da arborização de calçadas públicas;
- ii) testar e avaliar métodos de classificação para o mapeamento da arborização de calçadas de Ponta Grossa com uso de imagem de satélite;
- iii) quantificar a distribuição espacial da arborização nas calçadas das vias públicas de Ponta Grossa, utilizando o processamento digital de imagem de satélite Pléiades e
- iv) apontar qual metodologia permitiria obter melhores resultados no mapeamento, semiautomático da arborização viária.

A presente pesquisa foi estruturada em seis itens, o primeiro item traz uma abordagem teórica, na qual a arborização urbana, em especial a urbanização de calçadas, é contextualizada no espaço urbano, salientando a importância e os benefícios que traz para as cidades. No segundo item apresentam-se as metodologias utilizadas na pesquisa e a base de dados, bem como a delimitação da área de estudo.

O terceiro item apresenta os estudos obtidos referentes ao mapeamento das árvores com sensoriamento remoto.

O quarto item aborda as metodologias empregadas para o mapeamento das árvores nas calçadas dos bairros Chapada, Boa Vista, Oficinas e Área Central. No item cinco realizam-se comparações entre os dados obtidos com as diferentes metodologias e os dados de referência da análise visual fornecida por Tadenuma (2018). No item seis são feitas algumas recomendações com base nos resultados obtidos.

2 ARBORIZAÇÃO DE VIAS PÚBLICAS NO CONTEXTO DO ESPAÇO URBANO

Esse item aborda o conceito de espaço urbano, destacando o espaço público e sua configuração, enfatizando o sistema viário presente nas cidades e apresentando alguns conceitos da comunidade especialista no tema.

2.1 ESPAÇO PÚBLICO E ESPAÇO PRIVADO NO AMBIENTE URBANO

Segundo Cavalheiro et al. (1999), o conceito de espaço urbano não se concentra apenas nas áreas em que qualquer tipo de atividade econômica, como o transporte, é apresentado. Ele também dá lugar aos espaços livres nos quais não há edificações, fazendo parte do lazer da cidade, dos passeios ao ar livre, do resto da vida cotidiana daqueles que constroem uma cidade, longe dos ruídos automotivos e da atividade da cidade.

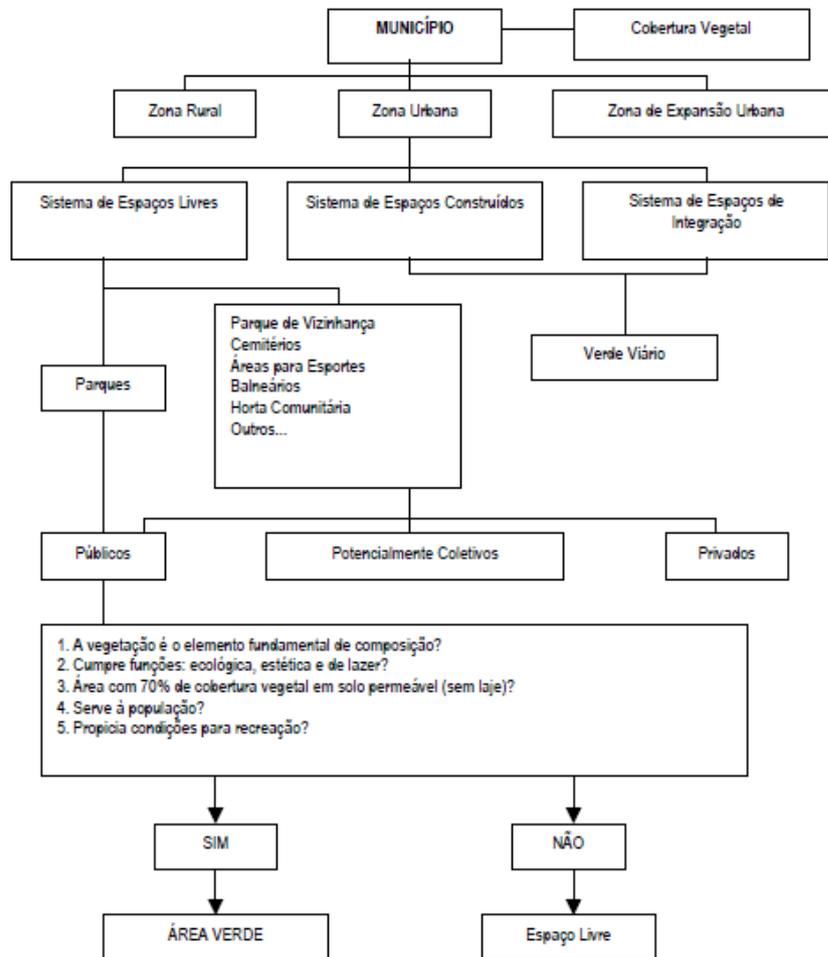
O significado de espaço urbano muda de acordo com as pessoas e as atividades que elas têm. Pode ser percebido como um espaço praticado e definido como o que se encontra na interação cotidiana com o indivíduo, ou seja, sua casa, as ruas próximas nas quais se movimenta diariamente, sua paisagem, etc. (CALDEIRA, 2007).

De acordo com Buccheri Filho e Nucci (2006), é necessário propor uma classificação (Figura 1) para poder quantificar os espaços livres, as áreas verdes e a cobertura vegetal presentes no espaço urbano. Esses autores sugerem padronizar o uso de alguns conceitos, por exemplo, sistemas de espaços com construções, que comportariam: habitação, indústria, comércio, hospitais, escolas, entre outros; sistemas de espaços livres de construção, como praças, parques, águas superficiais etc., e, por último, sistemas de espaços de integração urbana, como a rede rodoferroviária. Nesse último, estaria inserido o verde viário, ou seja, as árvores plantadas nas calçadas que acompanham as vias, sejam elas públicas ou privadas.

O espaço público possibilita a pouca recreação que o habitante da cidade pode dispor. É o local em que os habitantes realizam atividades físicas, comerciais, sociais e no qual a história se desenvolve. A concepção do espaço urbano está seguindo um novo modelo de implantação, ele recebe uma intenção de reduzir os efeitos da expansão e o surgimento da metrópole, introduzindo planos de plantio de

árvores, cobrando a importância das áreas verdes, buscando cidades sustentáveis (QUEIROZ, 2014).

Figura 1 - Organograma do espaço urbano



Fonte: BUCCHERI FILHO; NUCCI, 2006.

Para Gomes (2006), o espaço público é um espaço físico, já que pode ser sentido e observado.

Dentro do espaço público existem algumas subcategorias: as ruas, os parques e a praça. Mas, dentro delas encontram-se diferenças que devem ser esclarecidas, já que existem espaços abertos urbanos de caráter público e outros privados que serão diferenciados pelas modificações de acessibilidade e os acréscimos que os moradores farão de acordo com os usos e atividades realizados nos referidos locais (PALOMARES, 2011). O espaço público aberto permite ao habitante ter acesso a ele independentemente do horário e está sempre para o uso

da comunidade, portanto nesse espaço são observadas atividades como recreação, comércio, caminhadas, turismo etc. Tem como consequência a construção de fortes relações entre a cidade e o morador (PALOMARES, 2011), sendo os mais notórios os expressos no Quadro 1.

Quadro 1 - Espaços públicos

Ruas	Pontes para pedestres
Praças	Pontes veiculares
Parques	Áreas residuais
Jardins	Rotatórias

Fonte: Adaptado de PALOMARES, 2011.

Espaços urbanos de natureza semipública ou potencialmente coletivos têm certas restrições para acessá-los, como o tempo de permanência neles, e, praticamente, esses limites são demarcados por muros, cercas, vigilância etc.

Os espaços potencialmente coletivos são os que se encontram dentro das universidades, escolas, igrejas (QUEIROZ, 2014). São zonas que têm horários estabelecidos, mas, mesmo assim, podem ser usados para recreação em finais de semana, como ruas e parques fechados, quadras esportivas, jardins e praças de edifícios públicos, praças de igrejas, cemitérios, paradas de transporte e universidades públicas (PALOMARES, 2011).

Nos espaços privados, as restrições são notórias em comparação aos espaços pertencentes ao semiprivado, como em pátios, terraços e telhados de casas, jardins de edifícios privados, praias privadas e áreas de estacionamento (PALOMARES, 2011).

Dentro dos espaços abertos já mencionados existem algumas categorias que estão presentes nas cidades.

- Elementos de circulação e de permanência (trilhas, passeios e fluxos veiculares etc.);
- Vegetação (árvores, arbustos, gramíneas etc.);
- Mobiliário urbano (bancos, esculturas ou monumentos, fontes, parques infantis et;
- Elementos de instalações (postes, cabos, drenos etc.)

Para essa pesquisa foi utilizado o espaço público aberto, representado pelas categorias de elementos de circulação, a exemplo de estradas, rodovias,

infraestrutura rodoviária e, mais especificamente, as ruas e calçadas da área urbana de Ponta Grossa-PR.

Segundo a Lei Nº 9.503 (BRASIL, 1998, p.85-90), a via corresponde à “superfície por onde transitam veículos, pessoas e animais, compreendendo a pista, a calçada, o acostamento, ilha e canteiro central” e neste mesmo dispositivo, a calçada é entendida como “parte da via, normalmente segregada e, em nível diferente, não destinada à circulação de veículos, reservada ao trânsito de pedestres e, quando possível, à implantação de mobiliário urbano, sinalização, vegetação e outros fins”.

As ruas em uma cidade são o fator importante do espaço público aberto, por ser o primeiro contato que o cidadão tem com a cidade e permite a construção do conceito da cidade. Esse significado de rua será dado pelo transeunte de acordo a sua rotina de vida, a distância percorrida, os parâmetros da área, suas árvores e o clima, sendo que essas percepções devem ser separadas de acordo com a condição que tem o pedestre da rua, ou seja, se ele é um pedestre ou um motorista. Os primeiros perceberão a rua de maneira vívida, isto é, cheiros, visualizações, temperaturas, já as pessoas que estão em um carro irão percebê-la por meio de um vidro, isto é, visibilidade, sombra etc. Segundo Palomares (2011):

As ruas têm predominantemente caráter público estabelecendo uma relação direta com os prédios, os parques, os shopping centers, que expressam da mesma forma uma lista de usos e atividades públicos e privados, que na maioria dos casos transformam a primeira função da rua de trânsito e comunicação para se estabelecer como um espaço de interação multifuncional e social (PALOMARES, 2011, p. 13)¹

Devido ao crescente processo de urbanização sofrido pelas cidades, a importância das ruas foi interrompida, pois essas foram substituídas por vias de alto tráfego, por edifícios cada vez mais altos e que, às vezes, roubam um pouco do espaço público das mesmas ruas para sua construção. Também podem ser superprotegidas, tornando-se caminhos de pedestres e produtores de relações sociais, isolando-os da circulação mecânica tão típica das cidades.

¹ Las calles predominantemente tienen un carácter público estableciendo una relación directa con los edificios los parques los centros comerciales, lo que expresa del mismo modo una relación de usos y actividades públicas y privadas, que en la mayoría de ocasiones transforman la función primera de la calle de tránsito y comunicación para establecerse como un espacio multifuncional y de interacción social.

Entretanto, a rua sem deixar de ser uma via, deve e pode fornecer uma série de serviços ao elemento mais importante nela: as pessoas que a usam diariamente (BORJA, 2003).

As ruas devem ser acessíveis aos habitantes que não são caminhanes, por isso deve-se pensar em vias largas e, por sua vez, ruas de lazer, de tranquilidade, de passeios lentos através delas. Esse é o propósito de cada cidade, alcançar esse equilíbrio de espaço público e aberto. Segundo Borja (2003, p.136), "as ruas têm que encontrar formas não rígidas de separação de funções, como degraus, mobiliário urbano, fileiras de árvores etc."² (Figura 2).

Figura 2- Via arborizada na cidade de Ponta Grossa

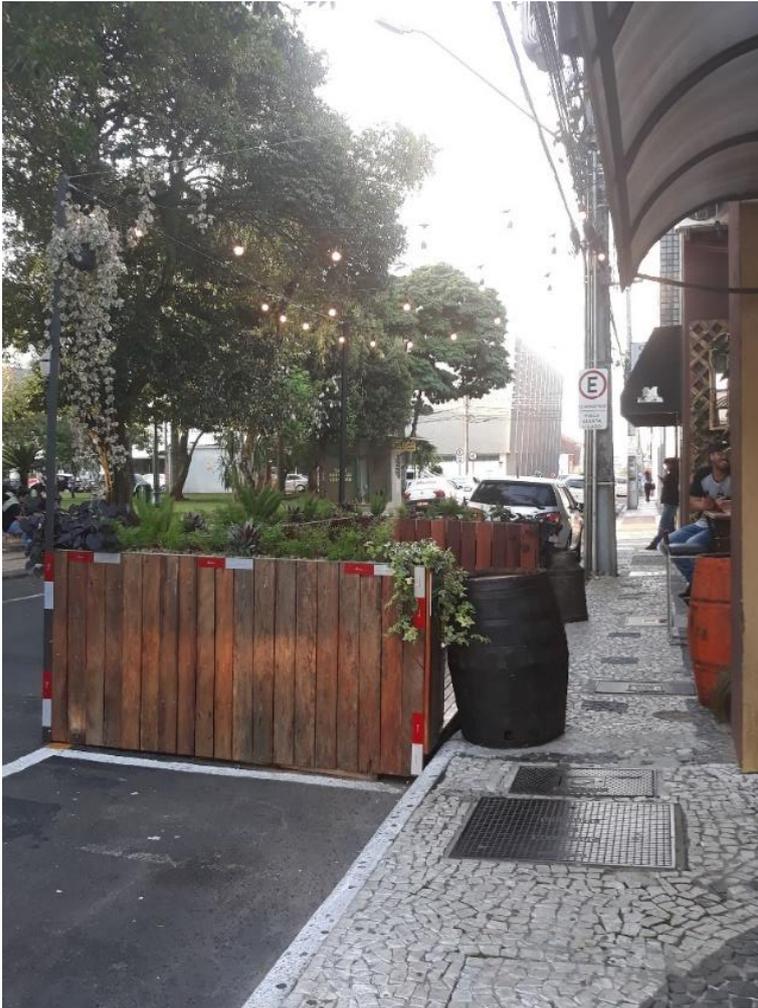


Fonte: A autora, 2020

O IPLAN (Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Ponta Grossa), por meio do Projeto Nossa Vaga, procura a utilização dos Parklet (Figura 3) com a finalidade de estabelecer relações entre a comunidade e o espaço público. O parklet "é um mobiliário urbano temporário, implantado e mantido pela própria população" (IPLAN, 2016, p. 8).

² Las calles han de encontrar formas no rígidas de separación de las funciones, como pueden ser los escalones, el mobiliario urbano, las hileras de árboles etc."

Figura 3 - Parklet na Rua Engenheiro Schamber em Ponta Grossa



Fonte: CARVALHO, 2020

Para as árvores as condições fora do ambiente natural afetam diretamente seu desenvolvimento, ainda mais aquelas árvores que estão plantadas nas cidades, que muitas vezes não oferecem as condições ideais para esse desenvolvimento.

2.2 ARBORIZAÇÃO URBANA, FLORESTA URBANA, BOSQUES URBANOS: DEFINIÇÕES E TIPOLOGIAS

A presença de vegetação nas cidades e suas periferias tem sido reconhecida de formas diferentes ao longo da história. Por exemplo, o termo Arborização Urbana, utilizado principalmente no Brasil, faz referência a toda cobertura vegetal de porte arbóreo localizada nas cidades, dando inumeráveis benefícios ao cidadão (SANTOS; TEXEIRA, 2001).

Segundo Biondi (2008), a arborização urbana pode ser dividida em duas partes, áreas verdes e árvores nas calçadas. Dentro das áreas verdes encontram-se os parques, praças, jardins, quintais, estacionamentos e cemitérios que estejam localizados na cidade ou na periferia (ARAUJO; ARAUJO, 2011).

De acordo com Martini; Biondi e Batista (2018), as tipologias da arborização urbana, adotadas no Brasil atualmente, estão organizadas da seguinte forma:

Remanescente Florestal - considerada como toda área de cobertura arbórea composta por remanescente de Floresta com Araucária, pode estar localizada nos parques e bosques da cidade.

- Área Verde Antiga - considerada como toda área de cobertura arbórea formada por agrupamentos de árvores implantadas com paisagismo Eclético, apresenta predomínio de árvores de grande porte e elevada quantidade de caminhos e pavimentação, podem ser considerados os parques e praças da cidade.

- Área Verde Moderna - considerada como toda área de cobertura arbórea formada por agrupamentos de árvores implantadas com paisagismo Moderno, apresenta o predomínio de gramado sob as árvores, podem ser considerados os parques, praças e jardins da cidade.

- Arborização de Rua - considerada como toda área de cobertura arbórea contínua composta por agrupamentos de árvores em plantio linear, acompanhando o sistema de ruas e avenidas.

- Árvore isolada - considerada como a cobertura arbórea composta por um único indivíduo arbóreo, plantado no sistema viário de forma espaçada, não seguindo um padrão da cidade (MARTINI; BIONDI; BATISTA, 2018, p. 999).

A arborização urbana é uma grande preocupação para as cidades do mundo. Por essa razão, algumas das conferências ambientais foram realizadas com o foco no desenvolvimento urbano sustentável, centrando atenção no tema principal: o desenvolvimento do plantio de árvores nas cidades (BORELLI; CONIGLIARO; PINEDA, 2018).

Na agenda mundial, a comunidade internacional das Nações Unidas está atenta para esse conceito, sendo estudado em 2015 e incluído em dois acordos globais de desenvolvimento aprovados pela comunidade internacional. Na nova agenda urbana, entre os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), destaca-se “a importância dos espaços verdes para melhorar o padrão de vida nas cidades”³ (BORELLI; CONIGLIARO; PINEDA, 2018, p.5).

Dessa forma, os países aceitaram o pedido de serem gestores de espaços públicos, ressaltando, entre os requisitos, a promoção de espaços públicos seguros, inclusivos, acessíveis, verdes e de alta qualidade.

³ la importancia de los espacios verdes para mejorar el nivel de vida en las ciudades.

De acordo com Borelli; Conigliaro e Pineda, (2018), é possível fomentar áreas verdes nas cidades, se cada cidade pode promover as seguintes sugestões:

- Criar estruturas legais e reguladoras que apoiem a integração da arborização urbana e periurbana nas políticas gerais das cidades verdes;
- Envolver todos os principais participantes na governança do plantio de árvores urbanas e periurbanas;
- Investir em soluções baseadas na natureza como ferramenta chave para alcançar o desenvolvimento urbano sustentável.
- Investir em soluções baseadas na natureza como ferramenta chave para alcançar o desenvolvimento urbano sustentável (BORELLI; CONIGLIARO; PINEDA, 2018, p. 8).

A arborização urbana pode ser conhecida com outra denominação, como no caso da América do Norte, em que se usa o termo “floresta urbana” para toda presença de vegetação amadeirada associada ao redor de densos assentamentos humanos, quer sejam rurais ou metrópoles. Na Europa, refere-se a todos os bosques que tenham um valor de bem e serviço para com a cidade, localizados dentro ou fora dos centros urbanos (KONIJNENDIJK et al., 2006).

O termo, com o passar do tempo, foi adquirindo mais elementos. Por exemplo, na Europa, incluíram-se as árvores isoladas e em grupo, localizadas nos espaços abertos das cidades. A definição passou a ser multidisciplinar, pois traz consigo a planificação dos espaços e gestão das árvores com a finalidade de fomentar a comodidade do bem-estar humano (RANDRUP et al., 2005).

Na Europa, principalmente, o conceito de floresta urbana tem um caráter multidisciplinar, o que possibilita um avanço nas investigações que incluem diferentes ciências, pois o que antes era apenas um benefício paisagístico, de lazer e da regulação do microclima, agora faz parte dos bens e serviços dos cidadãos (KONIJNENDIJK, 2003).

Para o caso da América do Norte e do Canadá, a definição de floresta urbana inclui as árvores nos espaços abertos e nas calçadas que fazem parte da jurisdição das cidades, sem importar se são de caráter privado ou não. Um dos desafios da definição da floresta urbana depende da extensão que cada cidade defina como área urbana. Além disso, a maneira como está classificado o uso dos solos, pode mudar o conceito de floresta (KONIJNENDIJK et al., 2006).

Konijnendijk e Randrup (2004) definem a floresta urbana como a arte de administrar as árvores e os recursos florestais que se encontram ao redor de uma comunidade, fornecendo ambiente psicológico e social e gerando o fortalecimento econômico. O conceito aborda as árvores individuais que podem estar localizadas nas

vias, nos parques, cemitérios e pomares e considera os bosques dentro da cidade e arredores. A floresta urbana deve contar com uma forma de plantação, uma ordem e aspectos técnicos, como manutenção, plantio, seleção das mudas. A Figura 4 demonstra a presença da cobertura vegetal nas cidades, que pode ser representada pelo plantio de árvores individuais nas calçadas, árvores em parques privados, cemitérios, além da presença em pequenos bosques, reservas florestais, e plantações. A presença dessa vegetação deve ser planejada, seu design precisa respeitar as características de cada espécie, ao mesmo tempo contar com um plano de manejo depois do plantio. Nos últimos anos, a inclusão dos sistemas computadorizados possibilitou um auxílio às políticas públicas das cidades (KONIJNENDIJK; RANDRUP, 2004).

Na atualidade, segundo a revista *Canadian Urban Forest Strategy* (2019), a floresta urbana pode ser definida como o planejamento, plantio, a proteção, manutenção, administração e o cuidado de árvores, bosques e das áreas verdes que se localizam no núcleo urbano até as áreas periurbanas.

Outro termo empregado mais no âmbito da América Latina é de Bosques urbanos. Em 2016, a Food and Agriculture Organization (FAO) definiu os bosques urbanos como “redes ou sistemas que compreendem todos os montes, grupos de árvores e árvores isoladas localizados nas zonas urbanas e seus arredores”⁴ (p. 5) Essa expressão pode ser utilizada como sinônimo de floresta urbana (BORELLI; CONIGLIARO; PINEDA, 2018).

Figura 4 – Matriz de floresta urbana representando o alcance na cidade

	Arborização urbana		
	Árvores Isoladas		Bosques Urbanos, bosques
	Árvores nas calçadas e separadores das vias, and vegetação associada	Árvores em parques, jardins particulares, cemiteiros, árvores com frutos, and vegetação associada.	Bosques e terra arborizada, bosques naturais, plantações pequenas
Forma, função, design, políticas e planejamento			
Aspectos técnicos (por exemplo, seleção de mudas, métodos de estabelecimento)		ARBORIZAÇÃO URBANA	
Aspectos de gestão			

Fonte: Adotado de KONIJNENDIJK; RANDRUP, 2004.

⁴Redes o sistemas que comprende todos los montes, grupos de árboles y arboles individuales ubicados en las zonas urbanas y sus alrededores.

Segundo Moreno, Barillas e Smith (2004), os bosques urbanos são um conjunto de recursos naturais, como água, solo e plantas que se encontram relacionados com as cidades, seus parques privados ou públicos, em terrenos baldios, áreas de cultivo e áreas naturais que estejam localizadas na zona urbana e periurbana.

Os bosques urbanos contribuem para o crescimento da qualidade de vida dos habitantes dentro das cidades sempre que são sustentáveis. Além disso, aumentam o desenvolvimento econômico, pois acrescentam a mais-valia dos imóveis, ajudam a diminuir o consumo de energia e evitam o aumento de alergias, uma vez que os habitantes melhoram o vínculo com a fauna e flora dos bosques (MARQUEZ, 1991).

Ao considerar os habitantes como parte do bosque urbano, implica-se uma responsabilidade por parte deles, quer dizer, uma participação para a tomada de decisões, gerando uma participação social quanto ao plantio e cuidado, agregando uma cultura no sentido de plantar uma árvore e despertar o sentido de pertencimento e observá-lo como um bem comum (MARQUEZ, 1991).

Para a presente pesquisa optou-se por utilizar o termo arborização urbana e dentro dela, a tipologia da arborização de ruas, uma vez que o recorte espacial foram as árvores plantadas nas calçadas das vias, especificamente da área urbana.

O conceito de via, de acordo com a Lei 9.503 (BRASIL, 1997, p.1), anexo I, é definido como a “superfície por onde transitam veículos, pessoas e animais, compreendendo a pista, a calçada, o acostamento, ilha e canteiro central”. Já o conceito de calçada é definido como “parte da via, normalmente segregada e em nível diferente, não destinada à circulação de veículos, reservada ao trânsito de pedestres e, quando possível, à implantação de mobiliário urbano, sinalização, vegetação e outros fins” (p. 1).

Os estudos que estão relacionados com árvores urbanas concentram-se em suas espécies, em como plantá-las, em sua manutenção, etc., mas a relação do cidadão com o meio ambiente ainda tem uma carência de atenção. A conscientização dos habitantes da cidade não é adequada pois, de acordo com Paiva e Gonçalves (2002), quando alguns danos são causados, como em um poste de luz ou um ponto de ônibus ou um dano a uma cabine telefônica, a pessoa que causou esse dano deve compensar de alguma forma. No entanto, quando essa mesma situação ocorre com respeito a uma árvore, o cidadão não tem a mesma disposição para compensar, portanto será uma árvore a menos.

É a partir disso que a primeira opção é incluir as árvores como patrimônio da cidade e, assim, ao sofrerem algum distúrbio, este deve ser compensado. Algumas cidades do Brasil, como Vitória (ES) e Viçosa (MG), decidiram que as árvores entrariam como patrimônio urbano nos planos diretores e no código ambiental. Assim, a forma de compensação do dano as árvores, seria por meio de pagamento de taxas que se calculam de acordo com as características da árvore, por exemplo: de acordo com seu estado de saúde, a idade, a espécie e o trabalho requerido para ser plantada novamente. Nesse caso, de acordo com a forma como a árvore foi afetada, o respectivo cálculo seria feito (PAIVA; GONÇALVES, 2002).

A arborização urbana concede um status de superioridade as cidades, portanto, os países desejam que suas cidades melhorem seu ambiente, seja pelo aspecto competitivo, por necessidade ou por ser um exemplo no qual se basear. O essencial é conhecer o bem-estar gerado pelo plantio de árvores em qualquer sociedade do século XXI. Segundo Amílcar (2016, p.13), “a importância das árvores urbanas não é mais uma novidade. A novidade é que cada vez mais frequente e importante, começamos a considerar e valorizar a ampla gama de benefícios que podem ser obtidos de árvores e espaços verdes, e tentar quantificar essas vantagens”⁵.

A melhoria da qualidade de vida de uma cidade está relacionada à arborização urbana e seus benefícios. Os chamados serviços ambientais podem ser não totalmente tangíveis, pois estão diretamente relacionados às emoções psicológicas e aos estados físicos do cidadão, isto é, à recreação, redução da poluição atmosférica e ao ruído, sem negligenciar a melhoria do microclima e o impacto visual que gera para o habitante. (KUCHELMEISTER, 1997).

Os benefícios das árvores na cidade estão principalmente relacionados à mitigação da poluição - poluição sonora, poluição visual, à emissão de gases, e em cidades quentes, à regulação das ilhas de calor, além da geração de sombra e auxílio na regulação do microclima. A Figura 5 representa as funções desempenhadas pelas partes constituintes da árvore, a exemplo das folhas, raízes e os troncos.

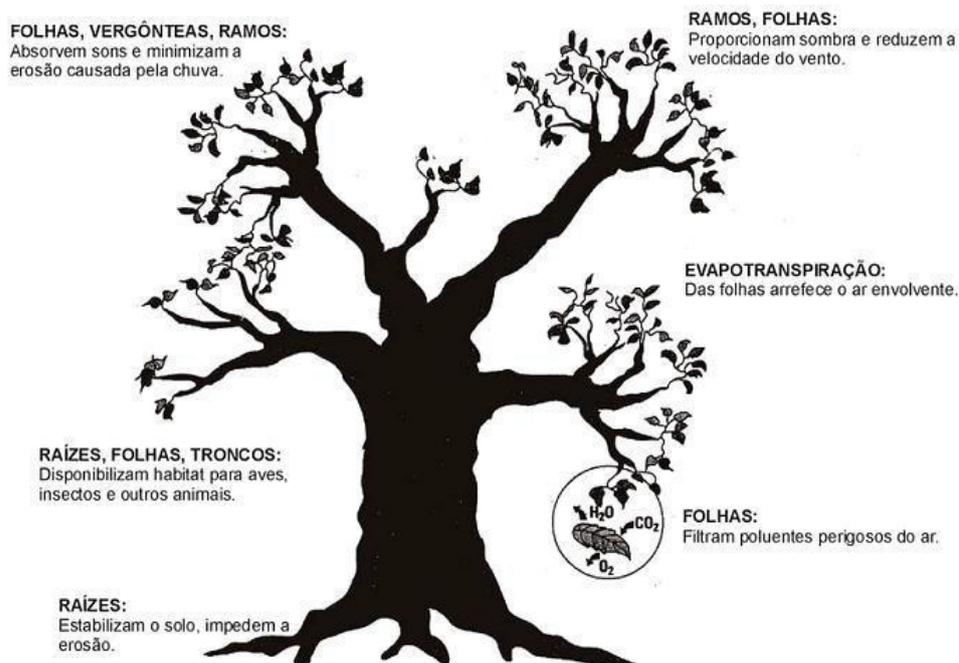
⁵ La importancia del arbolado urbano ya no constituye una novedad. Lo nuevo radica en que cada vez con mayor frecuencia e importancia, se comienza a considerar y a valorar la amplia gama de beneficios que pueden obtenerse de los árboles y los espacios verdes, y a intentar además una cuantificación de tales ventajas.

Um dos benefícios da arborização urbana é a regulação do microclima e a dispersão das ilhas de calor, mas para obter esses benefícios se faz necessário conhecer a tipologia da arborização (CHEN et al., 2014).

Como propõe Akbari (2002), as árvores reduzem o consumo de energia dos edifícios através de processos diretos e indiretos: os diretos são a redução do ganho de calor solar através de janelas, paredes e forros, gerando sombra. Os efeitos indiretos são: redução na taxa de infiltração do ar exterior, a diminuição da velocidade do vento e abatimento no ganho de calor em edifícios para reduzir a temperatura ambiente através da evapotranspiração em dias de sol.

Nowak et al. (2016) expõem, como exemplo, um estudo feito no Estados Unidos, o consumo de energia dos lares é estimado 10,18 quadrillion Btus, (British thermal unit Btu), no qual 47,7 % vem do ar condicionado. As árvores plantadas perto dos edifícios podem reduzir a demanda de refrigeração do país em 38,8 milhões de MWh. No entanto, os estudos demonstraram um incremento de calefação na época invernal, já que as sombras outorgadas pelas árvores faziam um aumento de consumo de energia elétrica. Como conclusão, estudos futuros podem ser feitos em escalas pequenas, pois os estudos atuais são realizados na escala do país, além disso a estrutura da arborização pode afetar os resultados.

Figura 5 - Funções benéficas desempenhadas pelas partes constituintes de uma árvore



Fonte: ALMEIDA, 2006.

A ventilação é um fator importante para o conforto dos cidadãos. Segundo Paiva e Gonçalves (2002), a velocidade dos ventos nas cidades é menor devido às barreiras representadas pelos edifícios que faz com que o vento diminua em comparação aos ventos que ocorrem nas áreas rurais. A circulação do vento nas cidades depende da forma das espécies e, por conseguinte, a escolha das espécies deve ter uma medida superior à altura média das edificações. Uma posição de plantação correta pode aumentar a canalização dos ventos (MASCARÓ, 2015).

Para o tema hidrológico das cidades, as árvores também exercem forte influência no controle dele, favorecem a chuva, aumentam a evapotranspiração, diminuem o fluxo excessivo de água, facilitando a infiltração e a secagem de solos que têm excesso de humidade (PAIVA; GONÇALVES, 2002).

O ciclo hidrológico urbano passa por uma transformação porque o solo tem sido transformado pelas construções, portanto, a circulação subterrânea é diferente, tendo como resultado que a água superficial escorre de maneira distinta por meio dos cabos de eletricidade, o abastecimento de gás, entre outros. Devido ao excesso de concreto presente nas cidades, a água da chuva tende a se acumular nas ruas com uma velocidade maior do que o sistema de esgoto pode suportar, obtendo assim possíveis inundações. Ter árvores plantadas nas calçadas é de grande ajuda, já que por meio de suas raízes, as mudas podem capturar e direcionar as águas, acrescentando a filtragem de alguns contaminantes (PRAUS; VOJAČKOVA, 2014).

A poluição sonora está presente na vida cotidiana e o som que produz a cidade, pode ser tratado por meio da arborização urbana. Estudos na Turquia mostraram que existem algumas espécies que ajudam a absorber o ruído. Na cidade de Konya, plantou-se um grupo de árvores gerando uma barreira entre a fonte de som e o receptor (ONDER; KOCBEKER, 2012).

As árvores podem ajudar o desvio das ondas sonoras minimizando a recepção ao ouvido humano, para isso devem ser plantadas perto do local em que o ruído é gerado. Para o teste do estudo em Konya, foram plantados árvores e arbustos com diferentes alturas 5m, 9m e 20m e as distâncias entre elas foi aumentando para determinar o efeito decrescente do som na cidade. Além disso, as plantas foram plantadas em posição vertical à direção do som. O resultado demonstrou que as calçadas arborizadas reduziram o som em 30 a 38% (ONDER; KOCBEKER, 2012).

As árvores reduzem o som criando uma barreira entre o gerador de ruído e a pessoa que percebe por meio do ouvido, uma vez que os indivíduos têm menor

consciência se a fonte não é percebida pela vista. As árvores recebem o som e os desviam por meio da reflexão, desvios e absorção, mas depende da altura da muda até 10-12 m, espessura do tronco e o tamanho da folha (HELLIS, 2019).

Em relação à temperatura, ela é perturbada pelas densas construções das cidades. Na Argentina, a universidade de Entre Rios, demonstrou os padrões nas zonas nas quais tinham presença baixa de árvore, em que a temperatura teve um aumento de 3° a 4°C e uma diferença de 11% em termos de umidade (GONZALES, 2002). Da mesma maneira, na cidade de Nanjing, China, por meio de dados de satélites, identificou-se que as áreas de maior presença de árvores possuíam um maior efeito de esfriamento com uma baixa de temperatura de 0,83 °C na superfície. Da mesma forma, os espaços verdes fragmentados também proporcionam um esfriamento efetivo (KONG et al., 2014).

Em relação ao impacto da diminuição dos poluentes atmosféricos, a árvore auxilia na captura, por meio das folhas - sejam pilosas, cerosas ou espinhosas, retendo os poluentes gasosos (MILANO; DALCIN, 2000). Evidentemente, a poluição produzida diariamente supera o plantio das árvores. Segundo Paiva e Gonçalves (2002), tem-se como exemplo a cidade de Berlim, na Alemanha, na qual são necessários mais ou menos 1,2 milhões de hectares para mitigar o dióxido de carbono produzido por seus habitantes.

As árvores também têm certa emissão para a atmosfera, mas não chegam a se comparar com a produção que os habitantes de uma cidade têm. Algumas espécies emitem compostos orgânicos voláteis (COV), cuja emissão depende das espécies. Entretanto, a manifestação não afetará a temperatura e esses COV_s podem ser tratados, inclusive, para obtenção de óleos essenciais e resinas, podendo ser vistos como uma vantagem para a cidade (GONZALES, 2002).

A natureza da cidade é de vital importância, pois proporciona uma oportunidade para a população de se familiarizar com os princípios ecológicos e todas as redes geradas por esse termo. A percepção da natureza como um lar a categoriza como um espaço de recreação, tranquilidade e provoca uma consciência ambiental (GONZALES, 2002).

Grande parte da sociedade tem a percepção de que a educação ambiental ou a experiência do meio ambiente é percebida por meio de uma aula de biologia ou visitando um abrigo natural. Mas, o essencial da vivência do meio ambiente encontra-se no cotidiano, nas ruas percorridas diariamente, nas árvores observadas e no reflexo

da conectividade que se faz entre o inanimado e o animado, isto é, o ambiente é a própria vida.

A saúde física e mental do indivíduo melhora quando a vegetação é encontrada em sua paisagem. Estudos, como o realizado na cidade de Londres, indicaram que pessoas que moravam ou trabalhavam perto de parques ou calçadas arborizadas, tinham uma redução do stress, por conseguinte, não consumiam antidepressivos e os motoristas que dirigiam em vias com árvores com copas frondosas tendiam a dirigir com menos velocidade, portanto as vilas em que se tinha presença de vias arborizadas apresentavam menos receitas de antidepressivos. A comparação foi o registro de pessoas que compravam antidepressivos e o número de árvores por km. A finalidade do estudo era o de conhecer se a presença de árvores próximas de seu caminho cotidiano afetava emocionalmente tanto para consumir como não consumir antidepressivos (TAYLOR et al., 2015).

Sem subestimar a contribuição do crescimento espiritual gerado pelas áreas nas quais se observa esse tipo de paisagem, se estabelecem as raízes e a construção ou aperfeiçoamento do conceito de territorialidade em comunidades e indivíduos (DWYER, 1992).

As árvores aumentam a qualidade de vida urbana, pois a manutenção dessas áreas exige um orçamento dado pelas propriedades da cidade, portanto, é incluída como um ativo básico da cidade. As despesas diretas são direcionadas para o plantio, a manutenção, o manuseio e a remoção, assim como os custos, quando por algum motivo, caem completamente ou soltam seus galhos. Na atualidade, segundo Ordoñez e Duinker (2010), a cidade não só está encargada da manutenção das árvores, como deve fazer com que as plantações correspondam a um sistema sustentável de acordo com as necessidades da cidade.

Quando o planejamento da arborização é improvisado e desordenado, gerar ações de plantio sem o mínimo de cuidado pode gerar custos adicionais e bastante altos. Além disso, a segurança pode ser afetada devido à diminuição da visibilidade, à folhagem e pode ser usada para ocultar ladrões (FERRINI; FINI, 2010).

A sustentabilidade das árvores urbanas é um tema amplo e complexo a ser abordado, principalmente devido à natureza dinâmica de seus constituintes, não apenas por suas próprias características de ser vivo, mas também pelos fatores inerentes ao meio urbano e pelo impacto que a sociedade e suas atividades provocam em árvores urbanas⁶ (AMÍLCAR, 2016, p.35).

⁶ La sustentabilidad del arbolado urbano es un tema amplio y complejo a tratar debido fundamentalmente al carácter dinámico de sus constituyentes, no solo por sus propias características

A preocupação com o crescimento urbano é global, mas alguns países podem dar exemplo ao mundo de como administrar esse crescimento com foco no meio urbano. A Alemanha, a Austrália, o Canadá e os Estados Unidos, entre outros, têm instituições de ensino e pesquisa relacionadas à arborização urbana sustentável. No caso da América do Sul, Leste do Brasil e da China, vêm gerando empregos focados na gestão da arborização, com objetivo de mitigar os impactos da mudança climática (GONZALES, 2002).

No entanto, a arborização urbana é uma questão em constante evolução. Consequentemente, é necessário que os envolvidos com o tema tenham presente que a arborização faz parte de um ecossistema sócio ecológico com múltiplas escalas, o que gera benefícios e custos. Uma das conclusões refere-se à implementação do plantio de árvores, sabendo que é preciso planejar e ter conhecimento do aspecto biofísico e social com abordagens participativas (CALAZA et al., 2018).

2.3 ARBORIZAÇÃO DE VIAS

A arborização de vias constitui o grupo de árvores plantadas nas calçadas que são de circulação pública, portanto é o recorte espacial dessa investigação. É necessário fazer a distinção sobre o termo árvores de ruas e árvores de calçadas. Na presente pesquisa, a terminologia utilizada é arborização de calçadas, pois, segundo Paiva e Gonçalves (2012) e Salvador (2018), a arborização das calçadas não se encontra nas ruas como tal, elas estão plantadas nas calçadas, por isso o termo adotado para a presente pesquisa foi arborização de calçadas.

Segundo Biondi e Althaus (2005), as árvores encontradas nas calçadas são um serviço público e fazem parte do patrimônio coletivo, portanto devem atingir as futuras gerações. A importância de contar como os plantios nas calçadas traz uma contribuição ao ambiente, à saúde física e à beleza da cidade.

A distribuição espacial das espécies em algumas cidades não conta com um padrão, quase sempre possui grandes grupos de indivíduos de diferentes espécies, idades, estados de saúde, pragas e diversas situações. Nos últimos anos, o planejamento da arborização viária não foi a prioridade para as urbes, por isso tem

como ser vivo, sino también por los factores propios del ambiente urbano y por el impacto que la sociedad y sus actividades provocan sobre los arboles urbanos.

um papel antagônico em sua história, uma vez que as consequências dessa falta de planejamento levaram a alguns conflitos com os cidadãos.

McPherson; Costello e Burger (2001) realizaram um estudo no qual afirmam que a chave para mitigar os danos exercidos pelas árvores às infraestruturas é um excelente planejamento. Deve-se observar detalhadamente a partir da visão de um engenheiro florestal, o conhecimento das espécies, moldar o crescimento desde o início e, em alguns casos, usar geotêxteis (materiais usados para impermeabilizar as camadas do solo) para ajudar a mitigar as consequências dos danos, uma vez que elas não podem ser erradicadas, mas sim tratadas.

O planejamento das árvores viárias é necessário, a fim de estabelecer o equilíbrio, sem afeitar os habitantes ou prejudicar o propósito das árvores nas vias. Para obter esses resultados, é preciso considerar o planejamento a curto, médio e longo prazo. Quanto mais claros forem os limites naturais do ambiente e o uso do solo na área que se deseja arborizar no espaço público, mais eficiente será o sistema de arborização. (BIONDI; ALTHAUS, 2005).

Segundo Paiva e Gonçalves (2012), as cidades são os lócus em que se pode plantar árvores que vão trazer os benefícios que a área urbana precisa. Um dos ambientes são as calçadas das ruas e trilhas. Mas, para fazer um plantio com sucesso, é necessário respeitar certos critérios, já que nas calçadas é o local em que se tem mais problemas com os elementos urbanos, como as construções, cabos subterrâneos e solos compactos demais, entre outros. Nesse contexto, é importante diferenciar as vias das áreas industriais, áreas de comércio e áreas residenciais. A finalidade é obter uma simbiose correta com a população (MASCARÓ, 2015).

De acordo com Milano (1984), existem características para a escolha das mudas: o caráter estético, a forma e a dimensão das copas, o tipo de folha, as flores, os frutos, o comportamento de suas raízes ao longo do tempo e a resistência às pragas e à poluição são características relevantes para o planejamento da arborização nas calçadas.

No entanto, é difícil encontrar com exatidão qual é a muda que vai se adaptar perfeitamente ao ambiente da cidade, pois não se conta com espécies que tenham todas as características ideais (crescimento, porte, sistema radicular) (BIONDI; ALTHAUS, 2005).

As árvores se desenvolvem de maneira diferente no espaço urbano, por essa razão é de vital importância a maneira como os plantios devem ser realizados.

O crescimento das árvores na área urbana pode ser afetado em comparação com ambientes florestais, quantitativa e qualitativamente. Por exemplo, o fator abiótico urbano envolve o clima, a poluição do ar, a alteração do ciclo hidrológico urbano e as condições do solo urbano, resultando em opções restritas de espécies para plantio.

No ambiente florestal, o desenvolvimento das árvores é diferente (Figura 6), pois, nesse espaço, não se realiza uma alteração notável do clima, por conseguinte a biosfera é menos afetada em comparação com o espaço urbano (ALMEIDA, 2006).

O plantio, por sua vez, deve ser feito de acordo com a largura da rua e calçada (Quadro 2), como indica Gonçalves (2009), que faz a recomendação de escolha das espécies de acordo com o porte: a escolha de espécies de pequeno, médio e grande porte deve ser feito de acordo com a largura das calçadas e os padrões impostos pelas companhias de energia elétrica. Para o plantio de árvores é preciso que os passeios tenham a largura mínima de 2,40m onde o recuo não é obrigatório e para o caso onde o recuo é obrigatório, recomenda-se uma largura dos passeios de 1,50m

Quadro 2 - Porte das árvores baseado na largura das ruas e calçadas

Largura	Porte de árvore recomendado
Passeios (<1,50m)	Não é recomendável o plantio de árvores
Passeios (=>1,50<2,00m)	Pequeno
Passeios (>2,00m <2,40m)	Pequeno, Médio com altura até 8m
Passeios (>2,40m <3,00m)	Pequeno, Médio ou grande com altura até 12m
Passeios (>3,00m)	Pequeno, Médio, Grande com altura superior 12m

Fonte: GONÇALVES, 2009.

Em relação às estruturas urbanas, como postes de iluminação, bueiros, semáforos, garagens, fiação elétrica, entre outros, Schuch (2006) alerta para as distâncias mínimas a serem consideradas (Figura 7), a fim de alcançar êxito na arborização de vias.

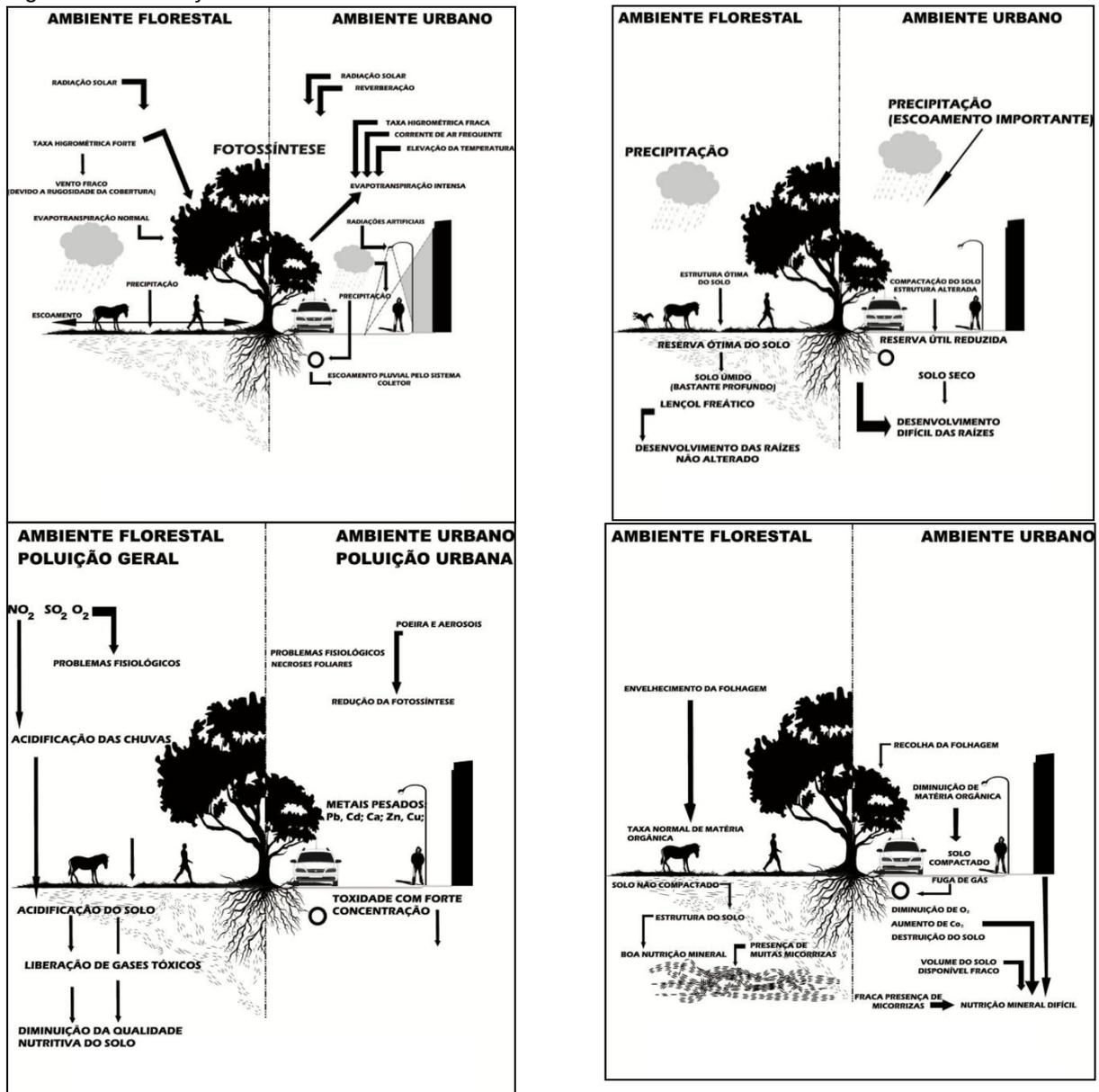
As cidades precisam conhecer o estado de sua arborização atual, como estado de saúde, localização, doenças, quais espécies estão plantadas e como elas estão sendo monitoradas (MENEGETTI, 2003).

Conforme o exposto nesse item, foi possível compreender a importância da arborização nas cidades, e que um mal planejamento, ou a falta dele, pode trazer problemas consigo.

Na atualidade, é impossível deter o crescimento demográfico e a expansão urbana, por isso se faz necessário compreender e entender as dinâmicas novas das metrópoles, conseguindo um equilíbrio entre o avanço social e o aproveitamento da

arborização urbana. Atualmente não se pode conceber uma cidade sem árvores nos espaços públicos pois, no futuro, essa ausência pode transformar-se em prejuízo, sobretudo de ordem climática.

Figura 6 - Diferenças no desenvolvimento das árvores no ambiente urbano versus o ambiente florestal

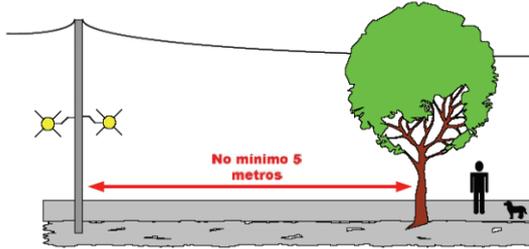


Fonte: Adaptado de BARROS, 2010.

Ainda, o debate conceitual sobre floresta urbana e bosque urbano encontra-se em aberto, mas os dois conceitos referem-se à vegetação presente nas áreas urbanas e periurbanas. Para o caso da presente pesquisa, o conceito usado foi arborização urbana, já que o recorte espacial são as árvores presentes exclusivamente na área urbana, principalmente as que estejam plantadas nas calçadas das vias.

Figura 7 - Situações e distâncias a serem consideradas para o plantio de árvores nas vias das cidades

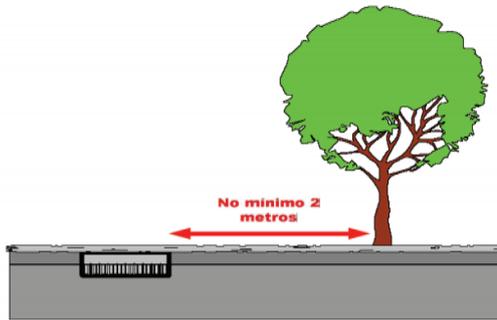
- mínimo de 5 metros dos postes de iluminação pública;



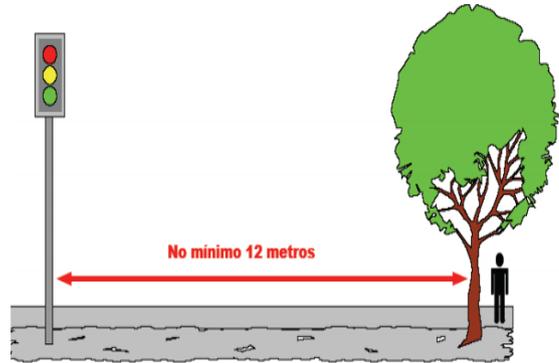
- no mínimo a 3 metros da entrada de garagens;



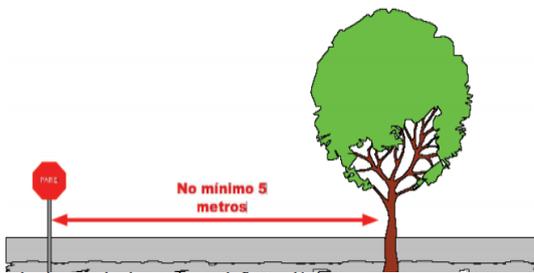
- no mínimo de 2 metros de bueiros;



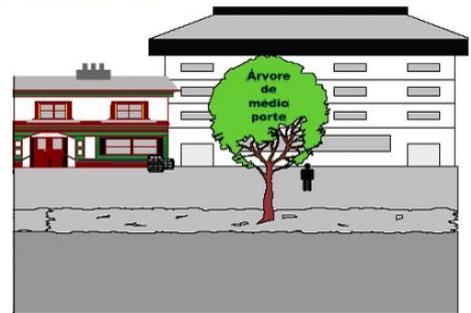
- no mínimo 12 metros dos semáforos;



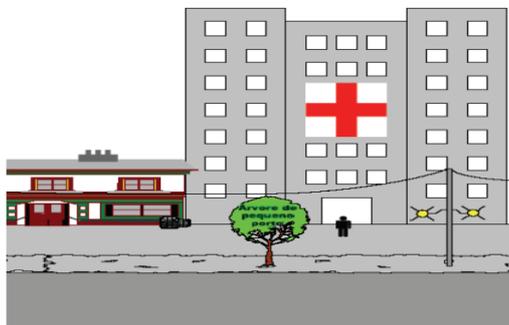
- no mínimo de 5 metros das placas de sinalizações;



- calçada larga e sem fiação elétrica;



- plantio em calçada estreita e sob fiação elétrica;



- calçada estreita e sem fiação elétrica.



Fonte: SCHUCH, 2006.

3 GEOTECNOLOGIAS APLICADAS A ESTUDOS SOBRE ARBORIZAÇÃO URBANA

Nesse item será destacado o uso das metodologias associadas às geotecnologias que foram utilizadas para mapear, reconhecer, planejar e analisar a arborização urbana.

3.1 PRINCÍPIOS DO SENSORIAMENTO REMOTO PARA ESTUDOS ENVOLVENDO VEGETAÇÃO

De acordo com Buzai (2000), os Sistemas de informações geográficas (SIG) ainda não tem uma definição única devido a sua multidisciplinariedade, mas podem ser definidos como uma combinação de bases de dados alfanuméricos e gráficos, dos elementos localizados na superfície terrestre. Fitz, (2008, p.21), definem os SIG, “como um conjunto de ferramentas para a coleta, armazenamento recuperação, transformação e visualização dedados espaciais do mundo real para um conjunto de propósitos específicos”.

A análise do espaço faz parte dos propósitos de um SIG, o qual permite obter uma aproximação da realidade conseguindo recriar os cenários reais das áreas estudadas por meio da espacialização dos dados obtidos por meio dos SIG.

Segundo Burgos e Manterola (2015), a análise espacial possui dois tipos fundamentais de definições: a primeira, considera todos os processos de dados espaciais e a segunda é restritiva, pois somente os aspectos geométricos das entidades espaciais são considerados.

Os cinco fundamentos da análise espacial são: localização, distribuição espacial, associação espacial, interação espacial e evolução espacial.

Um das técnicas usadas para realizar análises espaciais é, o sensoriamento remoto que, segundo Novo, (1992); Centeno (2009); Jensen (2011), pode ser definida como a técnica que utiliza sensores para a coleta de dados a partir de medidas feitas a distância, sem entrar em contato com o objeto, que por sua vez, utiliza equipamentos para processamento de dados, usando processos de registro, interpretação de imagens e representações digitais, por meio das “interações entre as radiações eletromagnéticas e as substâncias componentes do planeta terra em suas mais diversas manifestações”. (NOVO, 1992, p. 2).

O processo de aquisição da informação no sensoriamento remoto se faz por meio da captura de imagens que, representam a variação da intensidade energética que possuem os pontos da superfície.

A energia que utiliza a técnica remota é a energia eletromagnética. Esta energia pode ser classificada por meio do comprimento das ondas ou a frequência da energia, que por sua vez pode ser classificada em faixas de comportamento com propriedades similares. O espectro eletromagnético reúne todas essas faixas da seguinte forma:

- Espectro visível: (0,4 a 0,7 μm (nanômetros) esta faixa recebe o nome em função de agrupar o conjunto de cores que são visíveis ao olho, ela pode ser subdividida em regiões correspondentes às cores básicas: vermelho (0,6 a 0,7 μm), verde (0,5 a 0,6 μm), e azul (0,4 a 0,5 μm).
- Abaixo do azul encontra-se a região do ultravioleta, muito pouco utilizada em sensoriamento remoto pois esta energia é fortemente absorvida e espalhada pela atmosfera.
- Infravermelho: 0,7 e 14,0 μm , esta região é importante pois nela é possível registrar alguns fenômenos naturais com muita clareza. O olho humano não é sensível a este tipo de energia, por isso as imagens de infravermelho devem ser obtidas por meio de sensores, além disso o infravermelho pode ser dividido em três regiões:
 - Infravermelho próximo: (0,7 a 1,3 μm) esta faixa também é denominada infravermelho refletido ou fotográfico, já que pode ser captada usando filmes fotográficos e aparelhos óticos.
 - Infravermelho médio: (1,3 a 8 μm), nessa região, a reflexão da luz do sol e a emissão de energia da Terra se confundem.
 - Infravermelho distante ou emissivo: (8 a 14 μm) esta região recebe este nome por corresponder aos comprimentos de onda maiores e pelo fato de energia emitida pelos corpos na terra (sob forma de calor) ser predominante.
- Micro ondas: Utilizadas em Radar, os comprimentos de onda associados as micro-ondas são maiores que 1mm (Milímetro). Este tipo de energia é diferente das anteriores, pois penetra com relativa facilidade na atmosfera, possibilitando a observação da superfície do planeta mesmo em dias com coberturas de nuvens densa. (CENTENO, 2009, p. 14)

Em concordância com Florenzano (2002), a vegetação na região do visível tem mais reflectância no canal do verde, por conseguinte o olho humano reconhece a vegetação com a cor verde. Contudo, na região do infravermelho próximo a vegetação reflete maior energia e pode ser identificada com maior facilidade em relação aos demais objetos localizados na imagem. O infravermelho próximo, portanto, é uma das faixas mais utilizadas para o reconhecimento da vegetação porque a reflectância é alta, isso se deve à baixa absorção de energia pelas plantas (Figura 8).

Figura 8 - Árvore na combinação RGB 321 e árvore na combinação RGB 413



Fonte: A autora, 2020

No caso de estudos focados em arborização, esses exigem que as imagens obtidas tenham alta resolução, pois é necessário distinguir uma árvore com a maior clareza possível. A resolução de uma imagem depende das características da mesma, sendo possíveis:

- Resolução temporal: frequência de cobertura que fornece o sensor. Em outras palavras, refere-se à periodicidade com a que o sensor adquire imagens da mesma porção da superfície terrestre;
- Resolução espacial: este conceito designa o menor objeto que pode ser distinguido sobre uma imagem. Em um sistema fotográfico, é geralmente medido como a mínima separação para os quais os objetos parecem distintos e separados na fotografia. Sua medição é em longitude, e depende da longitude focal da câmara e de sua altura sobre a superfície.
- Resolução espectral: refere-se ao número de canais espectrais e largura, depende da capacidade de absorção do sensor;
- Resolução radiométrica: indica o número e largura das bandas espectrais que podem ser discriminadas pelo sensor. Neste sentido, um sensor será adequado de acordo ao número de bandas que proporcione, já que facilita a caracterização espectral das distintas cobertas. (CHUVIECO, 2000)

Em estudos relacionados à arborização urbana, é necessário mapear em detalhe as árvores localizadas nas cidades, portanto a resolução espacial deve ser maior do que no caso de estudos em relação ao clima, ao reflorestamento, à expansão urbana, entre outros.

3.2 DETECÇÕES DE ÁRVORES POR MEIO DE CLASSIFICAÇÕES ORIENTADAS A PIXEL

Várias técnicas podem ser utilizadas para o reconhecimento de feições utilizando o sensoriamento remoto. Para a presente pesquisa foram utilizadas a interpretação visual, classificação supervisionada e não supervisionada.

A interpretação visual é uma técnica que consiste na aplicação de critérios visuais, nos quais o brilho, a cor, o tamanho, o formato, o contexto espacial, as sombras e o padrão espacial são as características que permitirão distinguir os objetos na imagem. Como exemplo, nas figuras 9 e 10, o contexto está ligado ao entorno do objeto específico, no caso as árvores, estas ressaltam em meio as edificações na imagem. Com relação as cores, podem ser distinguidas pelo olho humano como a cor verde, e por último, a textura, que pode ser identificado nas imagens, por meio das árvores agrupadas na parte inferior. (Figura 9 e Figura 10).

Muitos pesquisadores não recomendam a utilização do método devido à evolução da fotointerpretação, mas é um método que apresenta boa precisão, uma vez que o “equipamento de interpretação da imagem” está instalado no cérebro humano. Essa interpretação baseia-se na experiência humana de estabelecer relações entre cores e padrões numa imagem que reflete a realidade. Esta técnica é favorecida com o uso da combinação de bandas, que destacam as características que o intérprete precisa, por exemplo, um realce da vegetação e da classe arbórea (MORALES, 2014).

Figura 9 – Aparência das árvores em imagem com composição colorida em falsa cor



Fonte: A autora, 2020.

Uma das vantagens dessa técnica é a possibilidade de incorporar critérios que não são possíveis de serem automatizadas. O intérprete pode, por exemplo, incorporar o contexto geográfico para diferenciar objetos espectralmente semelhantes e, assim, obter uma classificação mais precisa. Os elementos que podem ser considerados são:

Figura 10 – Aparência das árvores em imagem com composição colorida em verdadeira cor.



Fonte: A autora, 2020.

-Forma: pode-se identificar o comportamento dos objetos em duas dimensões, regulares e irregulares. Os objetos que foram criados pelo homem, por exemplo, têm um comportamento regular;

-Tamanho: característica dos objetos que se deve considerar de acordo com a resolução espacial da imagem e a escala apresentada;

-Tom e cor: referem-se aos diferentes níveis de cinza que apresenta a imagem. Quando as imagens são multiespectrais é possível fazer combinações das bandas nos canais do RGB (Red, Green, Blue), obtendo imagens coloridas (verdadeiras ou falsa cor) para conseguir discriminar os tipos de coberturas de interesse;

-Textura: pode-se identificar a rugosidade ou a uniformidade;

-Localização geográfica: dentro da imagem existem elementos que têm a mesma cor, mesmo formato e mesmo tamanho, mas por meio da localização, podem ser distinguidos (IGAC, 2017).

- Padrão: formado pela repetição de elementos maiores que a resolução espacial da imagem;

- Sombra: devido as condições do imageamento, algumas regiões da imagem podem aparecer com sombra. A sombra ajuda identificar objetos, pois permite avaliar indiretamente a sua altura. (CENTENO, 2009, p. 169)

Tadenuma (2018) usou a metodologia de análise visual, tendo como base uma imagem multiespectral com a finalidade de localizar as árvores nas vias da área urbana de Ponta Grossa-PR. Em algumas ocasiões, por meio da imagem, não são possíveis identificar exatamente se a árvore está na calçada ou muito próxima do muro, em um terreno particular. Quando essa situação se apresenta, pode-se utilizar uma segunda fonte de interpretação, o Google Street View. (CRISPIM; CARVALHO, 2018).

Além da fotointerpretação tem-se a *classificação digital*, que de acordo com Centeno (2009, p. 172) consiste em “separar um grupo de pixels com características espectrais similares em classes de uso ou cobertura”. Alguns pesquisadores preferem combinar as classificações com saídas de campo, porque, em muitos casos, quando a imagem não tem uma boa resolução espectral, ela tende a ter pixels vizinhos com informação de uma classe que não corresponde à realidade, entretanto com o trabalho no campo isso pode ser corrigido (LISTER; LISTER; ALEXANDER, 2014).

Segundo Chuvieco (2000, p.326), a classificação digital é o resultado final do tratamento digital de imagens. “la información multiespectral se condensa, en definitiva, en un documento cartográfico y en unas tablas estadísticas, que definen la localización y ofrecen el inventario superficial de las categorías de interés”⁷.

Dentro da classificação digital, existe uma divisão, a qual é definida segundo a participação do intérprete, e podem ser feitas de forma supervisionada e não supervisionada. Para a classificação supervisionada se apresentam as seguintes fases:

- Áreas de treinamento: Servem para treinar o software no reconhecimento das classes estabelecidas. A partir disso o software calcula os ND (Níveis Digitais) que definem cada uma das classes, para logo atribuir o restante dos pixels da imagem em função de seus ND.

-Fase de Atribuição: essa é a fase que atribui uma classe a cada grupo de pixels, por meio do comportamento dos ND nas bandas espectrais. O resultado será a obtenção de uma nova imagem na qual os ND serão refletidos em cada classe correspondente. Esta identificação pode ser realizada através do ND de cada cobertura, mas existe um problema, pois alguns ND têm o mesmo valor de outras coberturas, por isso a identificação de coberturas é um pouco mais difícil somente

⁷ A informação multiespectral é condensada, em um documento cartográfico e tabelas estatísticas, que definem a localização e oferecem o inventário superficial das categorias de interesse.

com a automatização. Portanto, recomenda-se fazê-la com o conhecimento da área que o intérprete possui. Os critérios mais utilizados são: métodos dos paralelepípedos e máxima probabilidade.

A classificação não supervisionada não requer nenhum conhecimento da área de estudo, portanto a intervenção humana é mínima. Os ND formam uma serie de agrupamentos, os conglomerados (Clusters). Estas categorias espectrais nem sempre podem ser comparadas a áreas de treinamento, o que requer que, ao obter os resultados se faça uma interpretação das classes obtidas pelo software. A classificações não supervisionadas têm as seguintes fases (CHUVIECO, 2000, p. 336):

- seleção das variáveis que intervém na análise
- seleção de um critério para medir a similitude ou diferença entres os casos;
- seleção de um critério para agrupar os casos similares.

A data de aquisição das imagens deve ser considerada, pois, em algumas ocasiões, os elementos da imagem são modificados de acordo com a estação do ano.

Deve-se levar em conta também o estado ambiental da cena no momento da captura da imagem que, basicamente, se centra na fisionomia da camada, pois quando a vegetação está doente reflete de forma diferente do que quando está saudável. (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

As imagens classificadas são submetidas a um pós-processamento, etapa na qual os dados que foram obtidos das classificações, são transformados para que depois sejam utilizados no ambiente SIG. (FITZ, 2008).

Um exemplo da classificação digital foi o censo arbóreo para a cidade de Enschede e Delf, na Holanda, no qual Ardila et al. (2011) realizaram o mapeamento das árvores implementando uma classificação orientada a pixel inicialmente, para depois utilizarem uma classificação orientada a objetos, gerando um banco de dados geoespacial.

Foi um procedimento implementado baseado nas cores, tamanhos, refletâncias e sombras que os objetos possuíam, ressaltando o contexto das árvores encontradas na imagem. O objeto principal foram as árvores localizadas nas vias. Os autores tinham um inventário das árvores previamente realizado, no qual as informações eram armazenadas com as seguintes características: diâmetro, estado de saúde, espécies, altura, entre outros.

Esses dados contribuíram ainda mais no mapeamento, pois, por meio da informação, os resultados obtidos mediante a metodologia poderiam ser comparados. No entanto, o inconveniente para o reconhecimento das árvores ocorreu para aqueles indivíduos que estavam em grupos e com as sombras. Os resultados registraram uma precisão de 70% para a cidade de Enschede e 82% para Delf.

Posteriormente, esse mapeamento permitiu realizar análises para as duas cidades em relação aos seguintes itens com mais facilidade e rapidez:

- A emissão de contratos de manutenção oportuna;
- Determinação de árvores perdidas em tempestades;
- A detecção de transgressões no registro;
- Identificação precoce de possíveis doenças;
- A implementação da manutenção das árvores

Com o avanço da tecnologia e a inclusão de sensores com produtos de alta resolução espacial e espectral, têm sido exigidas classificações que estejam a altura das informações concedidas pelas imagens. Isso não significa que os procedimentos convencionais perdem sua validade, simplesmente se está almejando um ótimo reconhecimento do solo e da cobertura vegetal.

Um processamento digital de imagem que surgiu para beneficiar o processamento de imagens de alta resolução espacial, é a segmentação de imagens, processo usado antes de fazer as classificações. A finalidade de segmentar uma imagem é a de diminuir a subjetividade no momento da escolha das áreas de treinamento. O processo consiste em agrupar zonas de pixels com comportamento espectral semelhante. Para a presente pesquisa, a segmentação foi feita por meio do software ArcGIS 9.2, no qual os parâmetros resolução espectral, resolução espacial e tamanho mínimo de segmentação podem ser mudados de acordo com a classe que se deseja ressaltar (MONTEIRO, 2007; ESRI, 2016).

Tendo clareza na terminologia das classificações, é necessário abordar a estrutura dos sistemas de florestas urbanas que tendem a formar-se dentro das cidades, de acordo com Monteiro (2015), Jim e Chen (2002). A estrutura permite observar se a cidade tem um sistema de vegetação integrado, sendo as divisões compostas por:

- Áreas prioritárias para conservação;

- Áreas acessórias para conservação;
- Áreas de fluxos;
- Áreas potenciais para conservação.

Dentro das áreas, Jim (1989) e Labaki et al. (2011), estabeleceram uma classificação para a vegetação e disposição das árvores (Figura 11):

- Isoladas: correspondem às árvores localizadas dentro de edifícios, seu comportamento dentro da imagem é disperso, aglomerado (no qual há misturas de pixels com a camada de edifícios);
- Agrupadas: o grupo seguinte é as vegetações com comportamento linear, ou seja, têm uma direção dominante. Dentro dessa classificação, pode-se encontrar comportamentos de plantações retilíneas, curvilíneas que formam anéis ao redor de pequenas montanhas;
- Conectadas: é a camada na qual mais vegetação é encontrada, seu comportamento pode ser na forma de meandros, ramificados e contínuos.

Em se tratando de disposição das árvores Peixoto; Labaki e Santos (1995) classificam em:

- Casual;
- Pontual;
- Isolada;
- Difusa;
- Interseção aglomerada.

Figura 11 - Classificação para vegetação e disposição das árvores



Fonte: PEIXOTO; LABAKI; SANTOS, 1995.

De acordo com Ardila (2012), a precisão do mapeamento árvore depende do local e a mistura que esse tem em relação aos outros pixels vizinhos, ou seja, ao contexto da árvore.

A classificação Orientada a Pixel pode ser realizada por procedimento supervisionado e não supervisionado. A classificação supervisionada requer algumas áreas de treinamento que são áreas selecionadas pelo intérprete de acordo com o motivo de sua homogeneidade temática, ou seja, o intérprete toma as decisões de acordo com a cor e as formas (VÁSQUEZ, 2011). O software é então responsável por fazer atribuições matemáticas e de probabilidade (SANCHEZ, 2009).

Os algoritmos supervisionados empregados são máxima verossimilhança, método do paralelepípedo e a distância euclidiana (MOREIRA, 2007). Para essa pesquisa, o algoritmo utilizado foi máxima verossimilhança, o qual encontra-se justificado na metodologia

O classificador da máxima verossimilhança é o método mais utilizado para fazer uma classificação supervisionada. Consiste em ajustar a uma distribuição normal (DN) e analisar a média e a repetição dos valores a moda, ou seja, se procura obter a curva de Gauss (CHUVIECO, 2000; FITZ, 2008; MOREIRA, 2007).

O primeiro passo é delimitar a probabilidade para cada categoria a partir das medidas estabelecidas nas áreas de treinamento, sendo a partir disso que os ND têm uma distribuição normal. Portanto, é necessário conhecer a média e o desvio-padrão para o cálculo posterior (RAMOS, 2017).

Fazendo uso da classificação supervisionada, Leckie et al. (1999) procuraram obter um relatório detalhado do estado da floresta para as cidades de Vancouver, British Columbia, no Canadá. Os autores tinham o inventário realizado em campo, o qual foi utilizado para se ter uma abordagem preliminar da área a ser estudada, com as informações detalhadas sobre cada árvore as quais foram: altura, saúde das árvores e espécies.

O estudo começou com a obtenção das imagens de satélite do mês de setembro de 1996, com resolução de 70 cm. Para esse caso, os autores usaram os modelos digitais de terreno já realizados em estudos anteriores e os pontos da localização de cada árvore tomados por meio de GPS.

Posteriormente, as imagens foram divididas em parcelas de campo fazendo uma aplicação visual e definindo as espécies encontradas no inventário feito em campo, digitalizando cada árvore em uma camada vetorial, junto com ajuda das

informações coletadas através do GPS. Um dos inconvenientes foi a localização das árvores que eram aglomeradas, para as quais a decisão foi tomada para conseguir uma camada de grupos de árvores. Quanto as árvores que permaneciam no nível do solo, foram omitidas no banco de dados. Alguns softwares permitem a análise de árvores isoladas, por exemplo, Tree Crown (ITC) do software PCI.

Para o mapeamento, a análise realizada por essa ferramenta destaca as árvores como áreas de altos valores espectrais que formam picos de brilho dentro da imagem, separando as sombras, um dos grandes problemas na captura das árvores isoladas. Após essa separação, o programa começa a delinear as copas das árvores.

Da mesma forma, o algoritmo permite posicionar uma árvore, por meio do procedimento “copa das árvores”, que simplesmente identifica a presença de árvores e sua contagem. Esse método não desenha a árvore, simplesmente marca a localização das copas das árvores e o local em que elas podem estar localizadas (LECKIE et al., 1999).

É necessário esclarecer que um dos erros mais comuns nesse tipo de processo é a variabilidade da reflectância espectral e as condições de iluminação no momento da captura das imagens. A classificação supervisionada foi avaliada empregando a matriz de confusão para as duas cidades, Vancouver e British Columbia e obteve 73% de acurácia.

Esse estudo destacou que esses resultados foram confirmados pelas árvores geradas manualmente e considerando as condições espectrais, iluminação, variabilidade reflectância e saúde da árvore que, por sua vez, foram os principais fatores de confusão que afetam a classificação. Houve dificuldades para distinguir entre as árvores que estavam na sombra (LECKIE et al., 1999)

A classificação não supervisionada permite realizar internamente interações de características das imagens automaticamente, sem contar com as áreas de treinamento. Portanto, não exige um critério de decisão. Basicamente, o que a classificação não supervisionada realiza é analisar a imagem com base em um número de categorias que serão dadas pelo intérprete agrupando pixel com semelhança espectral. O algoritmo mais utilizado é o ISODATA, (DUDE; HART, 1995) “neste método as classes são definidas por seu vetor de medidas e os pixels classificados segundo o critério de distância mínima” (CENTENO, 2009, p. 192)

A aglomeração de pixels é chamada cluster. Tais clusters estão se comportando espectralmente da mesma forma dentro do processo realizado pelo

software escolhido, dando origem às diferentes coberturas do solo. Infelizmente, a categorização que o software concede não é comparável à classificação supervisionada, portanto, uma interpretação final deve ser dada pelo conhecimento do intérprete e é, nesse momento, que a subjetividade entra em cena.

Nessa classificação, a intervenção humana não é muito importante no momento do processo, pois não é necessário o conhecimento do local. Porém, a interpretação é dada de acordo com os resultados.

Segundo Chuvieco (2008) e Richards (2013), essa classificação possui três processos para realizar o agrupamento espectral:

- Seleção das variáveis que intervêm na análise;
- Seleção de um critério para medir a similaridade ou a distância entre casos;
- Seleção de um critério para agrupar os casos semelhantes.

O Isodata trabalha com um processo iterativo robusto para processar imagens de áreas muito grandes, por isso a opção é cortar as áreas e processá-las separadamente. Alguns autores consideram a classificação não supervisionada uma fase exploratória que deduzirá as classes espectrais presentes na imagem e é de grande ajuda para uma abordagem do local.

Toda classificação deve ser avaliada por meio de sua acurácia. Congalton (2004) recomenda medidas de confiabilidade e sugere três maneiras de se obter a exatidão do processo de classificação:

- Comparação da classificação com outras fontes;
- Estudar a confiabilidade da classificação das áreas de treinamento;
- Selecionar algumas áreas de verificações com a verdadeira cobertura de solo.

Existem métodos simples para calcular as diferenças entre os dados que são considerados confiáveis ou os dados que foram tomados com processo em campo e os resultados obtidos por meio das classificações. Os processos podem ser estatísticos, obtendo um erro numérico, portanto não pode ser observado no mapa, o resultado é uma primeira aproximação a imprecisão.

Da mesma forma, pode-se encontrar o método de classificar os campos de treinamento, a fim de verificar se eles se encaixam nas categorias definidas, criando a matriz de erro.

Para conhecer acurácia do mapa, deve-se estabelecer áreas de teste, ou seja, áreas no terreno real para posteriormente fazer a comparação. Essas áreas

necessitam ser independentes do mapa. O melhor é ir para o campo e realizar um levantamento da informação antes de executar a classificação (AGYEMANG et al., 2011).

Em relação aos possíveis erros na detecção das árvores, Ardila (2012) destaca a resolução espacial que os sensores multiespectrais fornecem. Gougeon (2006), com base no estudo realizado em Quebec, conclui que ainda há algumas dificuldades em reconhecer a copa das árvores com imagens multiespectrais. De acordo com Falk e Campos (2014), pode-se fazer uma segmentação espectral a cada objeto, permitindo observar o comportamento das assinaturas espectrais e, por conseguinte, o objeto será identificado com facilidade. Mas, o procedimento sempre vai depender da resolução espectral, espacial, a escala e a temporalidade da imagem.

Falk e Campos (2014) recomendam ter imagens multiespectrais de resoluções de 10 a 100 (cm/pixel). Quanto ao reconhecimento de árvores em florestas, o uso de etapas de filtragem é bastante útil. No caso das árvores localizadas na cidade, o ideal seria fazer uma classificação pixel a pixel. No estudo, foi feita uma classificação supervisionada destacando as árvores individuais, confrontando esse resultado com dados obtidos em campo e de antigos inventários qualitativos.

Um problema comum nesses estudos, de acordo com Ardila (2012), corresponde à dificuldade de separabilidade espectral dos pixels das árvores com os pixels dos outros tipos de vegetação, uma vez que eles têm uma resposta espectral semelhante a outra cobertura vegetal, como arbustos e grama.

Outra dificuldade é a variedade de espécies de árvores encontradas nas imagens, já que as copas das árvores têm uma variação espectral. Isso se deve à resolução espacial que é muito maior que a do indivíduo a ser analisado, resultando em diferentes respostas espectrais dos pixels em diferentes partes da imagem sendo o mesmo elemento (MARCEAU, 1994).

Outro fator é a complexidade do espaço urbano em torno das árvores urbanas e sua heterogeneidade em termos de tamanho, espécie, seu padrão na superfície, entre outros, mas isso pode ser visto a partir de uma imagem de resolução alta. As características das árvores também dependem das condições físicas das estruturas, tais como estradas, ferrovias, estacionamentos, construções ou áreas verdes. Portanto, a detecção de árvores nas cidades torna-se ainda mais difícil em comparação com áreas florestais ou reservas que têm árvores com padrões fáceis de identificar (ARDILA, 2012).

Depois de avaliar as teorias dos possíveis erros, a análise da acurácia das classificações foi realizada com a aplicação da matriz de erro, uma ferramenta usada para avaliar a abordagem da classificação à realidade. A matriz deve ter um tamanho de n*n, na qual suas colunas e linhas devem ter o mesmo tamanho - as linhas são a classe de referência e as colunas são as categorias obtidas por meio da classificação (CONGALTON, 2004; MOREIRA, 2007)

A diagonal desta matriz expressa o número de pontos de verificação onde a concordância ocorre entre as duas fontes (mapa e realidade) enquanto os marginais supõem erros de atribuição. A relação entre o número de pontos atribuídos corretamente e o total expressa a confiabilidade geral do mapa⁸ (CHUVIECO, 2000, p. 389),

O propósito de utilizar esse tipo de matriz é o de observar o conflito que poderia ser visto no momento da atribuição de classes na classificação, além da confiabilidade do dito resultado. Além disso, a matriz de erro permite determinar a concordância dos resultados obtidos com a informação dos dados reais. O índice Kappa permite a inclusão dos dados obtidos na matriz de erro, conta com os dados da diagonal da matriz e inclui acurácia geral e as classes que concordaram.

$$\sigma^2 k = \frac{Po(1-Po)}{N(1-Pc)^2} \quad \dots (1)$$

Sendo Po= acurácia geral

Pc= a proporção de unidades que concordam por casualidade

N= o número total de unidades amostrais contempladas pela matriz. (MOREIRA, 2007).

Segundo Landis e Koch (1977), os índices obtidos podem ser comparados com o Quadro 3.

Quadro 3 – Qualidade da classificação associada aos valores da estatística Kappa

Valor de Kappa	Qualidade da classificação
<0.00	Péssima
0.00 - 0.20	Ruim
0.20 - 0.40	Razoável
0.40 – 0.60	Boa
0.60 – 0.80	Muito Boa
0.80 – 1.00	Excelente

Fonte: Adaptada de LANDIS; KOCH, 1977.

⁸ La diagonal de esta matriz expresa el número de puntos de verificación en donde se produce acuerdo entre las dos fuentes (mapa y realidad) mientras los marginales suponen errores de asignación. La relación entre el número de puntos correctamente asignados y el total expresa la fiabilidad global del mapa.

Adicionalmente as classificações, existem outras maneiras de extrair a informação da vegetação presente nas cidades. O Índice de vegetação da diferença normalizada NDVI, estabelece uma relação da banda infravermelha com a faixa visível correspondente a cor vermelha, e o resultado será a obtenção de uma imagem com níveis de cinza no qual sua tonalidade corresponderá à biomassa e ao vigor vegetativo da superfície, representada em cada pixel. Sua fórmula foi exposta por Rouse, et al., (1974) e, é reconhecida universalmente da seguinte maneira:

$$NDVI = (IR - R)/(IR + R) \quad (2)$$

IR: Reflectância na banda do infravermelho próximo.

R: Reflectância na banda do vermelho.

Fonte: Rouse, et al., 1974

Os índices de vegetação, os quais são transformações com combinações matemáticas entre as bandas espectrais de uma imagem de satélite e representam comportamentos radiométricos da vegetação vigorosa. Esse processo matemático é baseado em considerar o comportamento da refletividade da vegetação nas bandas: no visível, por exemplo, seu comportamento no espectro é baixo, mas nas bandas do infravermelho próximo tem uma alta refletividade e isso é devido à composição da folha.

Dessa forma, foram estabelecidas certas operações matemáticas que ajudariam a reconhecer facilmente qual vegetação está em boa saúde e que, por sua vez, permitiria a diferenciação do que não é vegetação. Como já foi mencionado, sua base é a refletividade da vegetação, portanto sua variação dependerá do estado fisiológico dela (SPERANZA; ZERDA, 2002).

O NDVI é o índice mais simples de se calcular e apresenta uma variação fixa (entre -1, 0 e 1), no qual os valores negativos correspondem às áreas em que a vegetação não é encontrada e o valor de 1 representa uma vegetação relativamente saudável. Devido à sua simplicidade, é possível perceber os parâmetros da vegetação.

Por outro lado, tem algumas desvantagens que alteram seu resultado, por exemplo, esse índice não tem uma grande capacidade de diminuir a influência do solo e da atmosfera, algo que deve ser ponderado quando se obtém a imagem. Por sua vez, essa operação matemática oferece a possibilidade de caracterizar a distribuição espacial da vegetação como seu estado de saúde, sem deixar de lado que tal

conclusão dependa da situação climática em que a imagem foi obtida (AGUILAR, 2014).

3.3 ESTUDOS SOBRE ARBORIZAÇÃO VIÁRIA COM APLICAÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO

De acordo com o que já foi abordado, o uso das geotecnologias agrega valor para obtenção dos inventários arbóreos. Segundo Crispim, Palhano e Carvalho (2018), os estudos realizados no Brasil sobre arborização viária, aplicando geotecnologias, foram mais concentrados em 2013, 2014 e 2016, o que significa que estudos realizados em anos anteriores não eram comuns. Os autores esclarecem que a maioria dos estudos que se referem a esse tema é, em sua maior parte, efetivado por engenheiros florestais. A principal característica das investigações refere-se ao recorte espacial que utiliza a cidade como escala no momento do mapeamento das árvores.

As metodologias utilizadas variam de acordo com a forma como o mapeamento é necessário e o que se pretende obter com a sua implementação. Nas investigações que buscavam obter um inventário quantitativo, a classificação supervisionada foi implementada em 10,52% das pesquisas, seguida pela aplicação do NDVI com 5,26%. Assim como na presente investigação, estudos relacionados à arborização viária. Visaram o reconhecimento da copa das árvores, sendo que 13,33% dos artigos estavam relacionados à identificação do indivíduo arbóreo (CRISPIM; PALHANO; CARVALHO, 2018). A seguir, nos Quadros 4 e 5, são apresentados os artigos que destacam a aplicação de geotecnologias no mapeamento da vegetação urbana no Brasil e de algumas cidades do mundo.

De acordo com os levantamentos realizados, é possível perceber a contribuição das geotecnologias, especialmente do sensoriamento remoto e SIG (Sistemas de Informação Geográfica), aos temas relacionados com a arborização urbana. Isso ocorre porque as tecnologias aplicadas facilitam a quantificação das áreas verdes, especialmente das árvores e, quase sempre, os inventários foram complementados com informações qualitativas das árvores, permitindo criar bases de dados robustas que oferecessem informações certas para os possíveis estudos de arborização dos sistemas viários (NETO; BIONDI; ARAKI, 2010).

Quadro 4 - Estudos realizados utilizando geotecnologias no mapeamento da vegetação no Brasil

(continua)

Autor - Ano	Recorte espacial	Metodologia	Tipos de dados coletados
Coelho, 2008	4 bairros	Fotografias Aéreas; software spring; ARCGIS 9.2	Superfície total da copa, cobertura vegetal, espécie, nome popular, porte, desenvolvimento
Dos Santos, 2010	Um bairro da cidade de Manaus	GvSIG versão 1.9; · Kosmo versão 2.0; · QuantumGIS versão 1.5; · OpenJUMP versão 1.3; · Banco de dados PostgreSQL versão 8.4; · PostGIS versão 1.5. · PGAdmin 1.10	TRÁFEGO: Tráfego que predomina na rua 66 II. RUA: Nome da rua. III. LADO. (Este foi considerado de acordo com a situação de campo) a) Par: Calçada lateral. b) Cant. Cen.: Canteiro central c) Impar: Calçada lateral. IV. ESPÉCIE: A árvore deve ser identificada pelo seu nome vulgar, ou seja, o nome pelo qual é conhecida popularmente. V. COD_ESPECIE: Número da espécie. Longitude; latitude; tronco; copa, poda, calçada, largura etc.
Vani, 2011	Presidente prudente - SP	Integração das plataformas que estão envolvidas em todas as suas etapas: coleta e armazenamento de dados, inclusão de mapas e demais informações espaciais, operações sobre as informações armazenadas, obtenção de resultados e visualização gráfica deles	Nome popular da espécie da árvore; Nome científico da espécie da árvore; DAP diâmetro na altura do peito; Fuste - altura do tronco da árvore até as primeiras ramificações; Projeção de copa sanidade e foto
Neto, 2011	Três unidades amostrais da cidade de Curitiba 25ha cada	GPS eTrex H – Garmin, Programa ArcView GIS 9.2, Aplicativo Microsoft Excel 2007; Ortofotos do município de Curitiba/PR Escala 1/ 1.000; Pacote Estatístico Statgraphics Plus Professional; Inventario em SIG e TRADICONAL	Nome Popular, Nome Científico, localização, raio da copa, espaçamento entre copas
Neto et al., 2012	Município de Curitiba 3 unidades amostrais de 500 m ²	ArcGIS 9.2; aplicativo Xrools pro, ortofotos das UAs cedidas pelo IPPUC (instituto de pesquisa e planejamento Urbano de Curitiba)	Fuste-Ruas do centro do fuste até a última projeção da copa na rua); R2= fuste construção); R3= fuste-esquerda (medido do centro do fuste até a última projeção da copa no lado esquerdo, paralelo à calçada); R4= fuste direita (medido do centro do fuste até a última projeção da copa no lado direito, paralelo à calçada)

Quadro 4 - Estudos realizados utilizando geotecnologias no mapeamento da vegetação no Brasil

.....(continuação)

Autor - Ano	Recorte espacial	Metodologia	Tipos de dados coletados
Grise, Araki e Biondi, 2013	Um bairro	Satélite GeoEye-1. Softwares: ENVI 5; MATLAB para a classificação e ArcGIS 10 para o pós-processamento da imagem.	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI)
Lima Neto, 2014	Boa Vista-RR	Pesquisa foi desenvolvida a partir do cadastro espacial censitário das árvores plantadas nas calçadas urbanizadas, utilizou-se o método de amostragem estratificada.	Amostragem considerou as zonas administrativas da cidade de acordo com a prefeitura municipal.
Mayer, Costa de Oliveira Filho e Bobrowski, 2014	Município de Iratí	Software SPRING, versão 5.2, aplicativo Microsoft Excel; imagens orbitais Quickbird 2008 ortorretificadas e fusionadas com resolução espacial de 61 cm; cálculo da estimativa de densidade Kernel	4A - Árvores com algum tipo de conflito; 4B - Árvores com altura da primeira bifurcação menor que 1,8 metros; 4C - Árvores com distância menor que 12 metros entre árvores; 4D - Árvores com área livre menor que 1 m ² ; 4E - Árvores com distância igual a zero metro da fiação aérea; 4F - Árvores com distância menor que 5 metros dos postes; 4G - Árvores com distância menor que 2 metros da entrada de garagem; 4H - Árvores com distância menor que 3 metros do mobiliário urbano; 4I - Árvores com distância menor que 3 metros das caixas de inspeção; 4J - Árvores com distância menor que 3 metros das placas de sinalização
Alvez et al., 2014	68 ruas do município de Presidente Epitácio	Levantamento arbóreo a partir do Google Street View, com imagens realizadas em 2011, densidade, mostrando o número de árvores por metro linear de rua	Logradouro, km, número de árvores

Quadro 4 - Estudos realizados utilizando geotecnologias no mapeamento da vegetação no Brasil

..... (conclusão)

Autor - Ano	Recorte espacial	Metodologia	Tipos de dados coletados
Martini et al., 2015	6 ruas	Miniestações da marca Kestrel; Satélite GeoEye-1, A imagem foi classificada no software MultiSpec, composta nas cores fundamentais “RGB” correspondendo às bandas 4, 3, 2 respectivamente. Para a classificação automática supervisionada, utilizou-se o algoritmo ECHO; software Quantum GIS 1.8	Temperatura média e umidade relativa
Santos de Castro; Dias, Amanajás, 2016	Cidade de Macapá (município)	Aplicação de formulário de campo para identificação das árvores e coletas das informações por meio de equipamentos (GPS) e mapeamento e espacialização dos dados	Setor; Bairro; Quadra; Número de Ordem (árvore); Nome Vulgar; Fitossanidade; Situação da Raiz; Largura do Passeio Público; Afastamento Predial; Fiação (copa da árvore em relação à fiação elétrica); Circunferência do tronco; Copa (Longitudinal, Avanço Rua e Avanço Casa); Altura Total; Altura da 1ª Bifurcação; e Necessidade de Poda.
Mendes et al., 2016	Município de Maringá	Imagem orbital RapidEye (2012 e 2013), Quantum GIS versão 2.6, Classificação supervisionada, MultiSpec versão 3.4, índice Kappa	Copa de árvore, relvado, solo exposto, asfalto, sombra, rio/lago, telhados
Lisboa, 2017	Curitiba	Aplicativo Sapelli (feito por eles) como plataforma; banco de dados empregada foi o Geokey e a plataforma do Community maps como interface web para a solução cartográfica	Altura, Latitude, Longitude, Foto do indivíduo arbóreo, Risco de segurança, e informações qualitativas

Fonte: CRISPIM, Miguel; PALHANO, Everton; CARVALHO, Sílvia, 2018.

Quadro 5 - Estudos realizados utilizando geotecnologias no mapeamento da vegetação urbana em alguns países do mundo

.(continua)

Autor - Ano	Recorte espacial	Metodologia	Tipos de dados coletados
Jim, 1989	Hong Kong	Fotografias Aéreas de baixa altitude; mapa de cobertura terrestre, análise multitemporal desde 1945 a 1982	Classificação da copa das árvores espécie, sua cobertura e configuração na cidade
Leckie et al., 1999	Exploração florestal MacMillan Bloedel Ltd. Vancouver Island, British Columbia	<p>Utilização de imagens com resolução de 70cm, modelos digitais de elevação, por meio de uma quadricula foi feito um mapeamento dos troncos das árvores, reconhecendo a sua vez a espécie outorgando um domínio</p> <ul style="list-style-type: none"> • Software PCI com o pacote ITC; • Isolação e contagem de árvores; • Fechamento de coronas; • Análise da brecha; • Classificação 	Geração de camadas vetoriais com informação das árvores isoladas e árvores localizadas em grupos e estimação das copas das árvores
Speranza e Zerda, 2002	Lote El Porvenir perteneciente a la empresa Danzer Forestaciones S.A., localizado en las cercanías de la ciudad de Posadas, Provincia de Misiones	Foi feito com a utilização de fotografias aéreas de pequeno formato e dado de satélites multiespectrais ETM LANDAST	Índices de vegetação e análises de separabilidade das classes
Gil, 2010.	Provincia De Cuenca, Ecuador	<p>Utilização de dados, lidar, imagens multiespectrais IKONOS, dados de PNOA (Plan Nacional de ortofotografias Aérea), e dados obtidos no campo.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Processo dos dados LIDAR; • Segmentação inicial; • Mosaicos e recorte de imagens; • Classificação por pixel; • Classificação orientada a objetos; • Post processamento <p>O processo foi feito utilizando o software FUSION/LDV, ENVI+IDL, ArcGis, FETEX 2.0, LIDEX</p>	Classificação da zona de estudo, Contagem de árvores, Localização das árvores

Quadro 5 - Estudos realizados utilizando geotecnologias no mapeamento da vegetação urbana em alguns países do mundo

(conclusão)

Autor - Ano	Recorte espacial	Metodologia	Tipos de dados coletados
Ardila et. al.,2011	Enschede y Delft (Holanda)	Metodología Geobia, imagens satelitais QuickBird, software E-cognition, classificação jerarquizada, <ul style="list-style-type: none"> • Máscaras das áreas de pastagens; • Identificação das coronas de árvores usando uma abordagem de contraste local baseada em objetos; • Identificação das árvores médias e grandes com alto contraste de fundo; • Identificação das árvores usando um foco multiescala; • Identificação das árvores muito pequenas plantadas ao longo das calçadas); • Identificação de árvores entrelaçadas ou adjacentes; • Identificação de árvores individuais com contraste o fundo 	Mapa topográfico digital dos Países Baixos Top10NL (escala 1: 10.000), mapa de polígonos das copas das árvores, geração de imagens de objetos
Vasquez, 2011	Municipio de Villavicencio, Departamento del Meta, Colombia	Análise de imagens de satélite Landsat com uma diferença de 17 anos, geração de modelos para classificação de objetos com imagens de satélite. Feito no software ENVI 4.6, modelos digitais de elevação SRTM, NED, CDAD, DTED, y GTOPO 30. Utilização da metodologia CORINE LAND COVER (CLC) com adaptação para Colômbia	Classificação da imagem por meio de uma interpretação digital na tela para cobertura e uso da área de estudo. Mapa de cambio de uso da terra. Mapa de cobertura e usos da terra, geradas a partir do ortofotomosaico
Aguilar, 2014	Zona Centro de la Provincia De Loja, Ecuador	Utilização de imagens Landsat 7 sensor ETM+, imagens de sensor ASTER, mapa de cobertura e uso de solo, cálculo de índices de vegetação, dados meteorológicos. Aplicação de método Kriging, modelos digitais de elevação	Calculo de índices de vegetação, NDVI, MSI, e SAVI, identificação de coberturas, analise de índices de vegetação com dados de temperatura, interpolação método kriging para precipitação e temperatura.

Fonte: A autora, 2020

Existem, na atualidade, em nível mundial, softwares, como I-tree, Geo Árvores, que têm a possibilidade de trabalhar em conjunto com a comunidade, sendo atualizados e inspecionados em sua base de dados (NETO, 2014).

No Brasil, há um SIG para a cidade de Campinas, no qual a população tem a possibilidade de conhecer o inventário da cidade. Na cidade de New York, existe o Street Tree Map, portal com as árvores da cidade, no qual a comunidade pode destacar as árvores favoritas. Além disso, é capaz de notificar o estado da árvore para que seja atendida com rapidez. Amsterdam também conta com um website em que é possível consultar a espécie, altura, estado, entre outros e as árvores estão ilustradas com círculos de diferentes cores que fazem referência à classe. Para a cidade de Madrid, o portal das árvores tem por nome Un Alcorque Un Arbol, realizado pela prefeitura, no qual as árvores estão cadastradas conseguindo assim o registro de todos os plantios nas calçadas, não incluindo os parques, jardins e zonas recentes de urbanização.

No entanto, as pesquisas sobre arborização realizadas com o uso do sensoriamento remoto têm barreiras, como as resoluções espaciais das imagens, o manejo das sombras associadas as árvores e o tratamento das árvores em grupo. Mas, com as ferramentas que estão sendo utilizadas, é possível que os erros sejam eliminados ou tratados, obtendo resultados com acurácias altas.

Em síntese, a presente pesquisa fez o uso do sensoriamento remoto por meio da utilização de imagem de alta resolução, empregando as metodologias da classificação supervisionada e não supervisionada, além da classificação por segmentação do NDVI na quantificação e mapeamento das árvores presentes nas calçadas das vias públicas da área urbana de Ponta Grossa, no estado do Paraná.

Essa pesquisa buscou contribuir com uma contagem preliminar das árvores localizadas nas calçadas, a partir de uso do sensoriamento remoto. Posteriormente, os resultados podem ser usados como guia para ter um conhecimento da localização das árvores quando for necessária a realização de um inventário arbóreo em campo. Além disso, pode auxiliar nos estudos de planejamento da arborização.

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesse item, são apresentados o recorte espacial da pesquisa, como foram feitas as diferentes classificações, a classificação segmentada do NDVI e a indicação dos parâmetros utilizados para tal fim. Além disso, é apresentado o mapeamento preliminar usado como referência a partir da metodologia de análise visual.

4.1 RECORTE ESPACIAL ADOTADO

Na presente pesquisa, o inventário arbóreo das vias é utilizado para conhecer quantitativamente a arborização da área urbana de Ponta Grossa para que, posteriormente, a informação obtida possa ser empregada nos futuros levantamentos qualitativos (SILVA; PAIVA; GONÇALVES, 2017)

Um inventário arbóreo permite conhecer o patrimônio das árvores de qualquer área, permitindo identificar as necessidades que as árvores requerem (PAIVA; GONÇALVES, 2012)

Para a cidade de Ponta Grossa a arborização presente nas vias, segundo Carneiro; Carvalho (2013), infelizmente não tem o valor que precisa, pois, a cidade conta com pouco mais da metade de seu espaço urbano arborizado. De acordo com Quadrado (2009), a falta de arborização nas vias é devido ao crescimento desordenado de suas estruturas que apresentou a cidade nas últimas décadas. Além disso há a falta de um plano de arborização, “Ponta Grossa não conta com um efetivo sistema de planejamento para o plantio e manejo de árvores, tanto em sua porção central quanto nos bairros”. (CARNEIRO; CARVALHO, 2013, p. 101),

Portanto, a cidade requeria um inventário para conhecer o patrimônio arbóreo. O método utilizado para realizar o inventário foi o censo total das árvores nas calçadas, feito por meio de um mapeamento (TADENUMA, 2019), ou seja, identificação visual das árvores na imagem, denominada daqui por diante de análise visual, composto por um arquivo tipo vetorial com coordenadas (ANGELINI, 2012). Vale ressaltar que um censo arbóreo busca a exatidão da população escolhida e a análise será de maneira

quantitativa, portanto essa amostra terá a fidelidade necessária para obter informação (NETO, 2011; SILVA; PAIVA; GONÇALVES, 2017).

Segundo Tadenuma (2019),

embora o número total de árvores seja um dado relevante para a análise quantitativa do inventário de arborização de uma área, é insuficiente para uma análise consistente sobre densidade de arborização, haja visto que os bairros possuem grandes variações no número total de árvores, e principalmente nas extensões territoriais (TADENUMA, 2019, p. 71).

Essa autora elaborou mapas de densidade da arborização utilizando o estimador Kernel (mapas de calor) com divisão em cinco classes e um raio de 100m. A partir dessa metodologia, o bairro Chapada apresentou as mais altas densidades de arborização com mais de 24 árvores em um raio de 100m, ou seja, mais de dez vezes o valor encontrado para a menor densidade (2 árvores), no bairro Boa Vista.

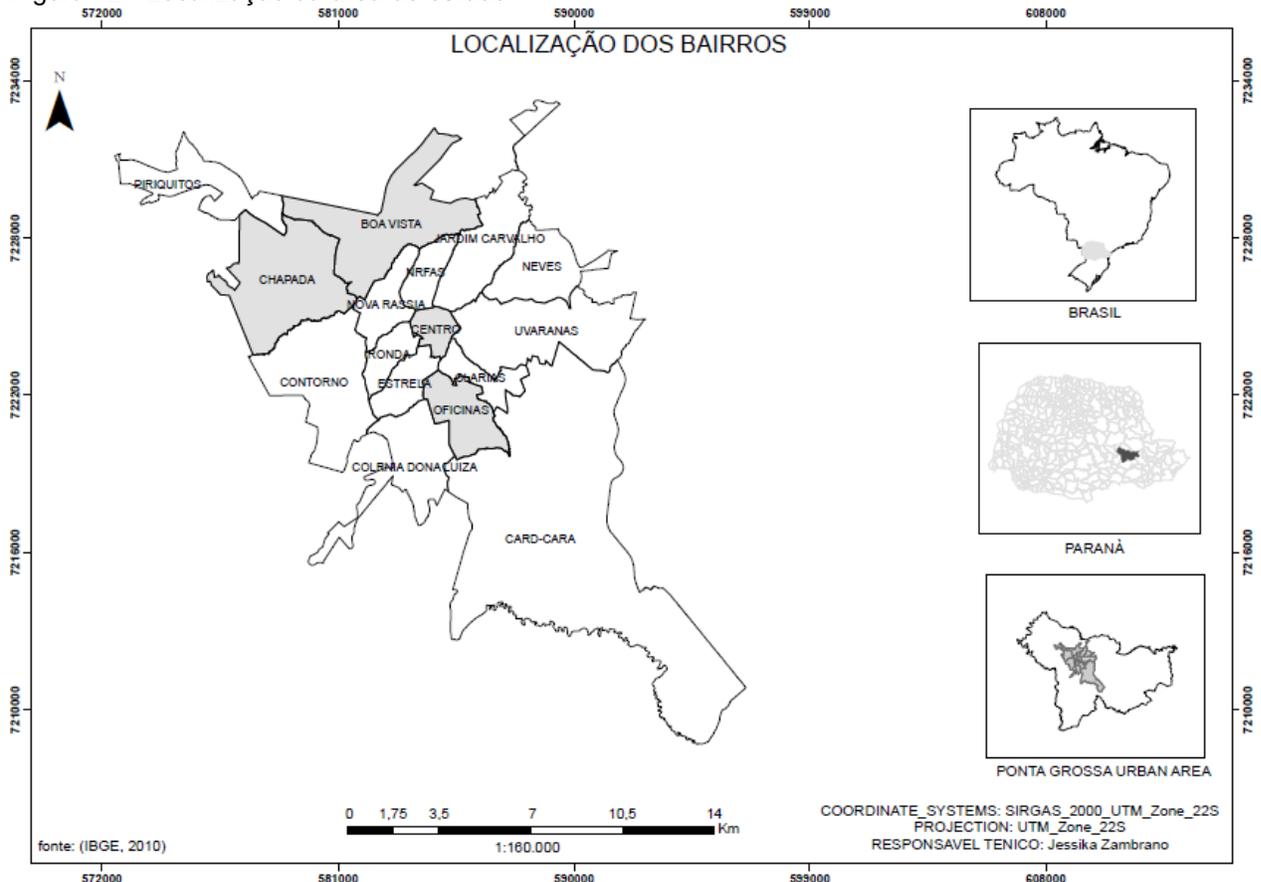
O Plano Diretor de Ponta Grossa encontrava-se, no momento da realização da pesquisa, em fase de revisão, e “a arborização de vias públicas está contemplada no projeto de lei que dispõe sobre a construção, reconstrução, conservação e readequação das calçadas de Ponta Grossa, mais especificamente no capítulo IX da Vegetação, na seção I-Calçadas Verdes” (TADENUMA, 2019, p. 91).

Para a presente pesquisa foram selecionados três bairros mais a área central de Ponta Grossa, município localizado no Estado do Paraná, na região dos Campos Gerais, com uma área territorial de 2054,73 km², com uma população estimada de 348.043 habitantes e uma densidade demográfica de 150,72 hab/km² (IBGE, 2018). A área urbana de Ponta Grossa é constituída por 15 bairros mais a área central, os quais são: Uvaranas, Contorno, Cará-Cará, Boa Vista, Chapada, Jardim Carvalho, Neves, Oficinas, Nova Rússia, Colônia Dona Luiza, Órfãs, Centro, Ronda, Olarias, Vila Estrela e Piriquitos.

Foi realizado o mapeamento e quantificação das árvores presentes nas calçadas das vias públicas dos bairros Chapada, Boa Vista, Oficinas e Área central (Figura 12). Os bairros Chapada e Área Central foram escolhidos por suas características, uma vez que o bairro Chapada é um dos que tem maior presença de vegetação, ao contrário da Área Central que tem pouca arborização nas vias. No caso dos bairros Boa vista e Oficinas, foram escolhidos por sua localização, um bairro ao Norte e outro ao sul da cidade. Além

disso, a área central e o bairro Boa Vista, apresentam trabalhos de campo, portanto com validação da análise visual preliminar.

Figura 12 - Localização da área de estudo



Fonte: A autora, 2020.

4.2 BASE DE DADOS PARA O MAPEAMENTO DAS ÁRVORES NAS CALÇADAS

Utilizou-se o banco de dados disponibilizado pelo Laboratório de Estudos Socioambientais (LAESA), composto por arquivos digitais com extensão shapefile como: as árvores mapeadas utilizando da metodologia da análise visual dos bairros Chapada, Boa Vista, Oficinas e Área Central (TADENUMA, 2018), arquivos das vias e perímetros dos bairros acima nomeados, a imagem de satélite do sensor comercial Pléiades, do ano 2013.

As imagens resultantes desse satélite são usadas em mapeamentos detalhados e de precisão e fotointerpretação. As características do produto são (EO, 2020):

- Resolução espacial de 50 cm, na banda pancromática e de 2m para as bandas multiespectrais;
- Resolução Radiométrica: 12 bits

Os comprimentos das bandas espectrais são organizados da seguinte forma :1- azul, comprimento de onda (nm) 450-530, 2-verde, (nm) 510-590, 3-vermelho, (nm) 620-700, e 4- infravermelho próximo, (nm) 775-915. (AIRBUS, 2019). Além disso, a imagem obtida pelo LAESA conta com correção geométrica incluída.

No caso das informações levantadas para as árvores, na área central e bairro Boa Vista foram disponibilizados dados de campo e análise visual e para os bairros Chapada e Oficinas, somente os dados da análise visual.

Foram mapeadas 8250 árvores presentes em 499 vias, nas quatro áreas de estudo (Quadro 6). O bairro Chapada foi o que apresentou maior quantidade de árvores e Área Central a menor.

Quadro 6 - Dados de árvores por vias na área urbana de Ponta Grossa

Bairro	Nº de vias	Nº árvores	Area (km ²)	Extensão Total Das Vias (km ²)	Relação Arv/km
Área Central	85	970	2,39	57,4	16,8
Oficinas	127	1234	6,21	87,7	14,7
Boa Vista	128	2900	16,50	77,1	37,6
Chapada	159	3101	9,12	107,6	28,8
TOTAL	499	8250	25,62	329,8	25,01

Fonte: LAESA, 2019.

Para aplicar as metodologias relacionadas ao mapeamento e à fotointerpretação é necessário efetuar processos para as imagens com as quais se irá trabalhar, a fim de melhorar ou corrigir a imagem. A principal técnica para o caso da imagem Pléiades foi a fusão das bandas multiespectrais com a banda pancromática, a fim de obter um aumento na resolução espacial.

Com o software PCI Geomática 2018 (Universidade de Coimbra), o processamento realizado na imagem foi baseado na união das bandas espectrais da imagem Pléiades através de uma transformação UNB-pansharp que consiste em transferir as características da banda pancromática com uma resolução espacial de 0,50m para bandas multiespectrais que têm uma resolução espacial de 2,0m, gerando uma melhor

resolução espacial para uma nova imagem multiespectral, diminuindo assim a distorção da cor (AMRO et al., 2011).

4.3 PROCEDIMENTOS EMPREGADOS

Para a aplicação dos diferentes procedimentos e, posteriormente, para realizar a respectiva análise dos resultados foram adotados procedimentos aplicados para as quatro áreas selecionadas, conforme demonstrado na Figura 13.

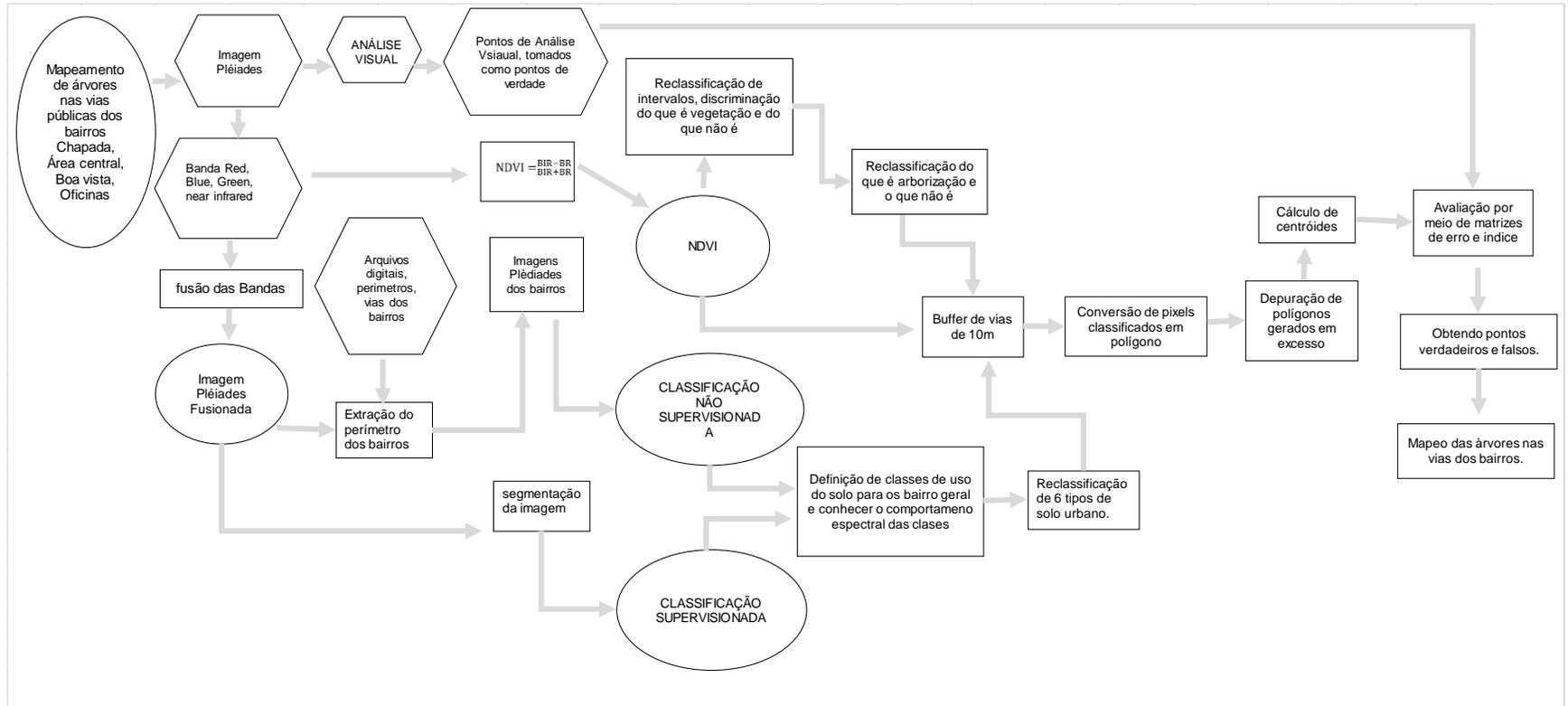
4.3.1 Análise Visual

O uso da metodologia da análise visual foi feito pelos integrantes do LAESA. O processo é realizado da seguinte maneira: a imagem Pléiades, já georreferenciada, deve ser recortada de acordo ao perímetro do bairro e após esse procedimento, é feita uma combinação RGB 341, com a finalidade de ressaltar as cores correspondentes a vegetação, para que se perceba se o objeto é uma árvore ou não, no caso da identificação positiva, a árvore é marcada com um ponto, com as respectivas coordenadas. Podem ocorrer alguns inconvenientes, como por exemplo, a dificuldade na identificação do número das árvores que se encontram em grupo, ou se as árvores estão efetivamente nas calçadas ou dentro dos quintais, em função da proximidade de muros, ou do avanço das copas, sendo que nesses casos, se recorreu ao portal Google Street View.

4.3.2 Índice de Vegetação da Diferença Normalizada-NDVI

O NDVI foi gerado para as áreas dos quatro bairros. Posteriormente, com base em uma seleção de acordo com os valores, calculou-se as faixas de discriminação para determinar o que era e o que não era vegetação, de acordo com o intervalo de -1, 0, 1, no qual os valores superiores a 0 demonstraram a presença de vegetação e os valores de 0 a -1 demonstraram a ausência de vegetação.

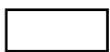
Figura 13 - Diagrama dos processos empregados



Legenda



Resultados de processos realizados



Processos feitos através do software para cada bairro.



Arquivos consultados

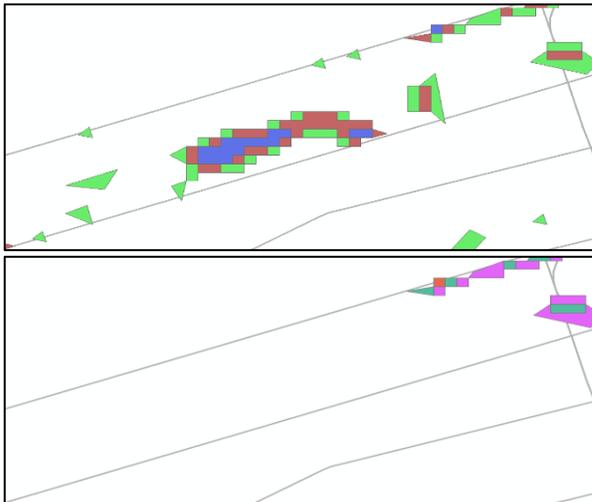
Consequentemente, foi realizada uma classificação, para distinguir as classes vegetação e não vegetação, e após uma reclassificação dos valores de NDVI, para determinar, a partir do que se obteve como vegetação, o que dentro dessa classe era arborização e assim comparar com a informação das árvores mapeadas por meio da metodologia da análise visual.

Neste caso, a camada de vias foi usada, a fim de estabelecer um buffer de influência de 10,0m a partir do centro da via e extrair apenas essa área, uma vez que as árvores ocupavam as calçadas que variavam em largura. Em alguns casos, foi difícil detectar se as mesmas estavam na calçada ou na propriedade, devido à proximidade da árvore e dos muros das residências.

Com os resultados obtidos dentro do buffer, os intervalos fornecidos pelo NDVI constituíram o que era ou não arborização, permanecendo somente a classe arborização. Essa informação, do tipo raster, foi posteriormente convertida em um formato de polígono, utilizando a ferramenta do software AcGis 9.1 que permitiu determinar, por meio de um valor específico do raster, nesse caso, os valores de 1 a 5 correspondentes a cada classe escolhida e ao valor do polígono, a fim de quantificar quantas árvores podiam ser identificadas.

Executou-se uma limpeza de polígonos, pois a conversão gerou alguns excessos e foi calculada a área dos polígonos, sendo retiradas as áreas menores que 1m^2 , em função de que pelo valor de sua área não representavam informação relevante, ou seja, não podiam ser árvores. Por meio de uma seleção de localização, estabeleceu-se uma distância de influência de 10m a partir das árvores obtidas pela análise visual e, posteriormente, os polígonos que não se encontravam dentro da área de influência foram retirados também (Figura 14). Depois disso, os centroides de cada polígono foram criados e comparados com o arquivo digital preexistente para estabelecer a diferença na captura.

Figura 14 - Conversão de pixels para polígonos



Resultado da conversão de raster para polígono de pixels que foram identificados como arborização dentro do buffer elaborado

Resultado da limpeza de polígonos que se referem unicamente a arborização dentro das vias

Fonte: A autora, 2020.

4.3.3 Classificação supervisionada

Antes de iniciar a classificação supervisionada, foi feita uma segmentação da imagem por meio do algoritmo Mean Shift, que funciona agrupando os pixels adjacentes com características espectrais similares (ESRI, 2016). Além disso, foi gerado um arquivo com as assinaturas espectrais das áreas de treinamento as quais serão abordadas, com profundidade, mais adiante. Depois de obter a nova imagem segmentada, e com o arquivo das assinaturas, a efetivação da metodologia foi feita com o auxílio do software Arcgis 9.1, e com o prévio conhecimento do intérprete, quanto aos usos dos solos dos bairros.

Para a escolha das áreas de treinamento, empregou-se uma combinação RGB 341 (R, NIR, G) com a finalidade de ressaltar os objetos de vegetação na imagem. O software gera um arquivo, o qual contém informação sobre todas as classes, o número de camadas, além das estatísticas, como o número de amostras, as matrizes de médias e covariâncias. O profissional precisa fornecer para o software o arquivo antes nomeado, estabelecer por meio de qual método estatístico vai ser efetuada e por último a imagem a classificar.

O algoritmo para estabelecer os limites estatísticos foi máxima verossimilhança. Para a classificação supervisionada foi utilizado um buffer de 10m feito para as vias.

Posteriormente, se fez uma extração da imagem em que só se obteve a área do buffer para fazer a classificação apenas para as vias dos quatro bairros.

Da mesma forma que no procedimento do NDVI, as informações raster obtidas com a classificação supervisionada das vias, deve ser convertida em informação tipo vetor, para delimitação dos polígonos e posterior quantificação. Essa camada obtida deve ser refinada, removendo os polígonos com áreas menores que $1,0\text{m}^2$, com finalidade de depurar a informação não relevante para a pesquisa, além disso estabeleceu-se uma área de influência de $10,0\text{m}$, a partir das árvores disponibilizadas pela metodologia da análise visual. Esse raio de influência foi determinado por meio da visualização do profissional, pois uma vez que, ao empregar a área 1m^2 , ainda permaneciam informações não úteis para a pesquisa. Com os resultados obtidos, continuou-se com o cálculo dos centroides com a finalidade de realizar a comparação com os dados da análise visual.

4.3.4 Classificação não supervisionada

Foi realizada com auxílio do software Arcgis 9.1. Inicialmente, foi gerado um arquivo interno no qual se estabeleceu o número de classes que se desejava classificar com o comportamento das respostas espectrais, com a finalidade de identificar cada uso do solo. O software permitiu realizar a classificação não supervisionada com a ferramenta Iso cluster e máxima verossimilhança e o arquivo resultante foi tipo raster classificado que, por sua vez, continha um arquivo com informações das assinaturas espectrais que poderiam ser utilizadas para futuras classificações com diferentes algoritmos.

Posteriormente, foi realizada a conversão da informação raster a polígono da mesma maneira como foi feita nos procedimentos anteriores. Estabeleceu-se, também, a decisão de retirar os polígonos menores que 1m^2 . Com os resultados obtidos, continuou-se com o cálculo dos centroides com a finalidade de realizar a comparação com os dados da análise visual.

4.3.5 Validação das classificações

Uma vez terminado o procedimento, as classificações foram avaliadas realizando o cálculo da matriz de erro, ferramenta usada para avaliar a acurácia da classificação à realidade. A matriz tem um tamanho de $n \times n$, na qual suas colunas e linhas tinham o mesmo tamanho - as linhas eram a classe de referência e as colunas eram as categorias obtidas por meio da classificação. Segundo Chuvieco (2000),

a diagonal desta matriz expressa o número de pontos de verificação onde a concordância ocorre entre as duas fontes (mapa e realidade) enquanto as margens supõem erros de atribuição. A relação entre o número de pontos atribuídos corretamente e o total expressa a confiabilidade geral do mapa⁹ (CHUVIECO, 2000, p. 389),

O propósito de utilizar este tipo de matriz foi observar o conflito que poderia ocorrer no momento da atribuição de classes na classificação, além da acurácia.

Além da obtenção da matriz de erro foi preciso obter um índice de validade. Para tal fim se empregou o cálculo dos verdadeiros positivos, falsos negativos e falsos positivos, estabelecendo um raio de influência de 5m a partir da localização das árvores mapeadas pela análise visual. Decidiu-se realizá-la dessa forma, pois os pontos que representavam as árvores na metodologia da análise visual foram posicionados no centro da copa das árvores e os pontos obtidos por classificação supervisionada, não supervisionada e NDVI, possivelmente, foram deslocados para os lados e até mesmo para fora da copa das árvores, mas muito próximos a elas.

- Verdadeiros positivos: referiram-se aos dados que o classificador entendeu como árvores verdadeiras e resultaram sendo verdadeiras;

- Falsos positivos: referiram-se ao número das árvores que o classificador entendeu como verdadeiras, mas na realidade não eram;

- Falsos negativos: referiram-se ao número das árvores que o classificador entendeu como negativos e que na realidade eram verdadeiras (BURGOS; MANTEROLA, 2010).

⁹ La diagonal de esta matriz expresa el número de puntos de verificación en donde se produce acuerdo entre las dos fuentes (mapa y realidad) mientras los marginales suponen errores de asignación. La relación entre el número de puntos correctamente asignados y el total expresa la fiabilidad global del mapa.

Os procedimentos empregados podem ser utilizados de acordo com a realidade em estudo, podendo modificar os valores estabelecidos, por exemplo, acrescentar ou diminuir as áreas dos polígonos, usar um valor diferente de buffer para vias, entre outros, mas os resultados ainda irão refletir uma boa acurácia.

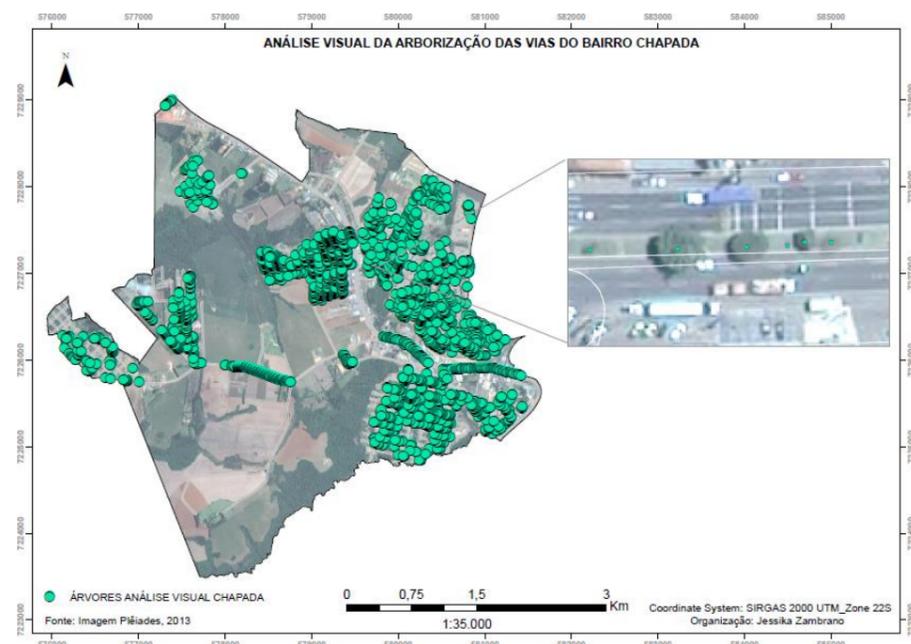
5 DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA ARBORIZAÇÃO DE CALÇADAS NA ÁREA URBANA DE PONTA GROSSA

Esse item aborda a distribuição das árvores localizadas nas calçadas das vias públicas da área urbana de Ponta Grossa, empregando-se as classificações orientadas a pixel e avaliando-as por meio da acurácia e matrizes de erro, sendo estabelecidos os pontos de falsos negativos e falsos positivos para observar se os processos realizados por meio do software geraram informações verdadeiras. Segundo Crispim e Carvalho (2018), no bairro Chapada foram mapeadas 3.101 árvores em 208 vias, sendo que a maior concentração estava localizada no norte e leste do bairro (Figura 15). Na área central, de acordo com as informações disponíveis no LAESA e com inventário feito em campo, foram 808 árvores localizadas em 85 vias e a maior concentração apresentou-se na porção Norte, mas as árvores restantes apresentaram uma distribuição uniforme (Figura 16). Para o bairro Boa Vista, que também contou com inventário arbóreo feito em campo, foram 2900 árvores encontrados em 128 vias, sendo que a maior concentração foi detectada na porção noroeste (Figura 17). O bairro Oficinas contou com 1234 árvores em 127 vias com uma distribuição uniforme (Figura 18).

5.1 APLICAÇÃO DO NDVI

Para a obtenção do NDVI do bairro Chapada, o mesmo foi extraído do NDVI total da área urbana, (Figura 19), a fim de visualizar melhor as classes vegetação e não vegetação, presentes no bairro. Os valores do NDVI foram distribuídos entre as seguintes classes: -0,57 a 0,13 área Urbanizada; 0,14 a 0,25 área Descoberta; 0,26 a 0,36 pastagem; 0,37 a 0,49 silvicultura; 0,5 a 0,61 campo e 0,62 a 0,96 área florestal. As classes foram escolhidas em concordância com o Manual Técnico de Uso da Terra (IBGE, 2006). Posteriormente, se extraíram os valores entre -0,57 a 0,13, no qual se observou pouca presença de vegetação, mesmo esses últimos valores sendo positivos. O desvio padrão médio foi de 0,21 e a média foi de 0,4, o que significa que os dados tiveram variabilidade significativa, portanto uma homogeneidade entre os pixels não foi facilmente encontrada.

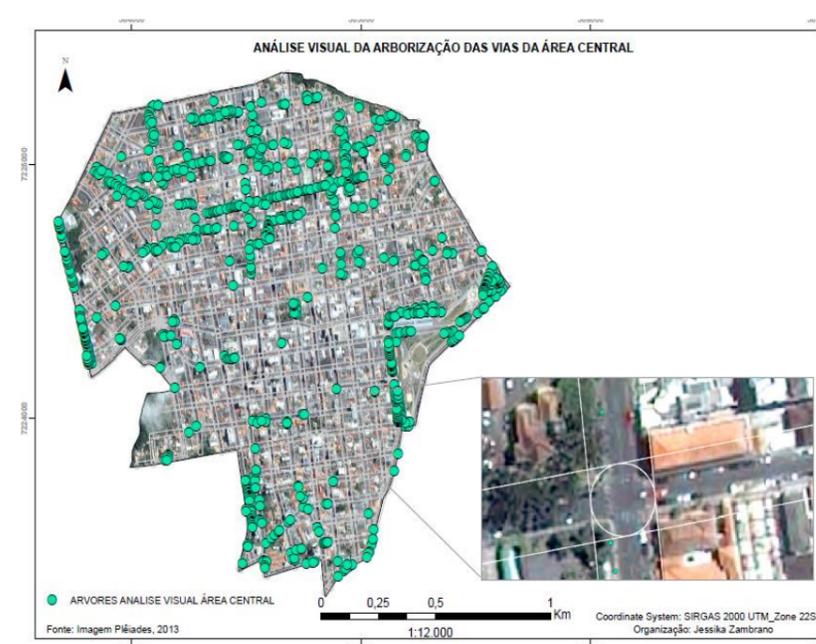
Figura 15 - Análise visual da arborização do bairro Chapada



Fonte: Crispim; Carvalho, 2018.

Organização A autora

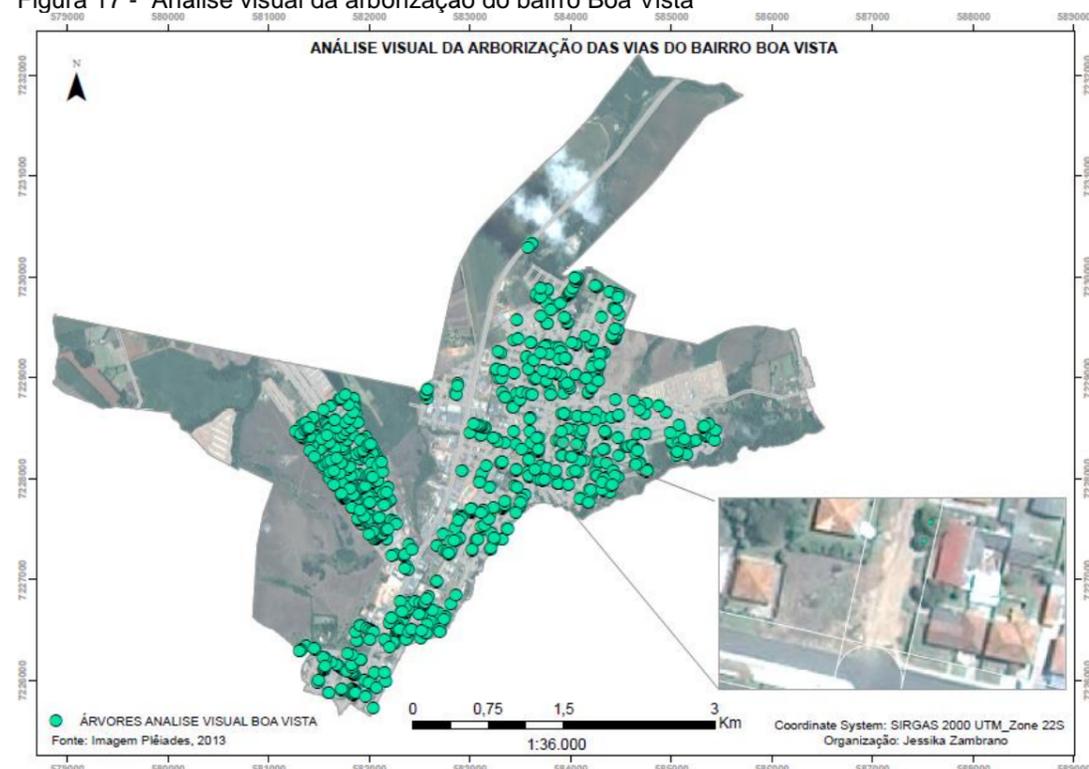
Figura 16 - Análises visual da arborização da Área Central



Fonte: LAESA, 2018.

Organização A autora.

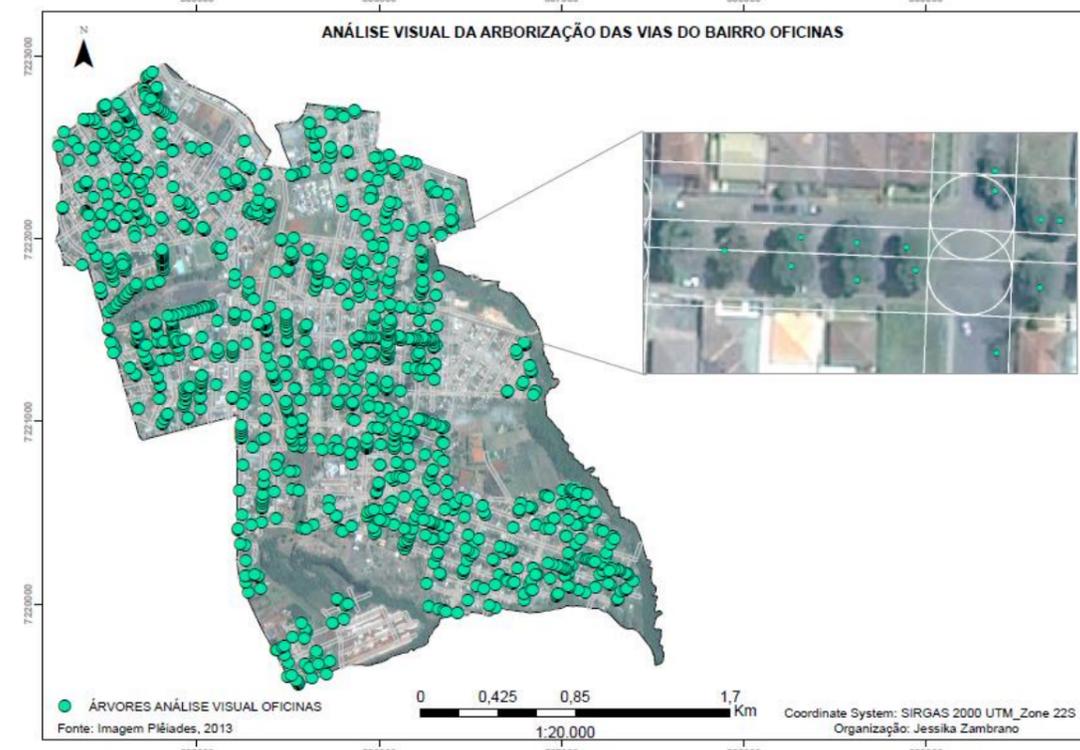
Figura 17 - Análise visual da arborização do bairro Boa Vista



Fonte: LAESA, 2018

Organização A autora.

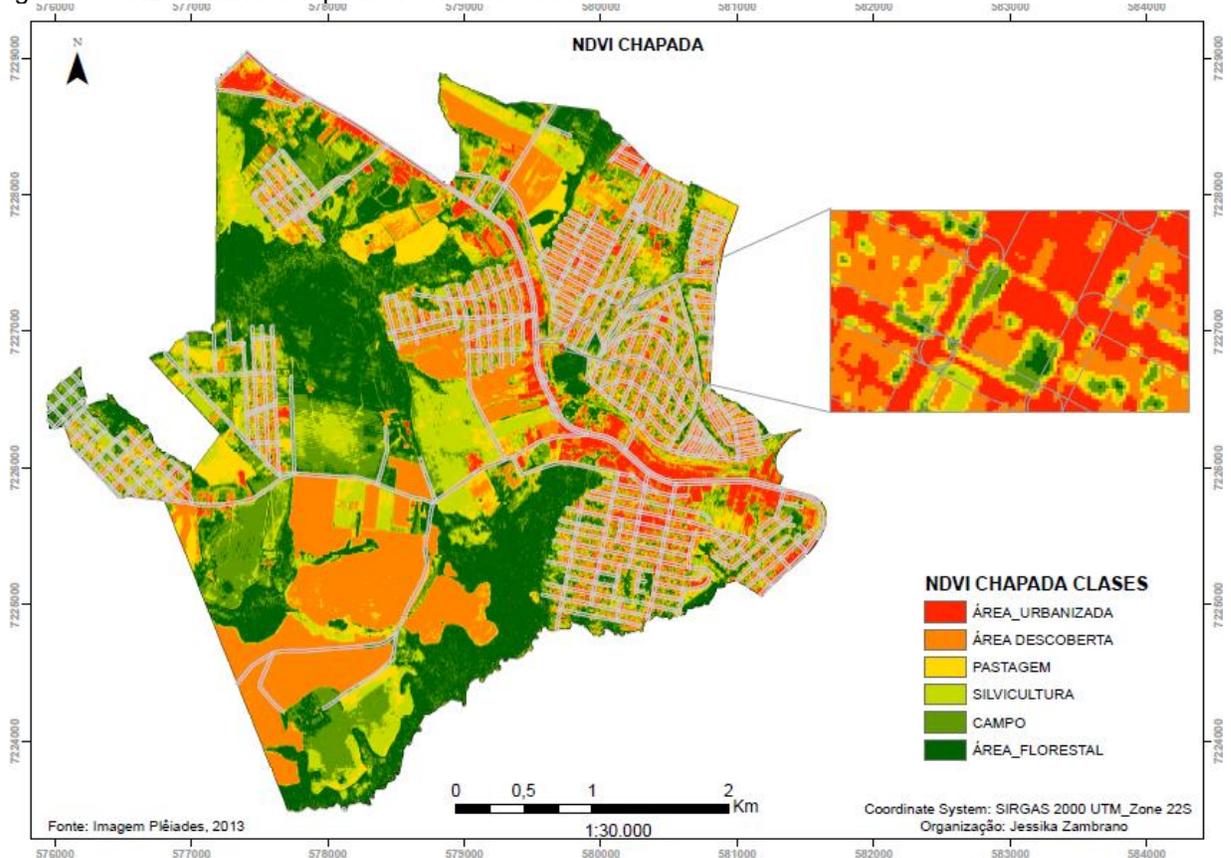
Figura 18 - Análise visual da arborização do bairro Oficinas



Fonte: LAESA, 2018.

Organização A autora.

Figura 19 - NDVI bairro Chapada- Ponta Grossa-PR



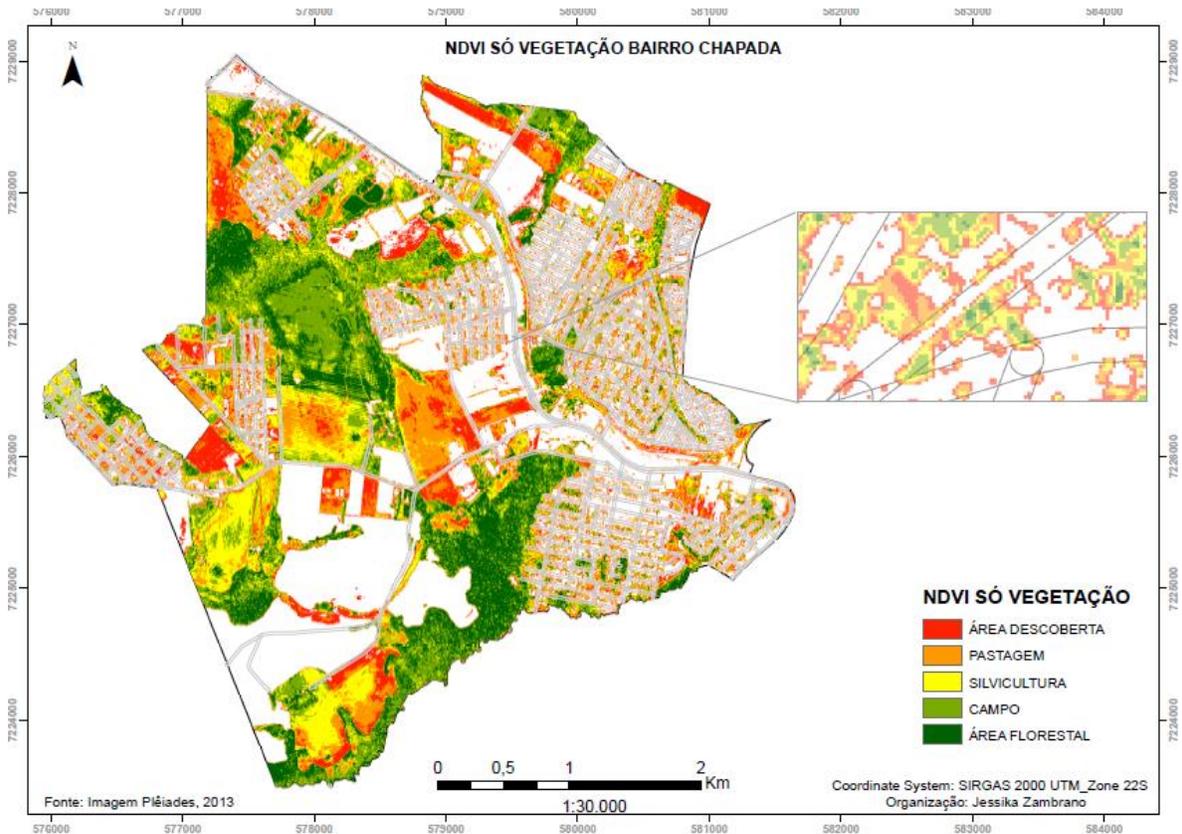
Fonte: A autora, 2019

O resultado foi reclassificado em 5 classes em que havia presença de vegetação. Conseqüentemente, a cada intervalo do NDVI foram atribuídas as seguintes classes (Figura 20):

- Área descoberta: intervalo 0,14 a 0,25;
- Pastagem: intervalo 0,26 a 0,36;
- Silvicultura: intervalo 0,37 a 0,49;
- Campo: intervalo 0,5 a 0,61;
- Área Floresta: intervalos 0,62 a 0,96.

O próximo passo foi aplicar o buffer de 10,0m a partir do centro da via. A distância foi escolhida por meio de testes, sendo o primeiro teste de 5,0m, onde observou-se que a maioria das árvores obtidas pela análise visual não estavam localizadas dentro do buffer. O segundo teste foi com o buffer de 8,0m, onde já incluía a maioria das árvores, mesmo assim ainda não abrangiam todas.

Figura 20 - Extração da não vegetação no Bairro Chapada



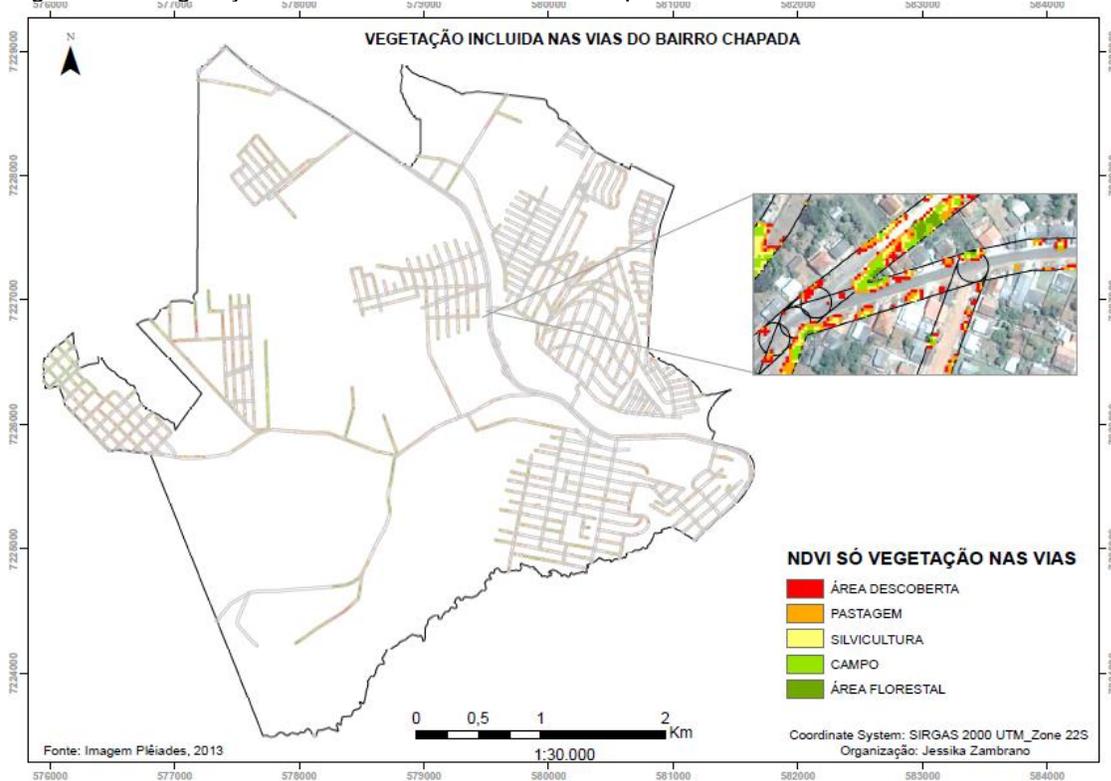
Fonte: A autora, 2019

Um buffer de 10m foi a distância conveniente, já que mesmo que não contendo todas as árvores, a maioria ficou dentro dele e, fazer um teste com uma distância maior não era conveniente, porque a área de influência poderia conter informação extra e resultar em dados errados (Figura 21). O limite do buffer excluiu as áreas de vegetação que não estão inseridas.

Para obter só os intervalos que continham classes em que se podiam identificar árvores foram selecionadas as três últimas classes, isto é, Silvicultura, Campo e Área Florestal. O NDVI contém informação do tipo raster e para fazer a contagem das árvores a informação deve ser do tipo vetor. Para isso, o software permite a conversão, por meio da ferramenta, “converter raster to polygon”.

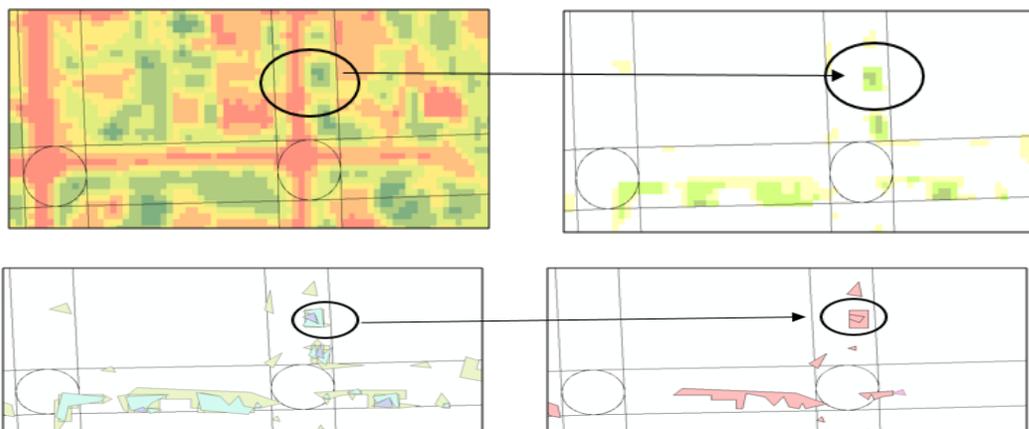
A forma de refinar a informação foi por meio do cálculo das áreas, retirando as menores que 1 m² e realizando uma conferência pela área da imagem, utilizando a análise visual (Figura 22) para depois calcular seu centroide e obter as árvores.

Figura 21 - Vegetação incluída nas vias - Bairro Chapada



Fonte: A autora, 2019.

Figura 22 - Ampliação da região mostrando a retirada dos polígonos extras



Fonte: A autora, 2020

A partir dos resultados anteriores, comparou-se a proximidade entre as árvores extraídas do NDVI e as obtidas pela análise visual, sendo que para o bairro Chapada os resultados foram de 1680 árvores. A resolução espacial não era a mesma da imagem pancromática, pois o NDVI foi calculado com as bandas multiespectrais individualmente,

as quais tem como resolução espacial 2m. Decidiu-se fazer a comparação com o método NDVI, mesmo sabendo que as resoluções de mapeamento espacial não eram as mesmas, pois o objetivo era conhecer a contagem das árvores por diferentes métodos. Torna-se evidente que a diferença na obtenção de números nas classificações se comparadas ao NDVI, este último receberá mapeamentos muito baixos.

O mapeamento com a aplicação do cálculo do NDVI correspondeu a 56%, ou seja, a metade das árvores obtidas pela análise visual que foram 3101 árvores. Na Figura 23 pode-se observar o mapeamento empregando o cálculo do NDVI.

A fim de ter a certeza sobre os resultados obtidos, empregou-se uma matriz de erro (Tabela 1) feita para o NDVI do bairro, procurando conhecer a acurácia da classificação feita, tendo em mente que o NDVI não era um classificador. Os valores destacados indicaram as previsões corretas, ou seja, as classes avaliadas por meio do cálculo do NDVI, em que foi obtida uma acurácia total de 77%. Para obter essa matriz, 600 pontos de treinamento foram estabelecidos, divididos em 100 pontos por classe. Os pontos foram obtidos a partir da imagem fusionada, ou seja, os pontos retirados da imagem constituíram os pontos reais no solo. Como resultado, a classe Área Urbanizada obteve uma acurácia de 62,40% e a classe Campo obteve uma acurácia de 88,54%, essa foi uma das classes com relevância para a contagem das árvores.

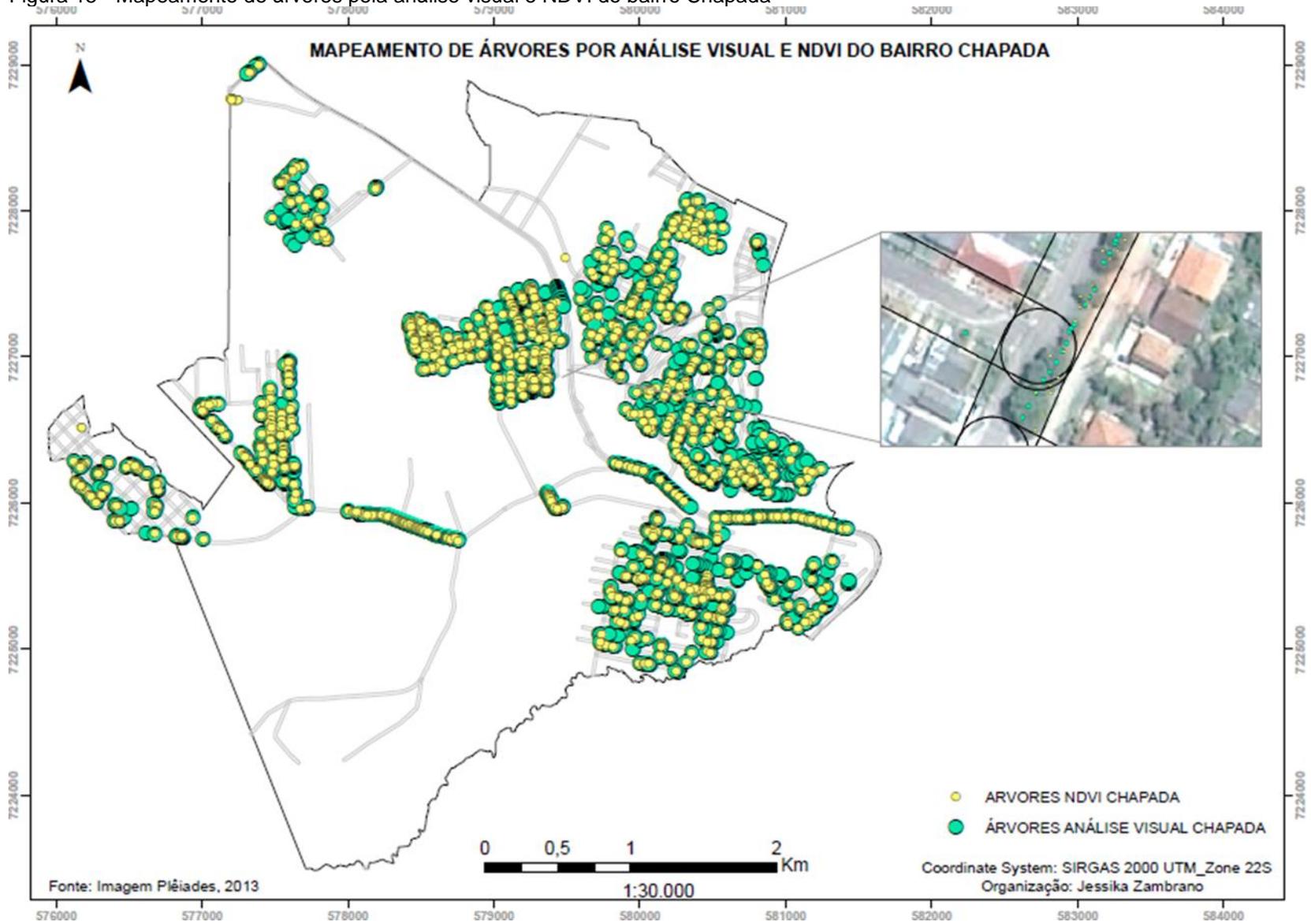
Tabela 1 - Matriz de erro NDVI Bairro Chapada

CLASS_NAME	PREDICT	ÁREA URBANIZADA	ÁREA DESCOBERTA	PASTAGEM	SILVICULTURA	CAMPO	ÁREA DESCOBERTA	PERCENT	PREDICTIONS
ÁREA URBANIZADA	1	78	15	10	22	0	0	62,40%	125
ÁREA DESCOBERTA	2	21	84	7	11	0	0	68,29%	123
PASTAGEM	3	1	1	63	8	0	0	86,30%	73
SILVICULTURA	4	0	0	18	58	3	1	72,50%	80
CAMPO	5	0	0	2	1	85	8	88,54%	96
ÁREA FLORESTAL	6	0	0	0	0	12	91	88,35%	103
	PERCENT	78	84	63,00	58,00	85,00	91	77%	600
	Count Truth	100	100	100	100	100	100		

Fonte: A autora, 2019.

O índice Kappa foi de 0,72, por conseguinte, obteve-se uma concordância muito boa, mas deve-se considerar que o NDVI não é uma classificação, mas simplesmente um índice numérico que foi utilizado para fazer uma seleção da vegetação, o que permitiu destacar a arborização encontrada no bairro Chapada. Vale esclarecer que essa matriz foi feita de maneira geral, ou seja, para todo o bairro.

Figura 15 - Mapeamento de árvores pela análise visual e NDVI do bairro Chapada



Fonte: A autora, 2020

Em seguida, foi elaborada a matriz de erro focada na nova classificação dentro do buffer de vias estabelecido. O resultado produziu uma acurácia de 61,60%, destacando-se as classes Silvicultura, Árvores e Área Florestal, uma vez que foram as classes que permitiram o mapeamento das árvores. O índice Kappa de 0,43 indicou uma boa concordância (Tabela 2).

Tabela 2 - Matriz de erro NDVI para buffer de vias

CLASS NAME	PREDICT	ÁREA DESCOBERTA	PASTAGEM	SILVICULTURA	ÁRVORES	ÁREA FLORESTAL	PERCENT	PREDICTIOS
ÁREA DESCOBERTA	1	22	18	0	0	0	55%	40
PASTAGEM	2	24	16	8	0	0	33,33%	48
SILVICULTURA	3	4	10	37	0	0	72,55%	51
ÁRVORES	4	0	6	3	34	5	70,83%	48
ÁREA FLORESTAL	5	0	0	2	16	45	71,43%	63
	PERCENT	48	32	74	68	90	61,60%	300
	Count Truth	50	50	50	50	50	50	

Fonte: A autora, 2019

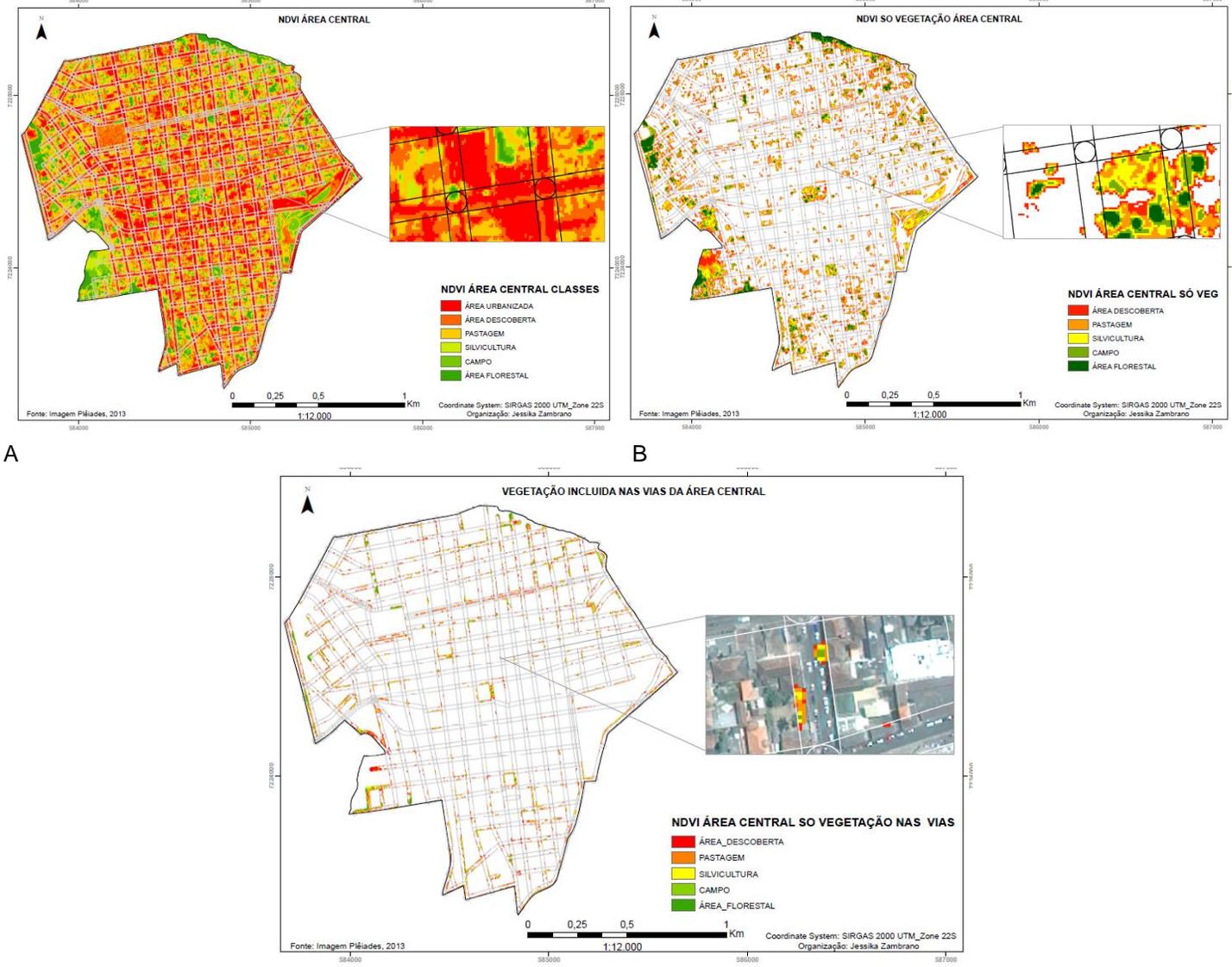
O processo anterior foi replicado para a área central, conforme demonstrado na Figura 24 (A, B e C).

Para a área Central, o cálculo do NDVI foi realizado da mesma forma que para o bairro Chapada. No entanto, no caso da área central muda totalmente o seu contexto por ser uma área urbanizada, que não contempla, frequentemente, as classes pastagem e silvicultura. Por esse motivo, sua identificação foi difícil. Além disso, o desvio padrão foi de 0,18 igual a média, o que indica que os dados não apresentaram uma distribuição normal, pois os dados tiveram um comportamento disperso, ou seja, as classes não apresentaram uma separabilidade alta, por conseguinte a identificação teve dificuldade.

Em vista disso, seu comportamento é homogêneo, o que significa que os ND têm valores similares, dificultando reconhecer as diferentes classes. Resultou um número de 488 árvores, ou seja, 60,9% se comparado com as árvores que foram mapeadas pela metodologia da análise visual, a qual mapeou 801 árvores. Na figura 24 pode-se observar o mapeamento empregando o cálculo do NDVI.

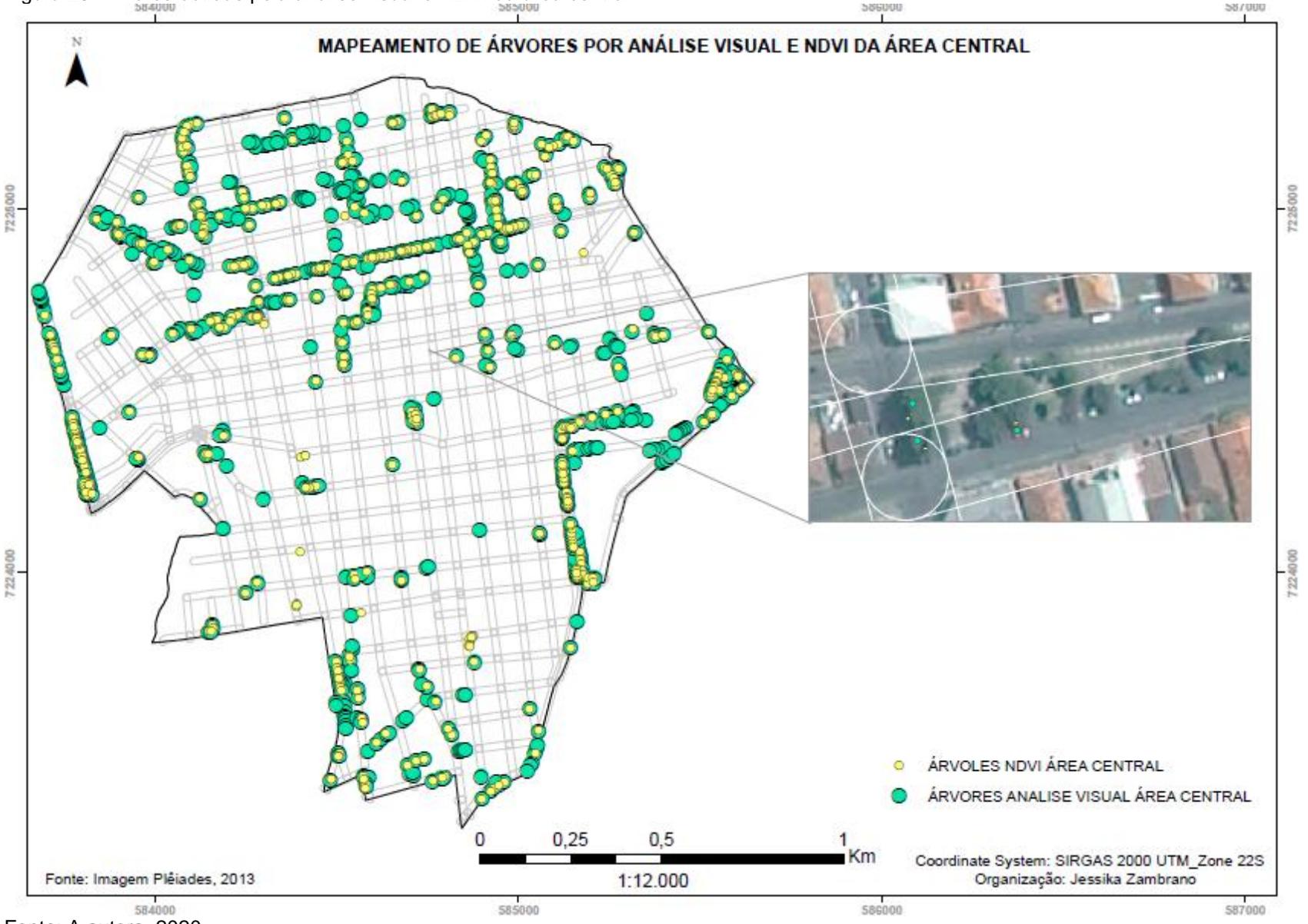
Para Área central, por meio da matriz de erro, obteve uma acurácia de 60,31%. Para obter essa matriz, 600 pontos de treinamento foram selecionados, divididos em 100 para cada classe. A classe Pastagem foi a classe que registrou a percentagem mais baixa, 36,56%.

Figura 24 - Área Central método NDVI



Fonte: A autora, 2019.

Figura 25- Árvores obtidas pela análise visual e NDVI da área central



Fonte: A autora, 2020.

A matriz permitiu observar que as classes de maior importância para a pesquisa foram Campo 52,88% e Área Florestal 60,31%, com índice Kappa de 0,43, indicando o mapeamento apresentou uma boa concordância (Tabela 3).

Tabela 3 - Matriz de erro NDVI área central

CLASS_NAME	PREDICT	ÁREA URBANIZADA	ÁREA DESCOBERTA	PASTAGEM	SILVICULTURA	CAMPO	ÁREAFLORESTAL	PERCENT	PREDICTIONS
ÁREA URBANIZADA	1	37	0	0	0	0	0	100%	37
ÁREA DESCOBERTA	2	19	23	3	9	0	0	42,59%	54
PASTAGEM	3	44	73	68	1	0	0	36,56%	186
SILVICULTURA	4	0	4	28	53	1	2	60,23%	88
CAMPO	5	0	0	1	29	55	19	52,88%	104
ÁREAFLORESTAL	6	0	0	0	8	44	79	60,31%	131
	PERCENT	37,00%	23,00%	68,00%	53,00%	55,00%	79,00%	52,50%	600
	Count Truth	100	100	100	100	100	100		

Fonte: A autora, 2019

A matriz de erro para as vias não resultou num intervalo aceitável, já que o índice Kappa foi de 0,39, indicando uma concordância débil. No entanto, a classe Campo e Área florestal apresentaram uma percentagem de 70,37% e 100%, respectivamente, de concordância com os pontos verdadeiros, indicando que foi possível fazer o mapeamento. A classe pastagem, portanto, pode-se inferir a baixa semelhança por ser uma área bastante urbanizada, local em que essa classe não foi facilmente identificada (Tabela 4)

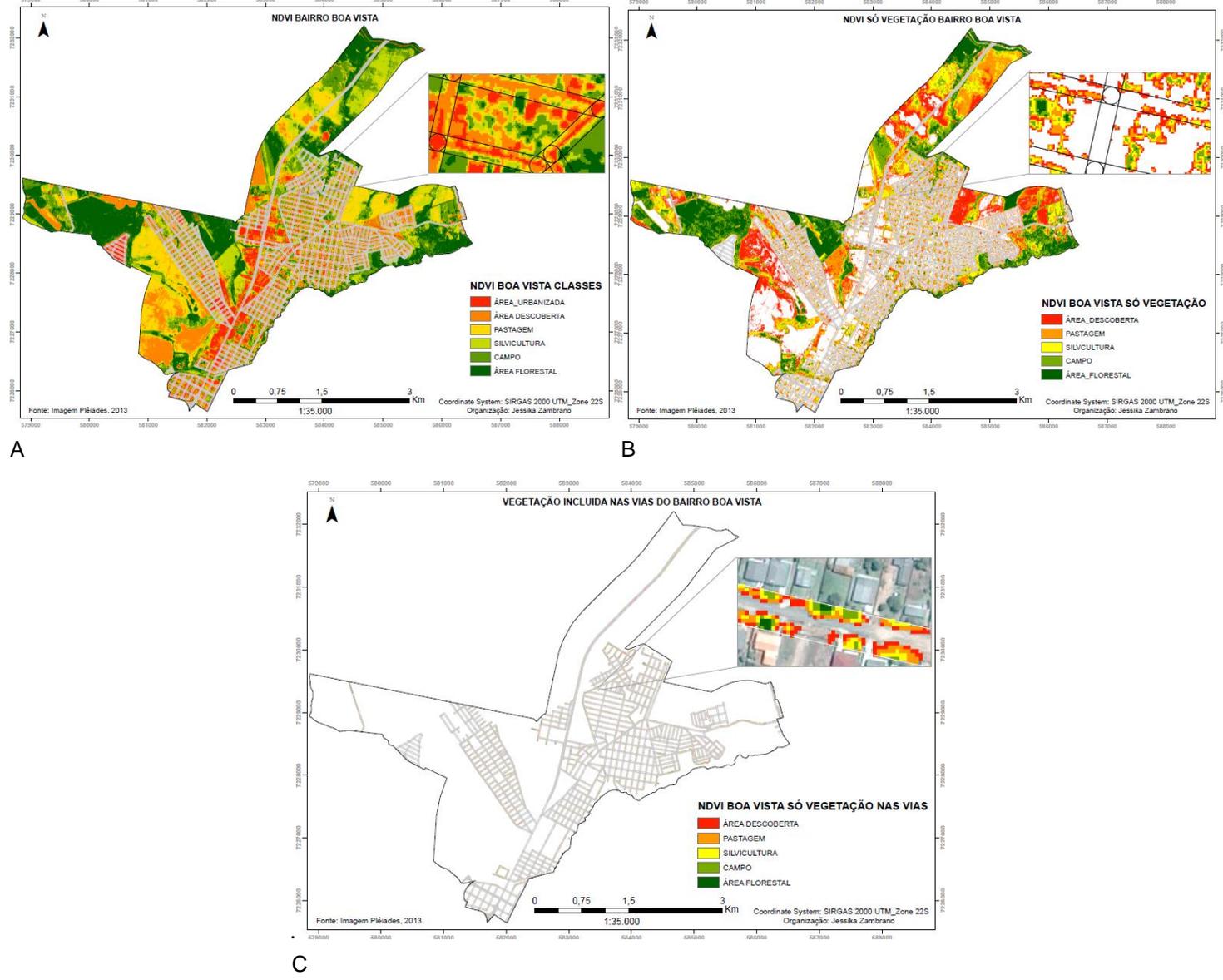
Tabela 4 - Matriz de erro NDVI das vias na área central

CLASS_NAME	PREDICT	SILVICULTURA	PASTAGEM	ÁREA DESCOBERTA	CAMPO	FLORESTA ÁRVORES	PERCENT	PREDICTIONS
SILVICULTURA	1	27	15	19	0	0	44,26%	61
PASTAGEM	2	23	25	9	0	2	42,37%	59
ÁREA DESCOBERTA	3	0	8	22	12	4	47,83%	46
CAMPO	4	0	2	0	38	14	70,37%	54
FLORESTA ÁRVORES	5	0	0	0	0	30	100%	30
	PERCENT	46	50	44	76	60	56,80%	300
	Count Truth	50	50	50	50	50	50	

Fonte: A autora, 2019

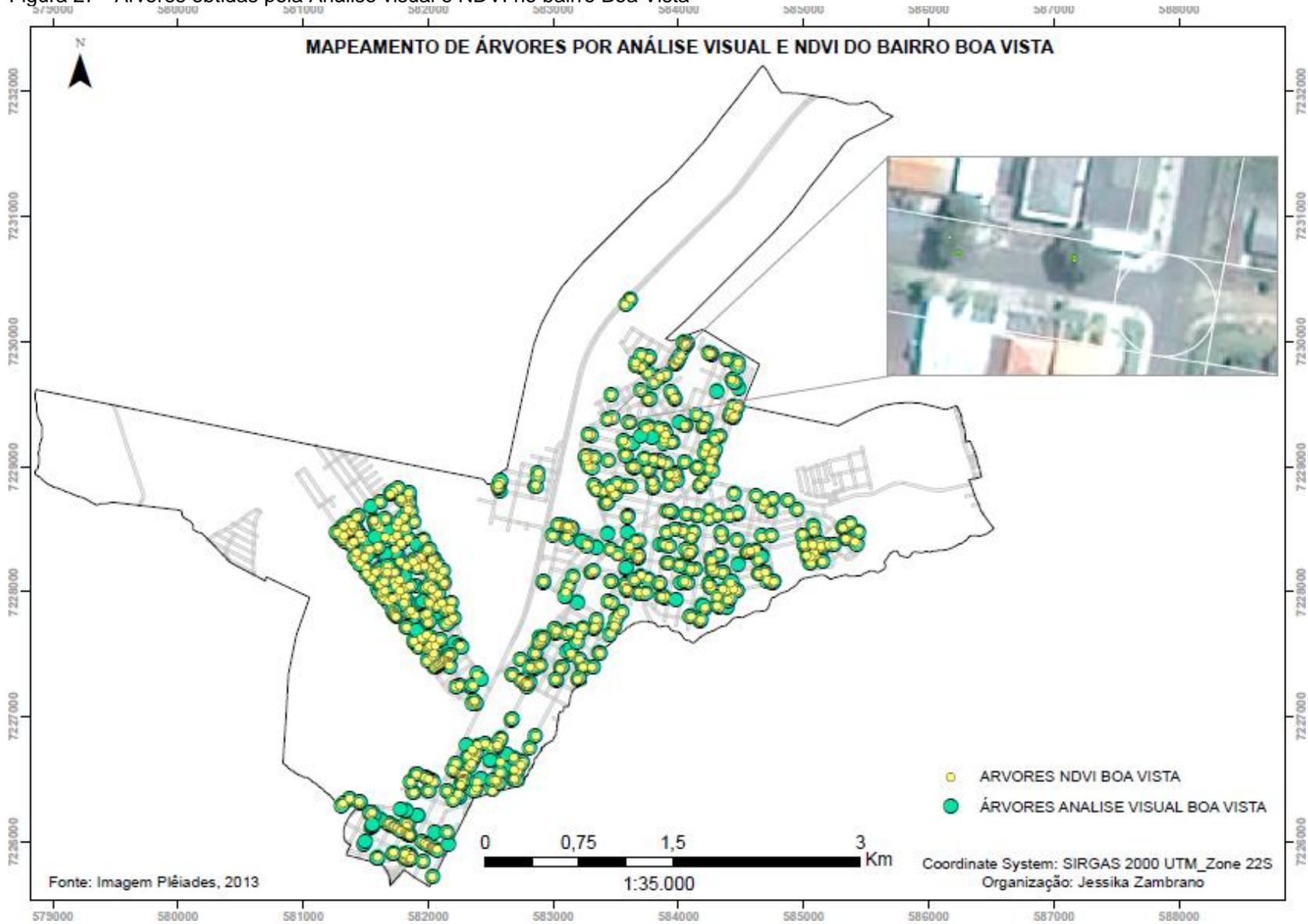
O NDVI do bairro Boa Vista permitiu reconhecer com facilidade as classes estabelecidas em função do comportamento heterogêneo dos níveis digitais (Figura 26 A, B, C). Resultou um número de 809 árvores, ou seja, 83,83% se comparado com as árvores que foram mapeadas pela metodologia da análise visual, a qual mapeou 965 árvores. Na figura 26 pode-se observar o mapeamento empregando o cálculo do NDVI.

Figura 16 - Bairro Boa Vista Método NDVI



Fonte: A autora, 2019

Figura 27 - Árvores obtidas pela Análise visual e NDVI no bairro Boa Vista



Fonte: A autora, 2020.

O bairro Boa Vista registrou uma matriz de erro com uma acurácia de 76,67%. A classe Pastagem foi a classe que registrou a percentagem mais alta, 95%. As classes de maior importância para a pesquisa foram: Campo 83,96% e área Florestal 92,55%, com índice Kappa de 0,72, indicando que o mapeamento apresentou uma concordância muito boa (Tabela 5).

Tabela 5 - Matriz de erro NDVI no Bairro Boa Vista

CLASSNAME	PREDICT	ÁREA URBANIZADA	ÁREA DESCOBERTA	PASTAGEM	SILVICULTURA	CAMPO	ÁREA FLORESTAL	PERCENT	PREDICTIONS
ÁREA URBANIZADA	1	48	52	0	0	0	0	48%	100
ÁREA DESCOBERTA	2	49	47	3	0	0	0	47,47%	99
PASTAGEM	3	3	1	95	1	0	0	95%	100
SILVICULTURA	4	0	0	3	94	2	2	93,07%	101
CAMPO	5	0	0	0	6	89	11	83,96%	106
ÁREA FLORESTAL	6	0	0	0	0	7	87	92,55%	94
	PERCENT	48	47	94,06	93,07	90,82	87	76,67%	600
	Count Truth	100	100	101	101	98	100		

Fonte: A autora, 2020

Nas vias, o índice Kappa foi de 0,68 indicando uma concordância muito boa. A classe campo e pastagem foram as classes com percentagem de concordância mais baixa, mas a acurácia de 74,62% de predições dos pontos verdadeiros permitiu fazer o mapeamento (Tabela 6).

Tabela 6- Matriz de erro das vias no bairro Boa Vista

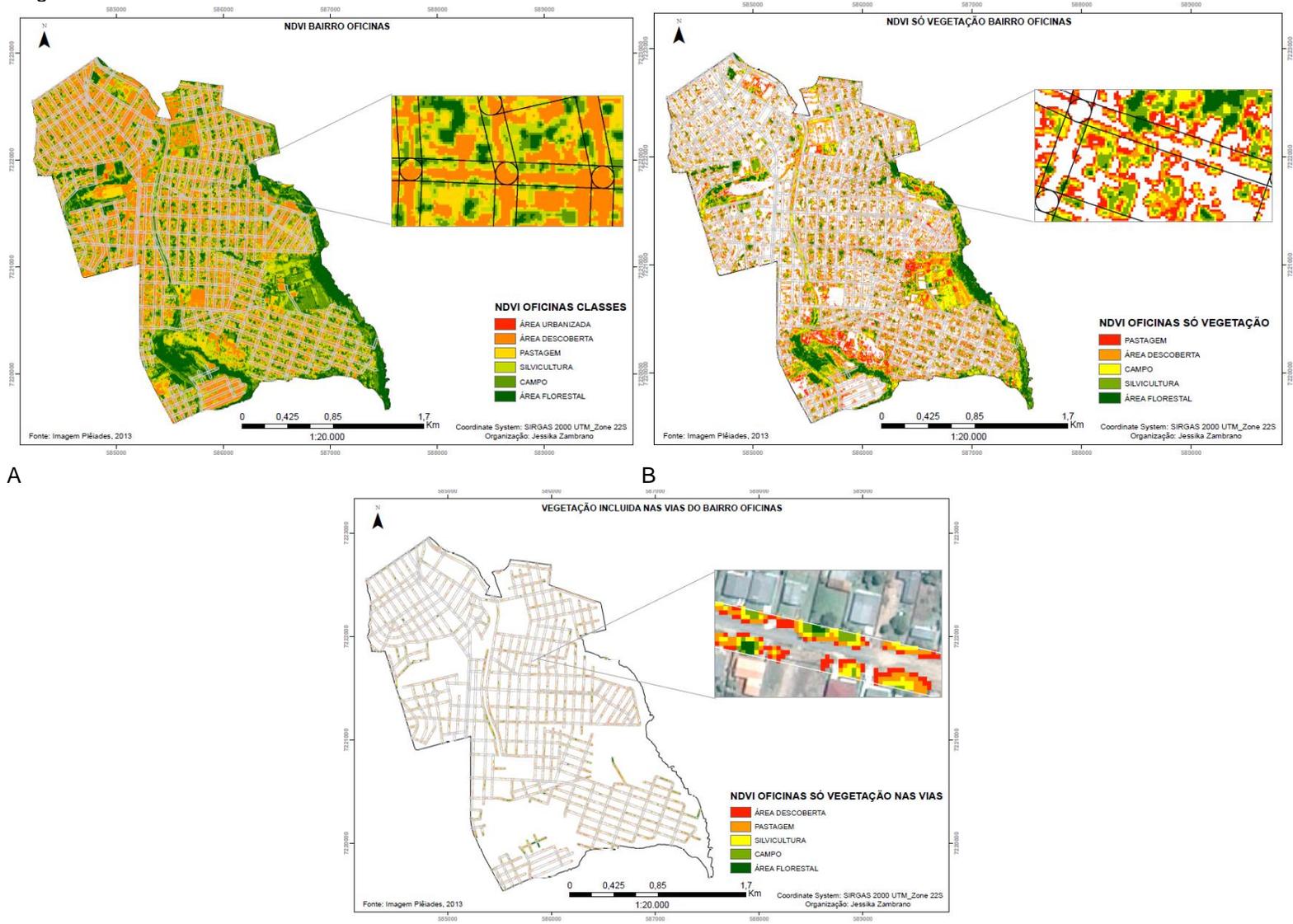
CLASNAME	PREDICT	ÁREA DESCOBERTA	PASTAGEM	SILVICULTURA	CAMPO	ÁREA FLORESTAL	PERCENT	PREDECTIONS
ÁREA DESCOBERTA	1	23	0	0	0	0	100%	23
PASTAGEM	2	24	44	0	1	0	63,77%	69
SILVICULTURA	3	3	6	39	5	0	73,58%	53
CAMPO	4	0	0	11	37	9	64,91%	57
ÁREA FLORESTAL	5	0	0	0	7	51	87,93%	58
							74,62%	
	PERCENT	46	88	78	74	85		260
	Count Truth	50	50	50	50	60		

Fonte: A autora, 2020

Para o bairro Oficinas o mapeamento empregando o cálculo do NDVI (Figura 28 A, B, C), registrou uma variabilidade de dados segundo o desvio padrão de 0,19 e uma média de 0,30. Uma das mais altas inconsistências deu-se pela similitude dos valores digitais das classes Pastagem e alguns telhados da classe Área Urbana.

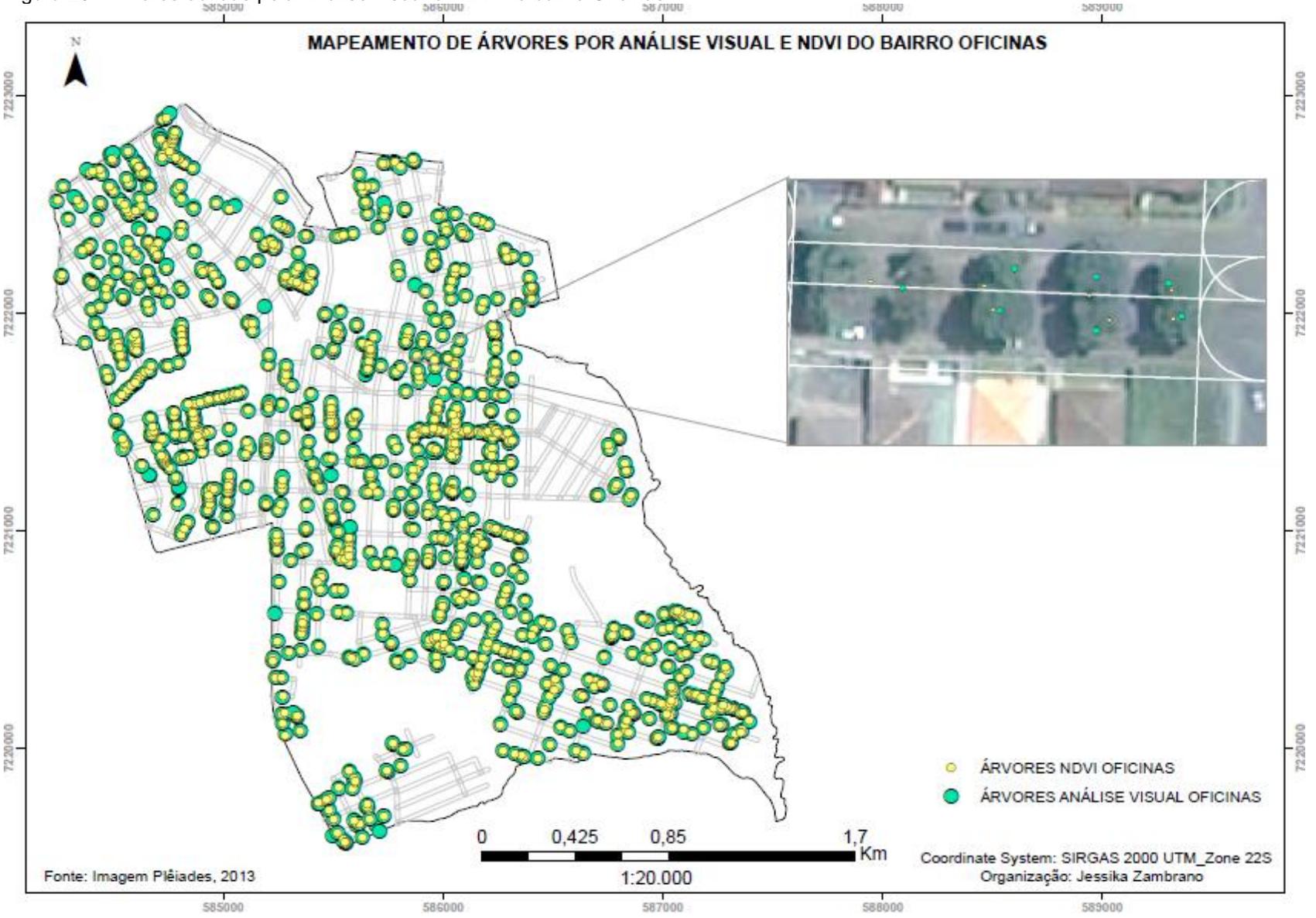
O resultado foi 1192 árvores, ou seja, 96,59%, se comparado com as árvores que foram mapeadas pela metodologia da análise visual, a qual mapeou 1234 árvores (Figura 29).

Figura 28 - Bairro Oficinas Método NDVI



Fonte: A autora, 2020.

Figura 29 - Árvores obtidas pela Análise visual e NDVI no bairro Oficinas



Fonte: A autora, 2020

A acurácia do NDVI obtida para o bairro Oficinas foi de 63,34% (Tabela 7) e o índice Kappa foi de 0,56, indicando uma boa concordância. Entre as classes de interesse para a pesquisa, Campo teve uma concordância com os pontos verdadeiros de 81,82% e a classe Área Florestal 85,47%, o que indicava que o mapeamento era possível.

Tabela 7 - Matriz de erro NDVI no Bairro Oficinas

CLASS_NAME	PREDICT	ÁREA_URBANIZADA	ÁREA_DESCOBERTA	PASTAGEM	SILVICULTURA	CAMPO	ÁREA_FLORESTAL	PERCENT	PREDICTIONS
ÁREA_URBANIZADA	1	22	0	0	0	0	0	100%	22
ÁREA_DESCOBERTA	2	37	62	2	0	0	0	61,39%	101
PASTAGEM	3	58	38	70	31	0	0	35,53%	197
SILVICULTURA	4	3	0	22	59	2	0	68,60%	86
CAMPO	5	2	0	6	10	81	0	81,82%	99
ÁREA_FLORESTAL	6	0	0	0	0	17	100	85,47%	117
	PERCENT	18	62	70	59	81	100	63,34%	622
	Count Truth	122	100	100	100	100	100		

Fonte: A autora, 2020

Nas vias, a concordância foi muito boa, uma vez que o índice Kappa foi de 0,64. A percentagem de concordância das classes Campo foi de 67,31% de predição dos pontos verdadeiros e Área Florestal de 74,47%, indicando que foi possível obter resultados satisfatórios (Tabela 8).

Tabela 8 - Matriz de erro das vias no bairro Oficinas

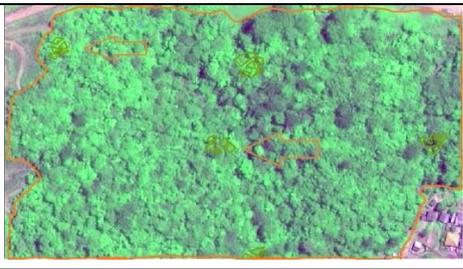
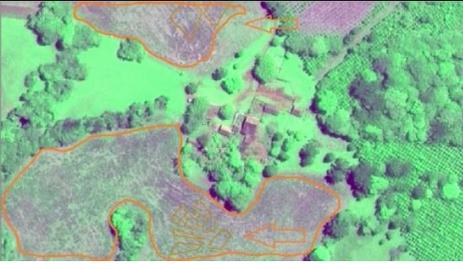
CLASS_NAME	PREDICT	ÁREA_DESCOBERTA	PASTAGEM	SILVICULTURA	CAMPO	ÁREA_FLORESTAL	PERCENT	PREDICTIONS
ÁREA_DESCOBERTA	1	32	7	0	2	0	78%	41
PASTAGEM	2	18	42	2	3	0	64,62%	65
SILVICULTURA	3	0	1	34	5	5	75,56%	45
CAMPO	4	0	0	7	35	10	67,31%	52
ÁREA_FLORESTAL	5	0	0	7	5	35	74,47%	47
	PERCENT	36	84	68	70	70	71,20%	250
	Count Truth	50	50	50	50	50	50	

Fonte: A autora, 2020

5.2 COMPORTAMENTO DAS BANDAS ESPECTRAIS PARA AS CLASSIFICAÇÕES

Para realizar a classificação não supervisionada e supervisionada extraiu-se uma máscara da imagem Pléiades com o perímetro de cada bairro. Foi realizada uma composição de falsa cor (no canal vermelho está a banda 3, no canal verde está a banda 4, e a banda 1 no canal azul) para destacar a vegetação. O processo foi realizado por meio da seleção de 50 áreas de treinamento para cada uma das 6 classes já utilizadas no cálculo do NDVI (Quadro 7).

Quadro 7 – Classes de uso e forma de interpretação na imagem

Classe	Descrição	Interpretação
Pastagem	Catalogada como uma área destinada ao pastoreio do gado, algumas vezes apresenta plantio de forragens	
Área urbanizada	Segundo o manual técnico de uso da terra, pertence à classe áreas antrópicas não agrícolas. Caracteriza-se pela predominância de edificações, vias e ecomplexos industriais	
Área Florestal	Pertencente a classe áreas de vegetação natural. São as áreas em que predomina o porte de árvores de 5m, incluindo aglomeração de árvores. Fazem parte as zonas descontínuas de árvores, chamada área florestal aberta, de acordo com o manual técnico de uso da terra	
Silvicultura	Segundo o manual técnico de uso da terra, pertence à classe áreas antrópicas agrícolas. Áreas destinadas à composição e aos cultivos de áreas florestais usadas como matéria prima para as indústrias madeiras	
Área Descoberta	Pertencente à classe outras áreas. São áreas de praias, pode ter dunas com vegetação e áreas de extração sem cobertura de vegetação	
Campo	Segundo o manual técnico de uso da terra, pertence a classe de Área de vegetação alteradas, ate formações florestais espontaneas e secundarias, arbustivas.	

Fonte: A autora, 2020

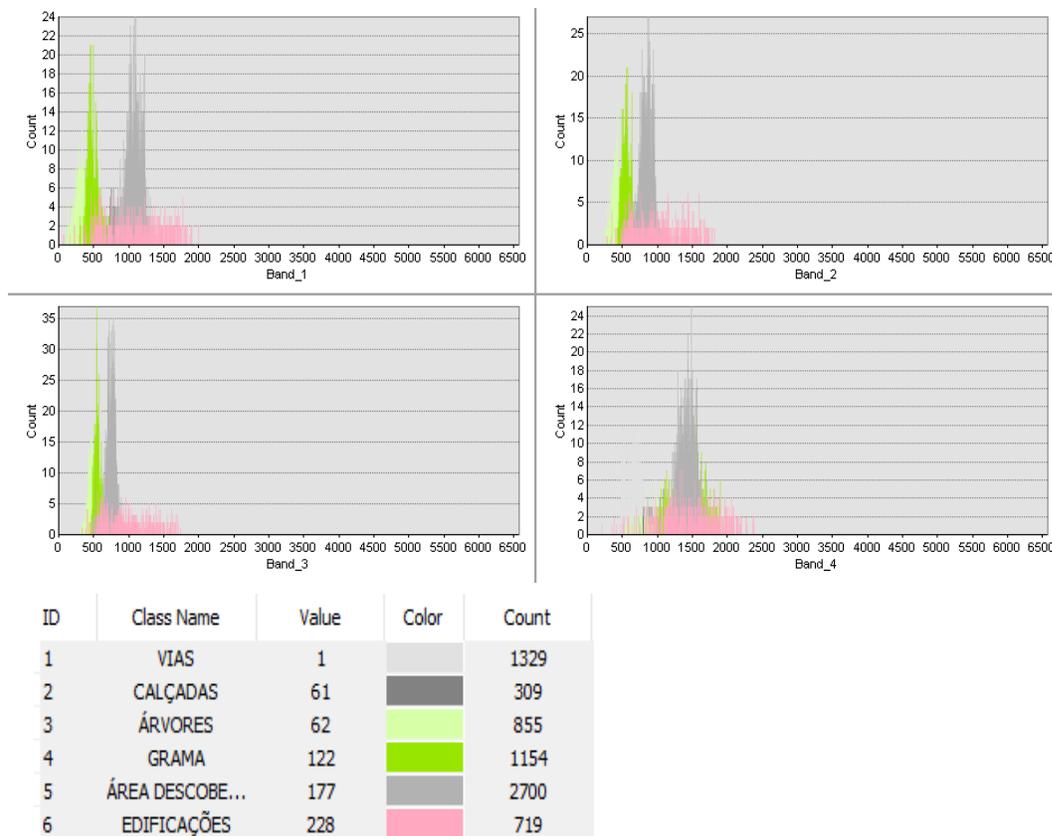
Além disso, as áreas de treinamento permitiram a visualização dos histogramas e diagramas de dispersão, podendo-se observar de que maneira as classes tinham a separabilidade entre elas.

Tomando o mesmo número de classes (6) das áreas de treinamento, mas definidas de acordo com as classes presentes no buffer de vias de 10,0m, foram feitas novas classificações, uma vez que ao utilizar o buffer, esse delimita a informação. As classes utilizadas foram as vias, calçadas, árvores, a grama, área descoberta e edificações.

O histograma e os diagramas de dispersão foram obtidos por meio de áreas de treinamento, feitos da mesma maneira como escolheram-se as áreas de treinamento para a classificação feita para todo bairro tendo presente as novas classes (Quadro 8).

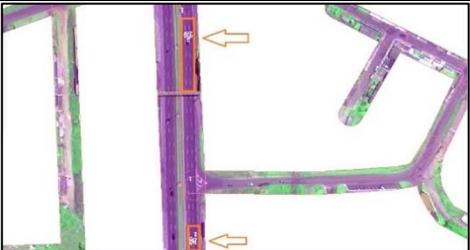
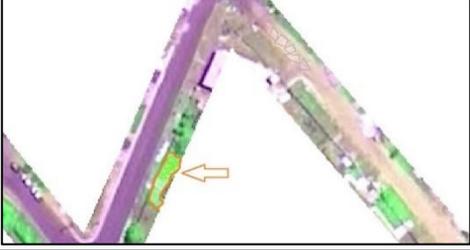
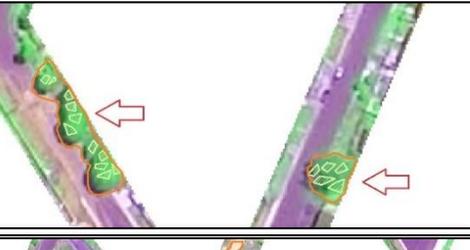
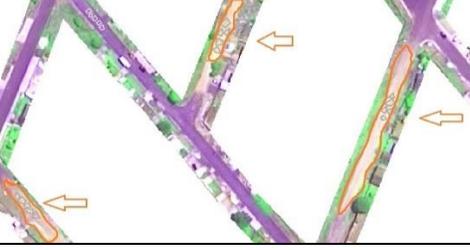
Para o buffer de vias, foi possível observar uma baixa separabilidade das classes, o que poderia levar a uma certa dificuldade na classificação (Figura 30).

Figura 30 – Histograma das classes das vias



Fonte: A autora, 2020

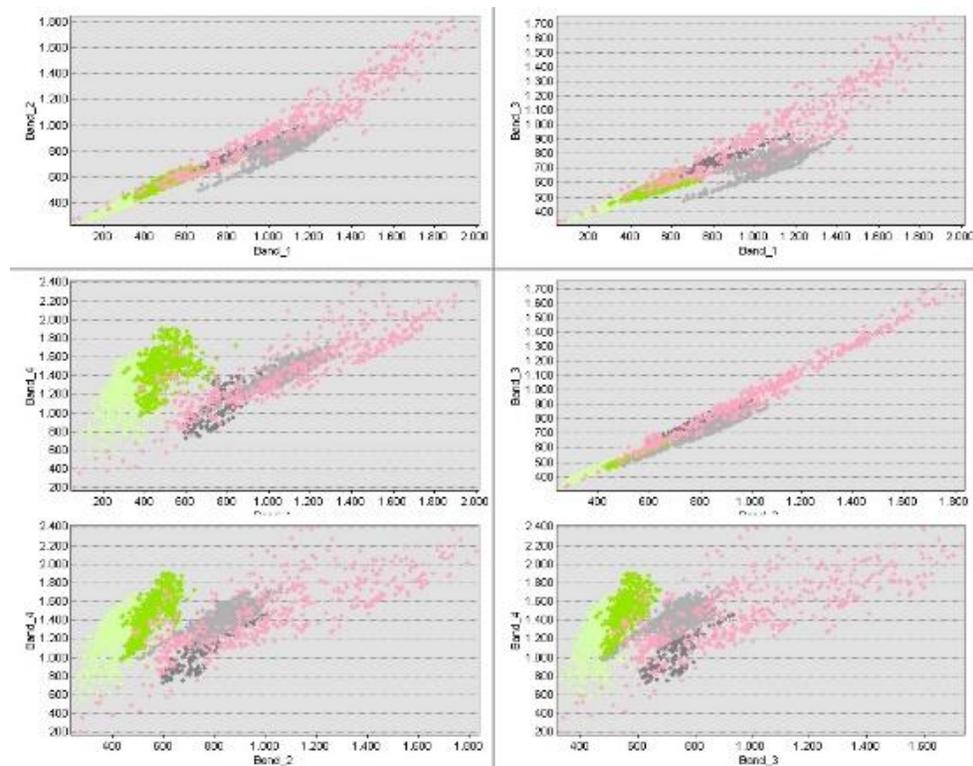
Quadro 8 – Classes para as classificações não supervisionadas e supervisionadas, forma de interpretação no buffer das vias

Classe	Descrição	Interpretação
Vias	Pertencente à classe área urbanizada, segundo o Manual técnico de uso da terra. Além disso, segundo Lehner e Blaschke (2019), o reconhecimento das vias nas imagens de satélite pode ser observado como formas alongadas específicas	
Calçadas	De acordo com o manual técnico de uso da terra, pertence à classe área urbanizada. O reconhecimento nas imagens de satélite pode ser feito junto a maioria das vias com uma diferença, a cor.	
Grama	Segundo Lehner e Blaschke (2019), pertence à classe agricultura, identificada como vias acompanhadas de área verde que geralmente não contém arbustos, árvores e correspondem a forma retangular	
Árvores	Pertencente à classe espaços abertos com vegetação em áreas de trânsito (LEHNER; BLASCHKE, 2019). Forma irregular e em algumas áreas podem ser observadas em grupos, aglomerados	
Área descoberta	Pertence à classe de área descoberta. Segundo Lehner e Blaschke (2019) faz parte da classe área não construída corresponde ao nome de solo exposto, aqueles elementos que podem ser Trilhas de BMX, pedreiras, sítios arqueológicos, entre outros.	
Edificações	Pertencente à classe área urbanizada ou área superficial; dentro dela se incluem, edifícios altos, aglomerados, indústrias, casas residências, entre outros. (LEHNER; BLASCHKE, 2019).	

Fonte: A autora, 2020.

Foi possível distinguir uma separabilidade no comportamento da classe edificações nas 4 bandas, em comparação com as demais classes. Para o caso das classes árvores e gramas, relevantes para a presente pesquisa, em todas as bandas foi possível obter uma separabilidade entre as duas, mas a mistura de pixels com as outras classes dificultou a atribuição de pixels. Outra maneira de ressaltar a separabilidade das classes foi por meio dos diagramas de dispersão (figura 31), nos quais a banda 4, sendo a banda do infravermelho, ressaltou as duas classes em questão com maior facilidade.

Figura 31 – Diagramas de dispersão das classes das vias

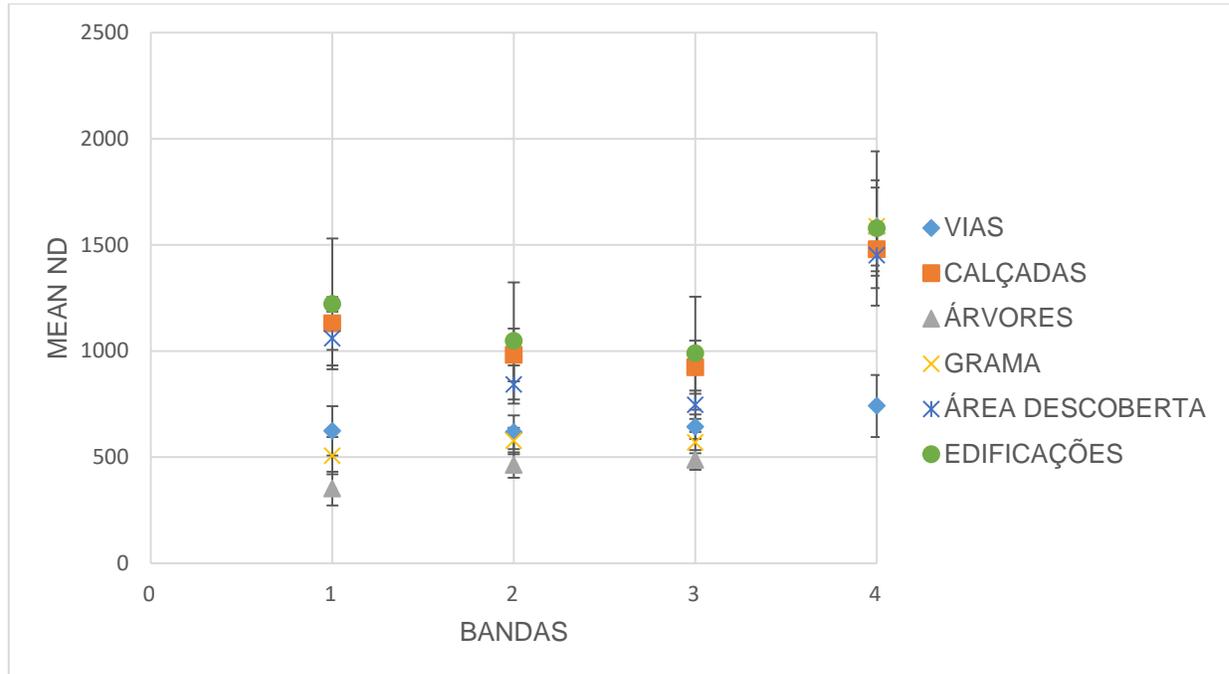


ID	Class Name	Value	Color	Count
1	VIAS	1	Grey	1329
2	CALÇADAS	61	Dark Grey	309
3	ÁRVORES	62	Light Green	855
4	GRAMA	122	Bright Green	1154
5	ÁREA DESCOBE...	177	Medium Grey	2700
6	EDIFICAÇÕES	228	Pink	719

Fonte: A autora, 2020.

Com a finalidade de conhecer o comportamento das classes no espectro, foi elaborada a Figura 32 e, com base nas estatísticas do Quadro 9. Assim, pode-se observar o comportamento dos níveis digitais para cada uma das bandas.

Figura 32 – Comportamento dos níveis digitais nas bandas



Fonte: A autora, 2020.

Quadro 9 – Estatísticas das classes aplicadas no buffer das vias

VIAS				
Statistics	1	2	3	4
Minimum	284	400	471	333
Maximum	1760	1453	1413	1897
Mean	623,54	617,22	643,37	741,34
Std.dev	116,02	79,76	58,09	146,48

ÁRVORES				
Statistics	1	2	3	4
Minimum	102	266	334	1093
Maximum	930	830	792	2193
Mean	352,36	462,74	486,94	1590,82
Std.dev	79,22	60,26	46,36	214,56

ÁREA DESCOBERTA				
Statistics	1	2	3	4
Minimum	350	403	415	676
Maximum	1350	1046	913	1935
Mean	1059,2	842,18	746,9	1450,66
Std.dev	126,93	90,02	67,28	153,44

CALÇADAS				
Statistics	1	2	3	4
Minimum	665	662	661	975
Maximum	1581	1308	1194	2134
Mean	1130,56	981,65	923,87	1479,09
Std.dev	227,87	169,03	138,96	256,96

GRAMA				
Statistics	1	2	3	4
Minimum	150	301	342	852
Maximum	876	880	834	2047
Mean	506,63	576,4	568,81	1586,76
Std.dev	87,84	62,18	50,68	183,53

EDIFICAÇÕES				
Statistics	1	2	3	4
Minimum	135	354	429	281
Maximum	2864	2275	2071	3281
Mean	1222,16	1047,44	989,69	1577,64
Std.dev	307,89	275,44	266,3	364,2

Fonte: A autora, 2020

A classe vias, na banda 1, teve uma baixa separabilidade, apresentando uma mistura com a classe grama. Da mesma maneira, na banda 2 e 3 para a banda 4 pode-se obter uma separabilidade.

A classe calçada teve uma separabilidade na banda 1, 2 e 4, mas na banda 3 teve uma mistura com a classe área descoberta. A classe árvores teve uma separabilidade nas 4 bandas, contribuindo para a classificação. No caso da classe grama, a mesma teve baixa separabilidade nas 4 bandas, resultando em uma classificação com dificuldade, sendo a mistura, mas notória aquela com a classe vias.

A classe área descoberta apresentou uma separabilidade na banda 3, mas nas outras bandas teve uma mistura com a classe calçada e edificações. Já a classe edificações teve uma separabilidade alta nas bandas 2 e 3, apresentando uma mistura com a classe área descoberta e grama.

5.3 CLASSIFICAÇÃO NÃO SUPERVISIONADA

Para a classificação não supervisionada dos bairros foi utilizado o algoritmo ISODATA. Os parâmetros dados ao software foram o número de classes (= 6) e número de interações (= 5). Esse último valor foi escolhido depois de realizar um teste aumentando o número de interações superiores àquelas do software ARCGIS.

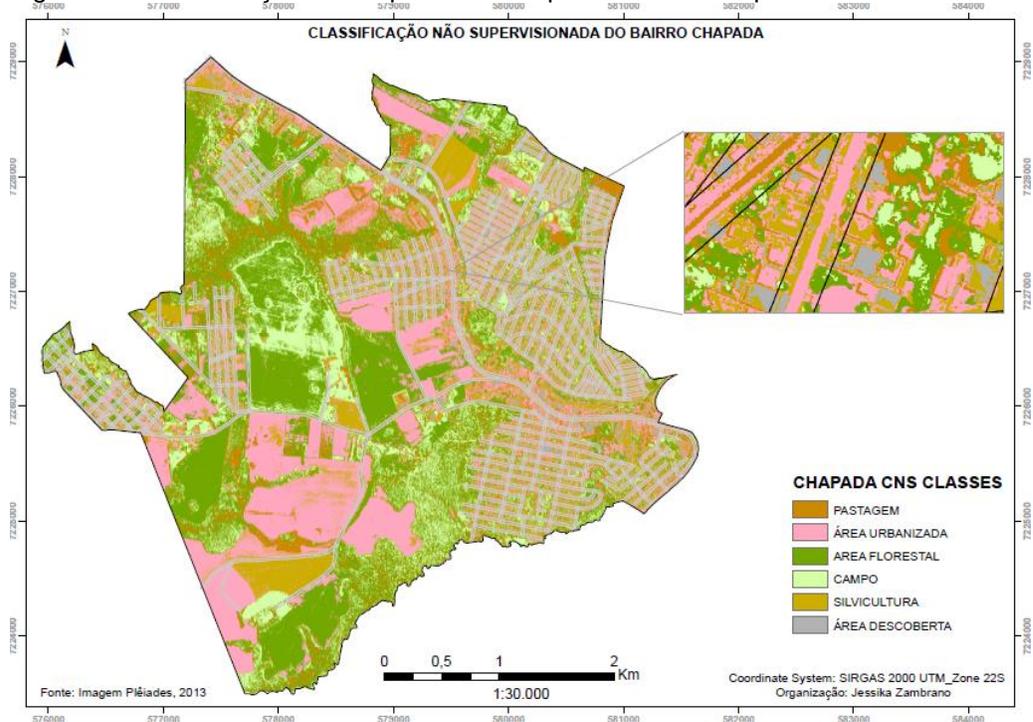
Observou-se que o resultado não foi o melhor, portanto prosseguiu-se na diminuição do valor, sendo que o tamanho mínimo do pixel e o intervalo da amostra foram deixados no padrão do software. A classificação não supervisionada (Figura 33) para os bairros foi feita com a finalidade de observar como se encontrava o comportamento das classes, mas os resultados considerados foram aqueles a partir das classificações feitas para a área de buffer de 10m das vias.

Mesmo a classificação não supervisionada não sendo um processo muito confiável, já que não funciona bem em áreas grandes e exige uma revisão visual para corroborar a informação em função da mistura de pixels, foi possível extrair as árvores localizadas nas vias (Figura 34).

Para o bairro Chapada, os resultados foram Kappa de 0,5 o que indicou uma boa concordância. O mapeamento, usando a metodologia, resultou em 2828 árvores, ou seja,

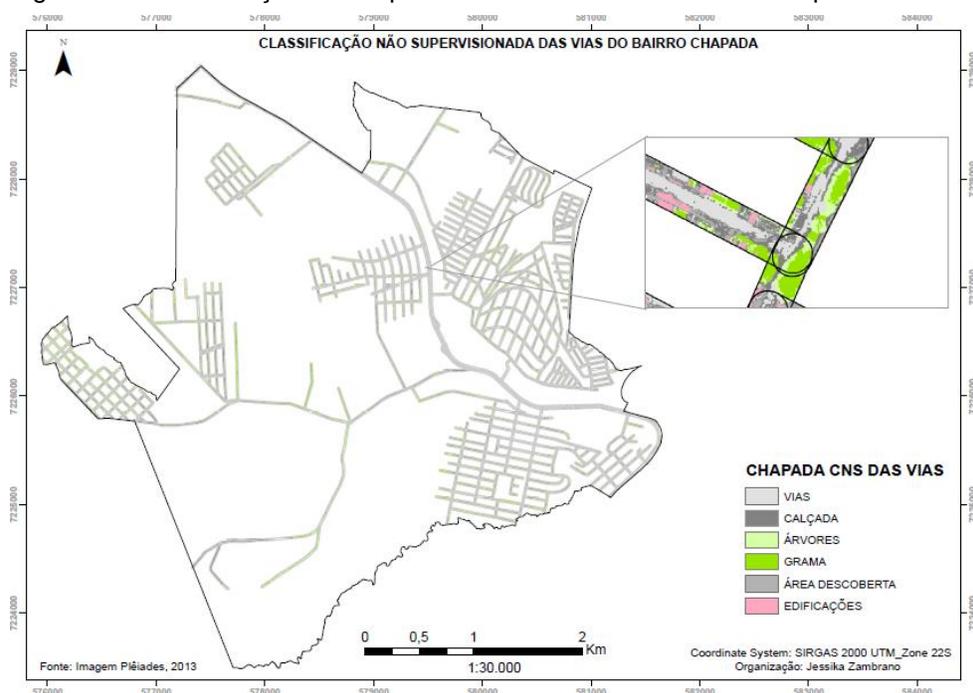
91,19% em comparação com a metodologia da análise visual que contabilizou 3101. Obteve-se uma confiabilidade de 58,33% (Tabela 9).

Figura 33 - Classificação não supervisionada para o bairro Chapada



Fonte: A autora, 2020

Figura 34 - Classificação não supervisionada das vias no bairro Chapada



Fonte: A autora, 2020

Tabela 9 - Matriz de erro classificação não supervisionada - bairro Chapada

CLASS_NAME	PREDICT	PASTAGEM	ÁREA URBANIZADA	ÁREA FLORESTAL	CAMPO	SILVICULTURA	ÁREA DESCOBERTA	PERCENT	PREDICTIONS
PASTAGEM	1	41	1	9	0	0	0	80,39%	51
ÁREA URBANIZADA	2	40	36	0	0	34	0	32,73%	110
ÁREA FLORESTAL	3	0	0	69	10	10	0	77,53%	89
CAMPO	4	0	0	22	90	0	0	80,36%	112
SILVICULTURA	5	19	20	0	0	56	42	40,88%	137
ÁREA DESCOBERTA	6	0	43	0	0	0	58	57,43%	101
	PERCENT	41	36	69	90	56	58	58,33%	600
	Count Truth	100	100	100	100	100	100		

Fonte: A autora, 2020

Para o caso da matriz das vias, a acurácia foi de 83% e o índice Kappa 0,79, indicando uma concordância muito boa (Tabela 10).

Tabela 10 - Matriz de erro classificação não supervisionada das vias do - bairro Chapada

CLASS_NAME	PREDICT	VIAS	CALÇADA	ÁRVORES	GRAMA	ÁREA DESCOBERTA	EDIFICAÇÕES	PORCENT	PREDICTIONS
VIAS	1	49	1	0	0	0	1	96,08%	51
CALÇADA	2	1	47	0	2	5	1	83,93%	56
ÁRVORES	3	0	0	22	3	0	0	88,00%	25
GRAMA	4	0	0	28	42	0	0	60,00%	70
ÁREA DESCOBERTA	5	0	2	0	3	45	4	83,33%	54
EDIFICAÇÕES	6	0	0	0	0	0	44	100%	44
	PERCENT	98	94	44	84	90	88	83,00%	300
	Count Truth	50	50	50	50	50	50		

Fonte: A autora, 2020

Na Figura 35 pode-se observar o mapeamento empregando a classificação não supervisionada.

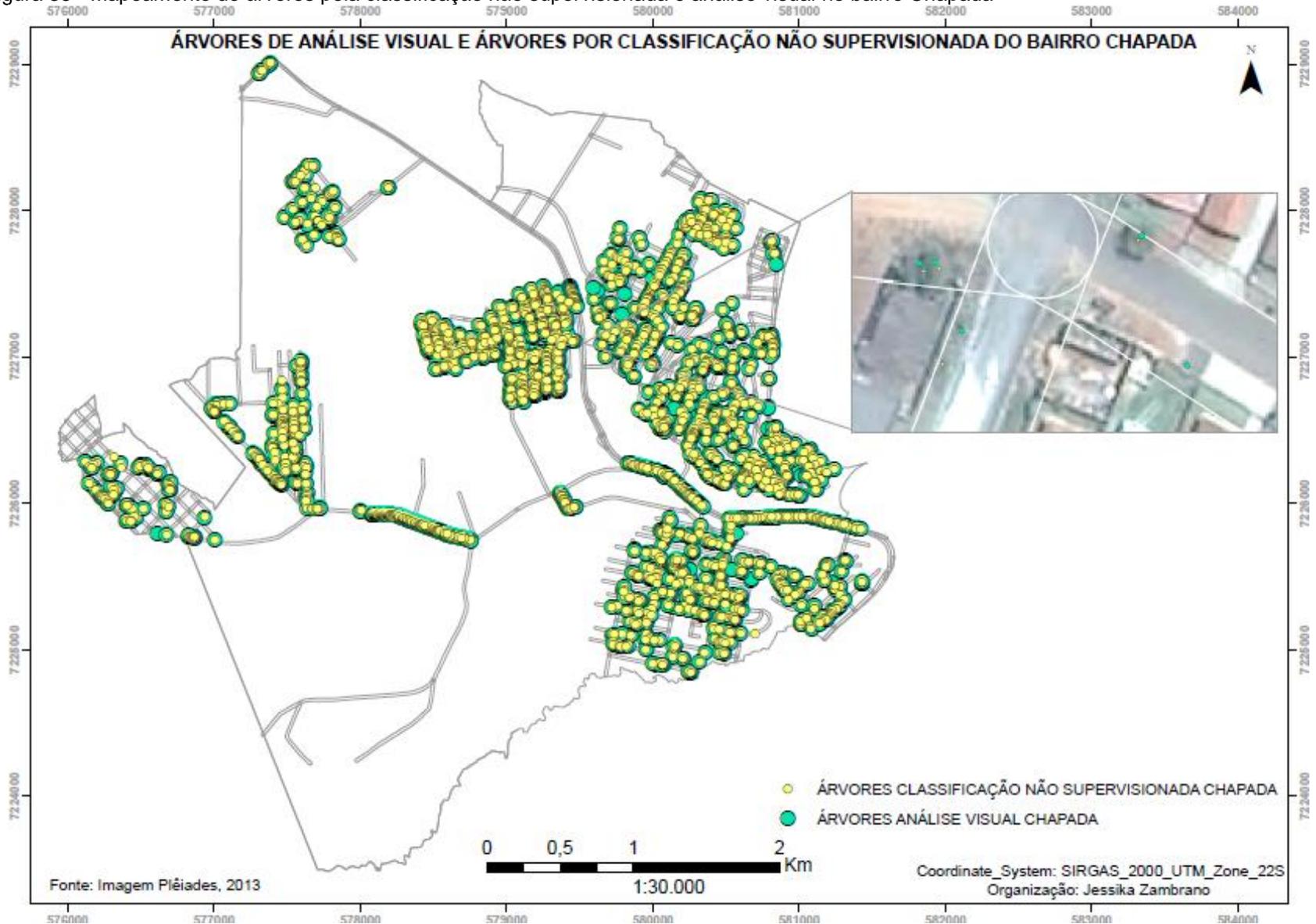
A área central obteve um registro para índice Kappa 0,6, ou seja, a concordância foi muito boa. A classificação não supervisionada (Figura 36 A, B e C) obteve uma acurácia de 66,67% (Tabela 11). Por meio da classificação não supervisionada foram obtidas 744 árvores, ou seja, 92,07% em comparação às 808 árvores mapeadas pela análise visual (Figura 37).

Tabela 11 - Matriz de erro classificação não supervisionada da Área Central

CLASS_NAME	PREDICT	CAMPO	ÁREA URBANIZADA	PASTAGEM	ÁREA FLORESTAL	ÁREA DESCOBERTA	SILVICULTURA	PERCENT	PREDICTIONS
CAMPO	1	51	9	1	1	0	2	79,69%	64
ÁREA URBANIZADA	2	0	62	7	0	15	0	73,81%	84
PASTAGEM	3	1	10	82	0	6	17	70,69%	116
ÁREA FLORESTAL	4	47	0	8	99	1	31	53,23%	186
ÁREA DESCOBERTA	5	0	18	2	0	78	22	65,00%	120
SILVICULTURA	6	1	1	0	0	0	28	93,33%	30
	PERCENT	51	62	82	99	78	28	66,67%	600
	Count Truth	100	100	100	100	100	100		

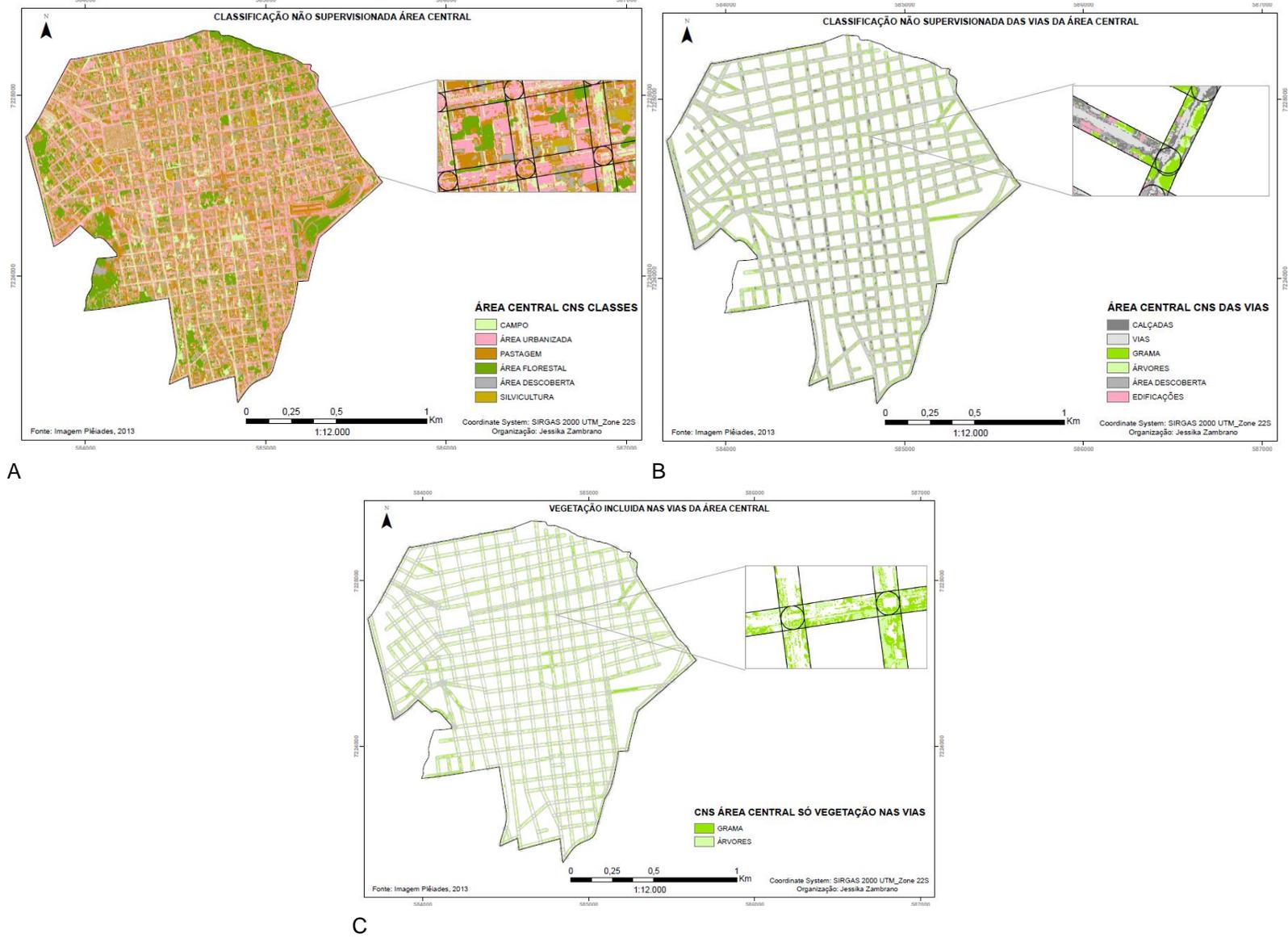
Fonte: A autora, 2020

Figura 35 - Mapeamento de árvores pela classificação não supervisionada e análise visual no bairro Chapada



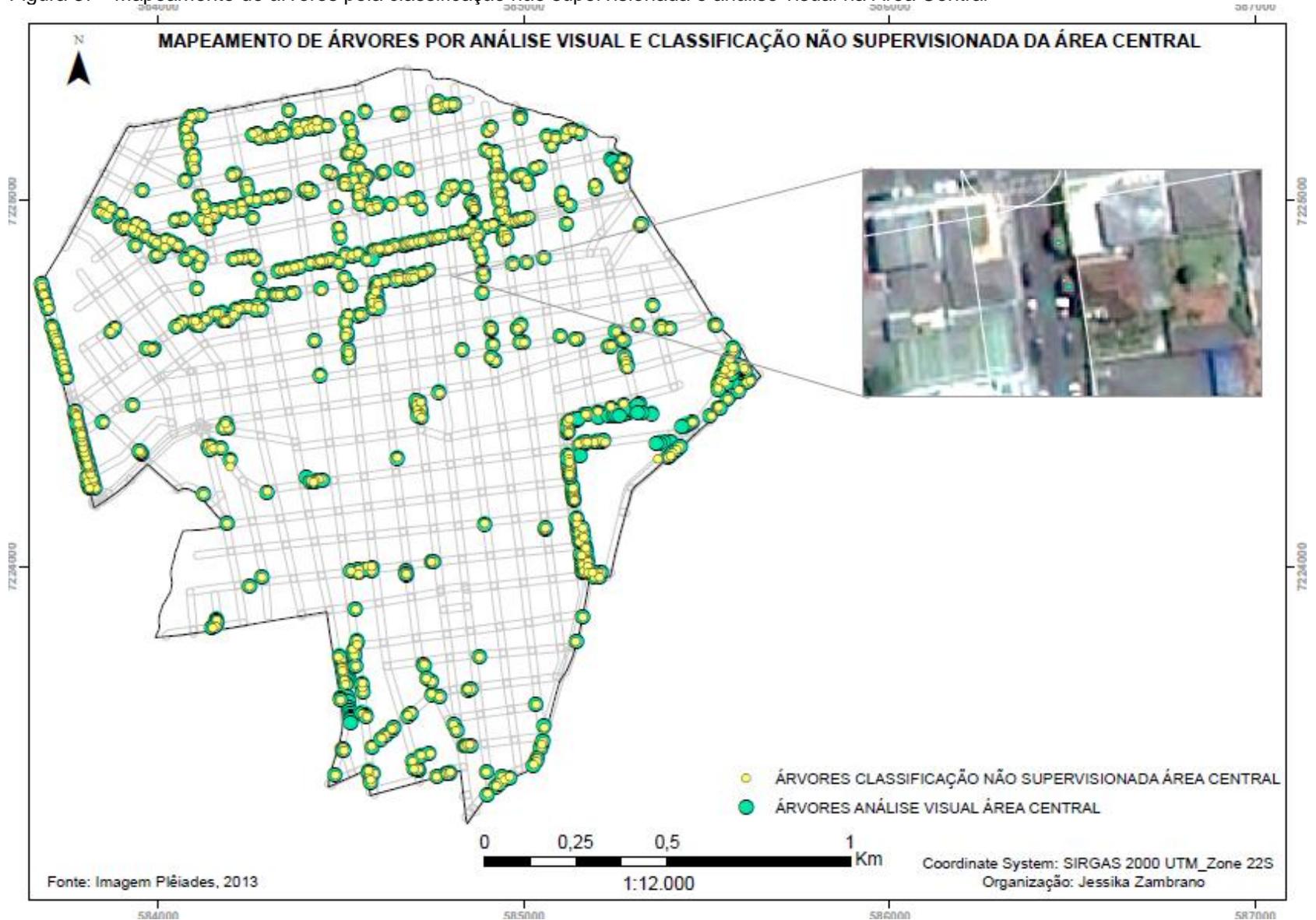
Fonte: A autora, 2020

Figura 36 - Área Central método classificação não supervisionada



Fonte: A autora, 2020.

Figura 37 - Mapeamento de árvores pela classificação não supervisionada e análise visual na Área Central



Fonte: A autora, 2020

A acurácia da classificação não supervisionada das vias foi de 60,67%, (Tabela 12), portanto foi possível fazer o mapeamento, uma vez que o índice Kappa registrava 0,52, portanto uma boa concordância (Tabela 13).

Tabela 12 - Matriz de erro Classificação não supervisionada das vias da Área central

CLASS_NAME	PREDICT	CALÇADAS	VIAS	GRAMA	ÁRVORES	ÁREA DESCOBERTA	EDIFICAÇÕES	PERCENT	PREDICTIONS
CALÇADAS	1	20	0	0	0	0	0	100%	20
VIAS	2	0	46	0	0	0	0	100%	46
GRAMA	3	8	4	5	20	0	1	13,16%	38
ÁRVORES	4	20	0	45	30	2	4	29,70%	101
ÁREA DESCOBERTA	5	2	0	0	0	43	7	82,69%	52
EDIFICAÇÕES	6	0	0	0	0	5	38	88,37%	43
	PERCENT	40	92	10	60	86	76	60,67%	300
	Count Truth	50	50	50	50	50	50		

Fonte: A autora, 2020

Tabela 13 - Matriz de erro Classificação não supervisionada do bairro Boa Vista

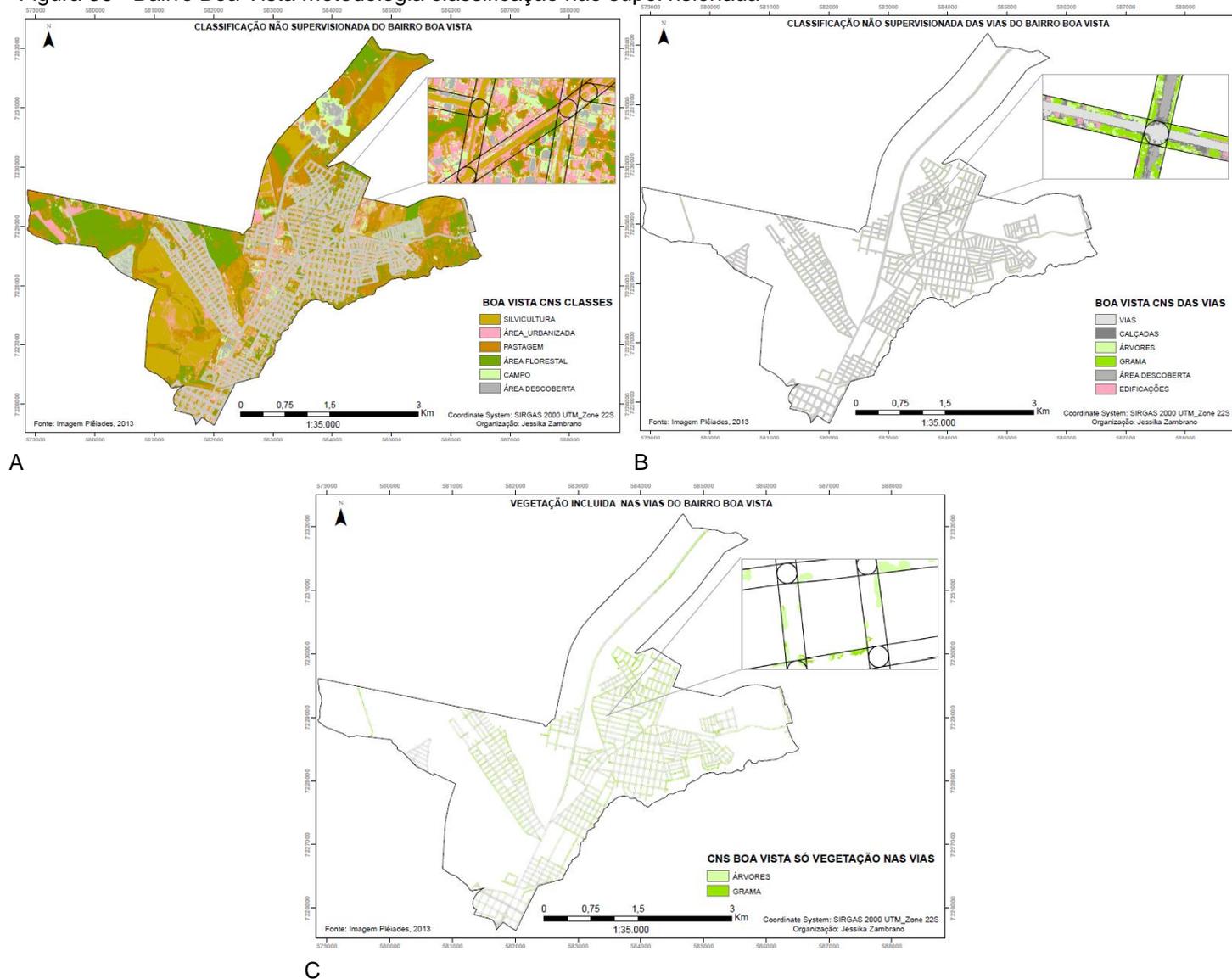
CLASSNAME	PREDICT	SILVICULTURA	URBANIZAÇÃO	PASTAGEM	ÁREA FLORESTAL	CAMPO	ÁREA DESCOBERTA	PERCENT	PREDICTIONS
SILVICULTURA	1	85	18	1	2	0	0	80,19%	106
URBANIZAÇÃO	2	1	78	48	0	1	8	57,35%	136
PASTAGEM	3	14	0	39	35	6	1	41,05%	95
ÁREA FLORESTAL	4	0	0	0	63	35	0	64,29%	98
CAMPO	5	0	3	12	0	58	31	55,77%	104
ÁREA DESCOBERTA	6	0	1	0	0	0	60	98,36%	61
	PERCENT	85	78	39,00	63,00	58,00	60	63,83%	600
	Count Truth	100	100	100	100	100	100		

Fonte: A autora, 2020

A classificação não supervisionada (Figura 38 A, B e C) para o bairro Boa Vista teve uma acurácia de 63,83% e o índice Kappa foi de 0,57, indicando uma boa concordância.

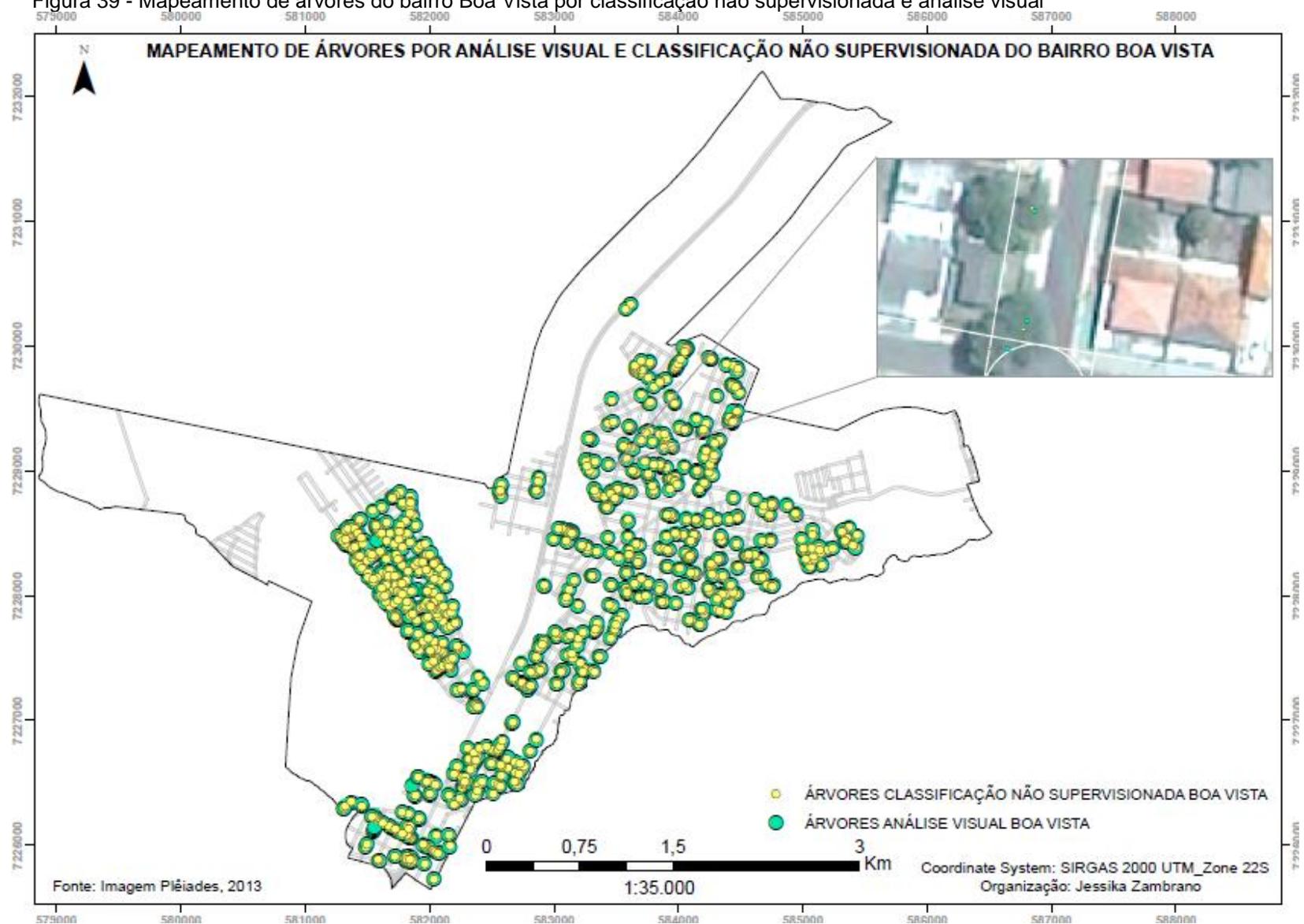
Foram registradas 996 árvores, superando aquelas mapeadas pela análise visual com 965 (Figura 39).

Figura 38 - Bairro Boa Vista metodologia classificação não supervisionada



Fonte: A autora, 2020.

Figura 39 - Mapeamento de árvores do bairro Boa Vista por classificação não supervisionada e análise visual



Fonte: A autora, 2020

Para o buffer de vias, a acurácia foi de 76,59% e o índice |Kappa foi de 0,72, identificando uma concordância muito boa. A classe com 100% de concordância com os pontos verdadeiros foi a classe árvore (Tabela 14).

Tabela 14 - Matriz de erro classificação não supervisionada das vias do bairro Boa Vista

CLASSNAME	PREDICT	VIAS	CALÇADAS	ÁRVORES	GRAMA	ÁREA DESCOBERTA	EDIFICAÇÕES	PERCENT	PREDICTIONS
VIAS	1	47	9	1	0	0	0	82,46%	57
CALÇADAS	2	3	32	0	0	3	5	74,42%	43
ÁRVORES	3	0	0	33	0	0	0	100%	33
GRAMA	4	0	0	15	50	0	0	76,92%	65
ÁREA DESCOBERTA	5	0	9	0	0	44	22	58,67%	75
EDIFICAÇÕES	6	0	0	0	0	3	23	88,46%	26
	PERCENT	94	64	67,35	100,00	88,00	46	76,59%	299
	Count Truth	50	50	49	50	50	50		

Fonte: A autora, 2020

O último bairro mapeado por meio da classificação não supervisionada, foi o bairro Oficinas (Figura 38 A, B e C). Registrando uma acurácia de 44,17% o que indica uma concordância boa, pois o índice kappa foi de 0,44 (Tabela 15).

Tabela 15 - Matriz de erro classificação não supervisionada do bairro Oficinas

CLASS_NAME	PREDICT	ÁREA URBANIZADA	ÁREA DESCOBERTA	CAMPO	ÁREA FLORESTAL	SILVICULTURA	PASTAGEM	PERCENT	PREDICTIONS
ÁREA URBANIZADA	1	31	0	0	3	0	0	91,18%	34
ÁREA DESCOBERTA	2	21	4	1	0	8	19	7,55%	53
CAMPO	3	0	0	70	29	0	53	46,05%	152
ÁREA FLORESTAL	4	0	0	29	68	0	25	55,74%	122
SILVICULTURA	5	31	64	0	0	92	3	48,42%	190
PASTAGEM	6	17	32	0	0	0	0	0,00%	49
	PERCENT	31	4	70,00	68,00	92,00	0	44,17%	600
	Count Truth	100	100	100	100	100	100		

Fonte: A autora, 2020

Para a classificação das vias do bairro Oficinas, a acurácia foi de 76,92% e o índice Kappa foi de 0,77 (Tabela 16).

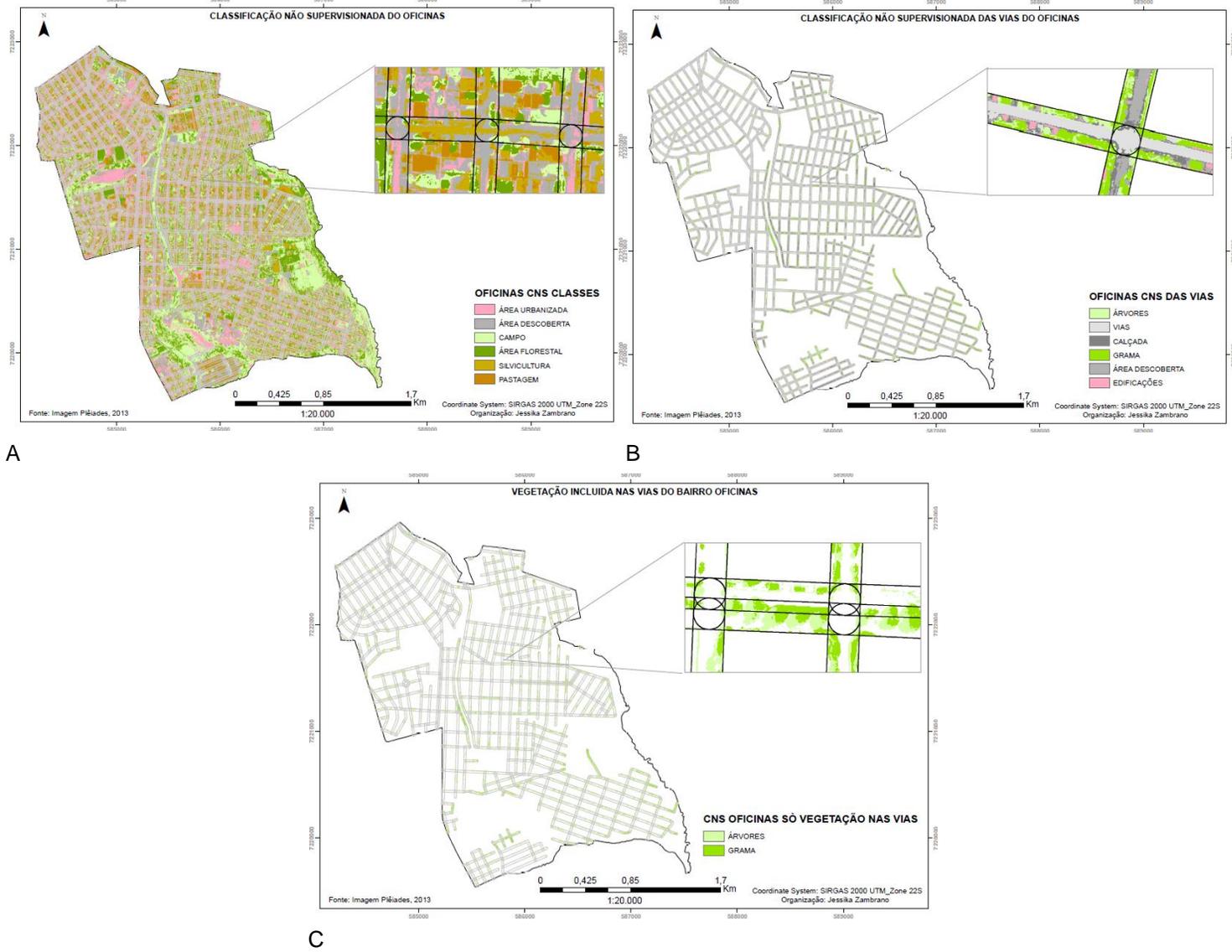
Tabela 16 - Matriz de erro classificação não supervisionada das vias do Oficina

CLASS_NAME	PREDICT	ÁRVORES	VIAS	CALÇADA	GRAMA	ÁREA DESCOBERTA	EDIFICAÇÕES	PERCENT	PREDICTIONS
ÁRVORES	1	23	1	0	0	0	0	95,83%	24
VIAS	2	0	49	2	0	0	0	96,08%	51
CALÇADA	3	3	0	38	4	3	0	79,17%	48
GRAMA	4	23	0	0	45	0	9	58,44%	77
ÁREA DESCOBERTA	5	0	0	3	1	37	3	84,09%	44
EDIFICAÇÕES	6	0	0	7	0	10	38	69,09%	55
	PERCENT	46,94	98	76,00	90,00	74,00	76	76,92%	299
	Count Truth	49	50	50	50	50	50		

Fonte: A autora, 2020

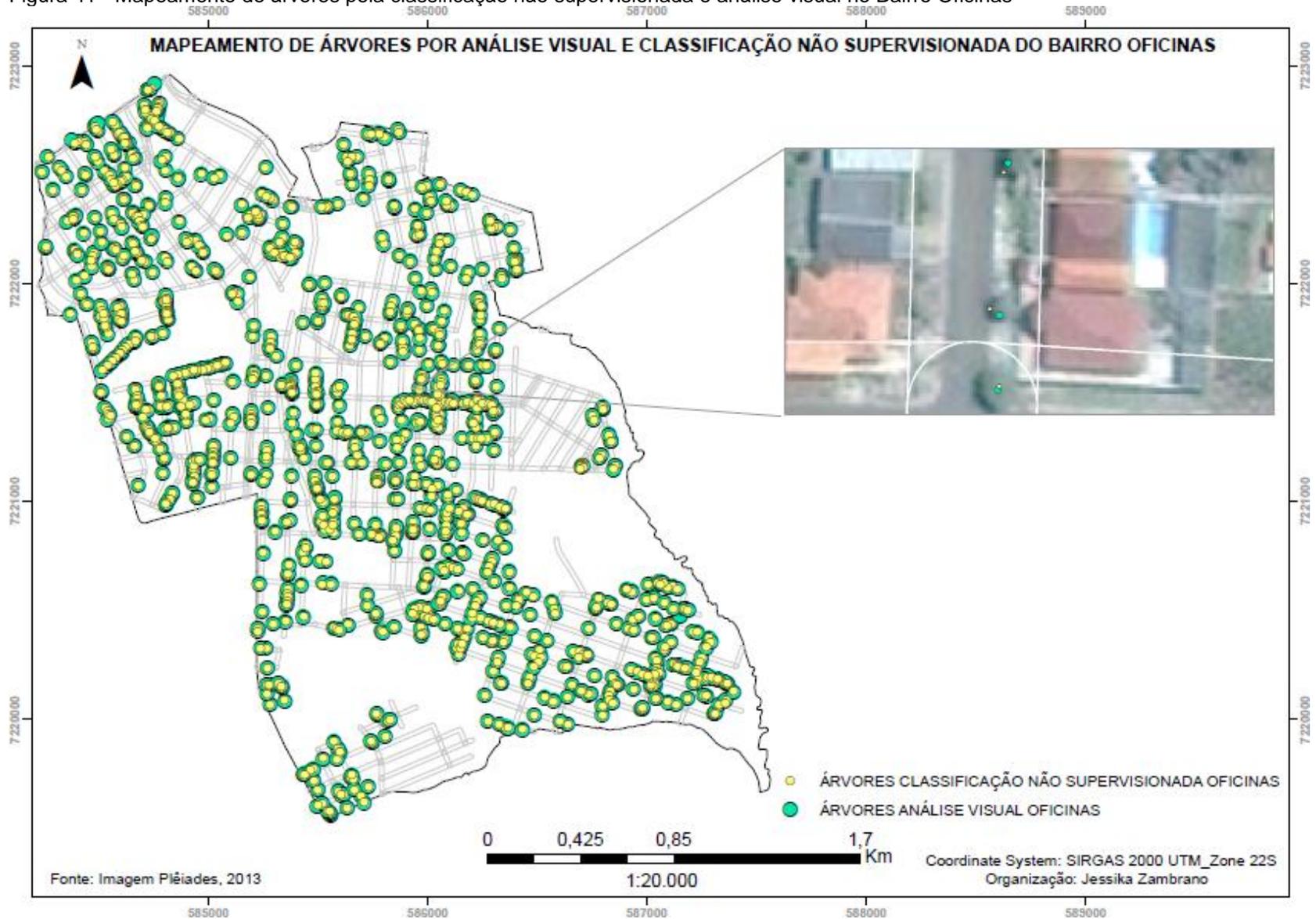
O bairro Oficinas registrou 1241 árvores mapeadas, ou seja, um número pouco maior que as árvores mapeadas pela metodologia da análise visual, 1234 (Figura 40).

Figura 40 - Bairro Oficinas metodologia classificação não supervisionada



Fonte: A autora, 2020

Figura 41 - Mapeamento de árvores pela classificação não supervisionada e análise visual no Bairro Oficinas



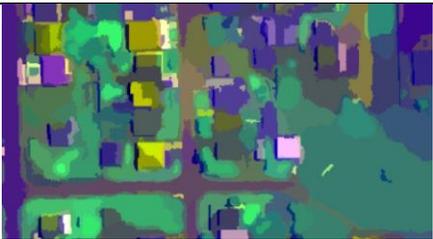
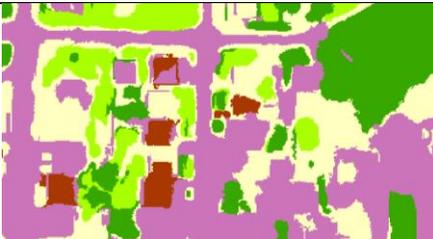
Fonte: A autora, 2020

5.4 CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA

Para a realização da classificação supervisionada, a imagem foi segmentada com a finalidade de agrupar os pixels com mesmo comportamento espectral e obter um reconhecimento mais fácil dos objetos da imagem.

A classificação supervisionada dos bairros foi feita com o algoritmo da máxima verossimilhança e a análise visual dos testes foi feita por meio das ferramentas pertencentes ao software Arcgis. Isso permitiu observar se o algoritmo tinha um comportamento adequado para fazer a classificação, pois a comparação com o algoritmo de componentes principais não conseguia agrupar os pixels, deixando uma classificação similar à visualização da imagem (Quadro 10).

Quadro 10 – Algoritmos de classificação do ArGis

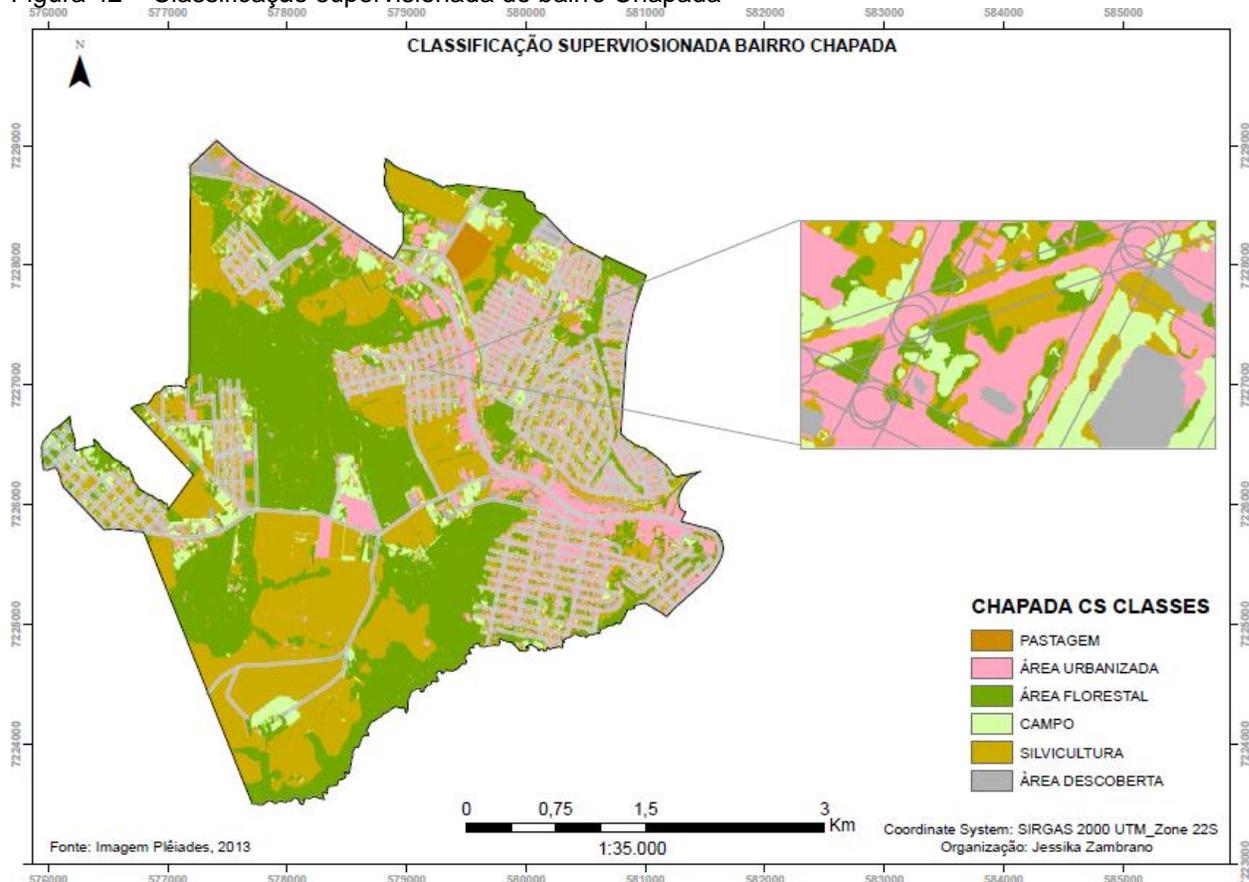
Algoritmo	
Componentes principais	
Máxima verossimilhança	

Fonte: A autora, 2020

Para a realização da classificação supervisionada foram escolhidas as mesmas classes dos métodos anteriores, com a diferença de que as áreas de treinamento foram feitas com a imagem segmentada, mas sendo usada a mesma metodologia já abordada na metodologia da classificação não supervisionada (Figura 42). A classificação supervisionada foi feita para o todo bairro com a imagem segmentada, para ter um conhecimento prévio do comportamento das classes, é dizer a classificação obtida é só informacional.

No caso da matriz de erro da classificação supervisionada do bairro Chapada (Tabela 17), obteve-se melhor resultado com acurácia de 79%, sendo obtidos 100 pontos de concordância para a classe pastagem. A classe para a qual se obteve o menor percentual foi silvicultura, com 51,8% e 71 pontos verdadeiros de um total de 100.

Figura 42 – Classificação supervisionada do bairro Chapada



Fonte: A autora, 2020

Tabela 17 - Matriz de erro para classificação supervisionada de Bairro Chapada

CLASS_NAME	PREDICT	PASTAGEM	ÁREA URBANIZADA	ÁREA FLORESTAL	CAMPO	SILVICULTURA	ÁREA DESCOBERTA	PERCENT	PREDICTIONS
PASTAGEM	1	51	0	0	0	0	0	100%	51
ÁREA URBANIZADA	2	0	77	1	0	0	10	87,50%	88
ÁREA FLORESTAL	3	0	0	95	10	29	0	70,90%	134
CAMPO	4	0	0	0	90	0	0	100%	90
SILVICULTURA	5	49	13	4	0	71	0	51,82%	137
ÁREA DESCOBERTA	6	0	10	0	0	0	90	90,00%	100
	PERCENT	51	77	95	90	71	90	79,00	600
	Count Truth	100	100	100	100	100	100		

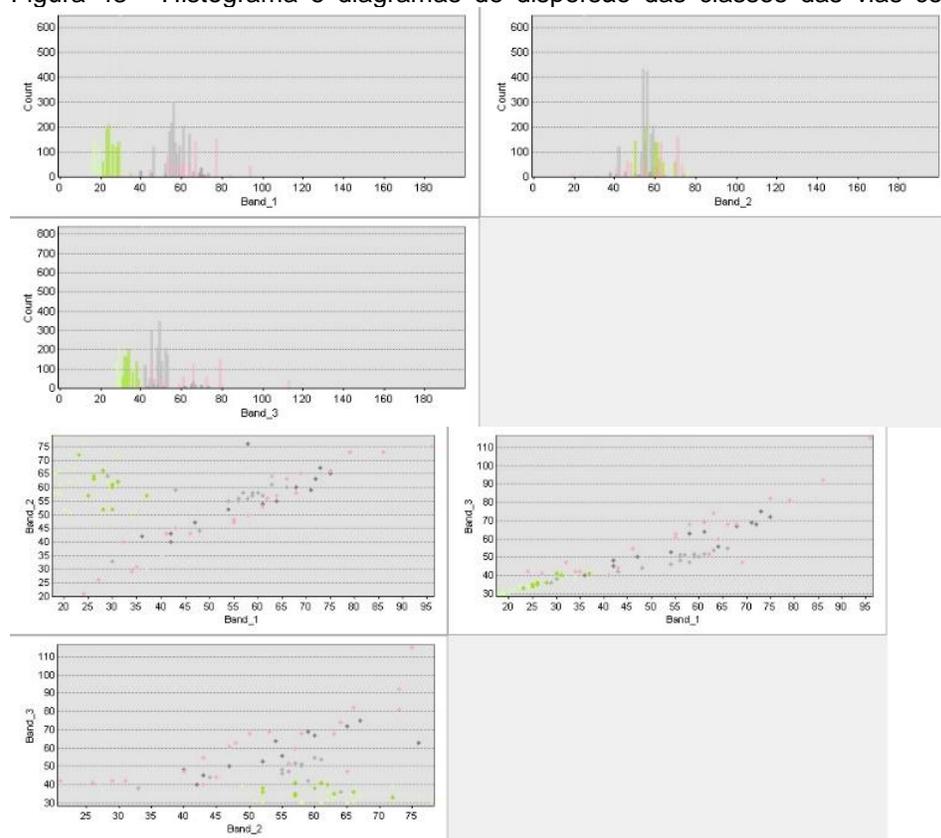
Fonte: A autora, 2020

Aplicando novamente o buffer de 10 m, extraiu-se a imagem segmentada que correspondeu só a área de influência, sendo feita novamente a escolha de áreas de

treinamento para, posteriormente, realizar uma classificação só para as vias. Além disso, pode-se observar o comportamento dos pixels por meio dos histogramas e diagramas de dispersão, nos quais foi possível verificar uma separabilidade nas bandas 1 e 2 e na banda 3 o comportamento espectral dos pixels foi similar.

A separabilidade foi maior do que na imagem não segmentada (Figura 43). As classes grama e árvores tiveram uma separabilidade nas bandas 1 e 2, auxiliando na classificação. A respeito dos diagramas de dispersão, observou-se uma maior dificuldade de reconhecer o comportamento, no entanto, pode-se inferir que nas bandas 1 e 2, as classes grama e árvores tiveram um comportamento espectral diferente. Por meio das estatísticas (Quadro 11), foi feito o gráfico dos níveis digitais de cada classe nas bandas (Figura 44).

Figura 43 - Histograma e diagramas de dispersão das classes das vias com a imagem segmentada



ID	Class Name	Value	Color	Count
1	VIAS	1	Grey	2471
2	CALÇADAS	71	Dark Grey	156
3	ÁRVORES	125	Light Green	509
4	GRAMA	182	Bright Green	843
5	ÁREA DESCOBE...	233	Light Grey	1531
6	EDIFICAÇÕES	290	Pink	594

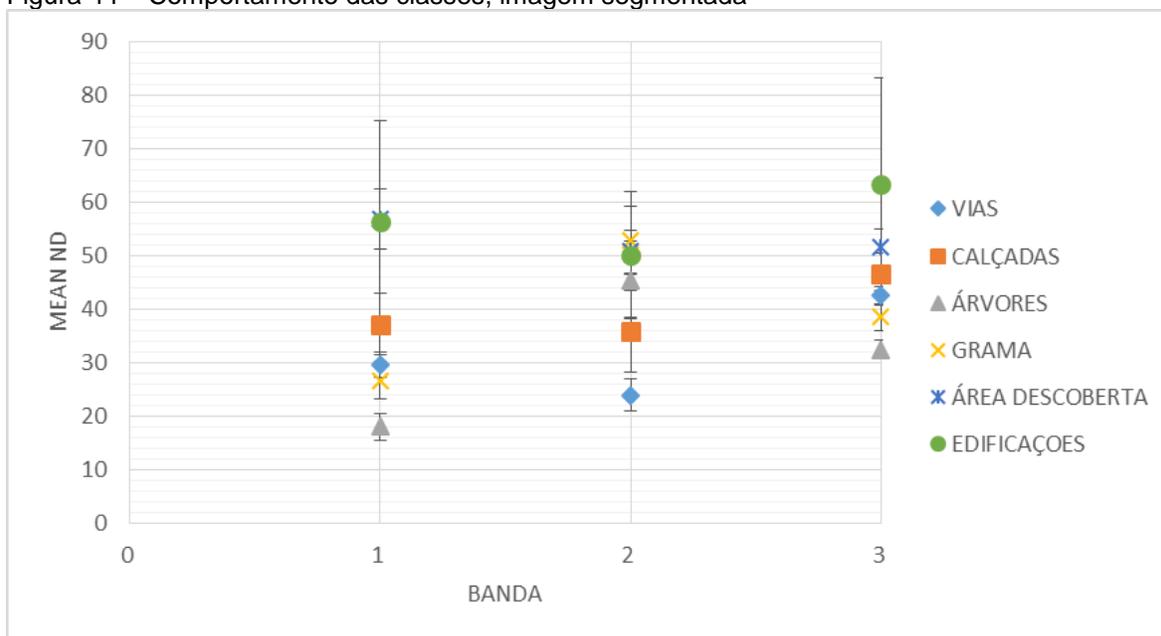
Fonte: A autora, 2020

Quadro 11 - Estatísticas das classes aplicadas no buffer das vias, imagem segmentada

VIAS				CALÇADAS			
Statistics	1	2	3	Statistics	1	2	3
Minimum	18	16	34	Minimum	26	24	38
Maximum	32	40	47	Maximum	51	48	57
Mean	29,6	23,91	42,48	Mean	37,09	35,76	46,58
Std.dev	2,43	2,95	1,81	Std.dev	5,74	7,66	3,9
ÁRVORES				GRAMA			
Statistics	1	2	3	Statistics	1	2	3
Minimum	8	19	25	Minimum	21	40	34
Maximum	30	57	41	Maximum	43	67	50
Mean	17,99	45,42	32,36	Mean	26,67	52,9	38,53
Std.dev	2,56	7,26	1,77	Std.dev	3,4	6,36	2,49
ÁREA DESCOBERTA				EDIFICAÇÕES			
Statistics	1	2	3	Statistics	1	2	3
Minimum	32	39	35	Minimum	10	16	27
Maximum	64	56	57	Maximum	93	79	109
Mean	56,73	50,77	51,5	Mean	56,21	50,14	63,25
Std.dev	5,6	3,99	3,45	Std.dev	18,99	11,78	19,91

Fonte: A autora, 2020.

Figura 44 – Comportamento das classes, imagem segmentada



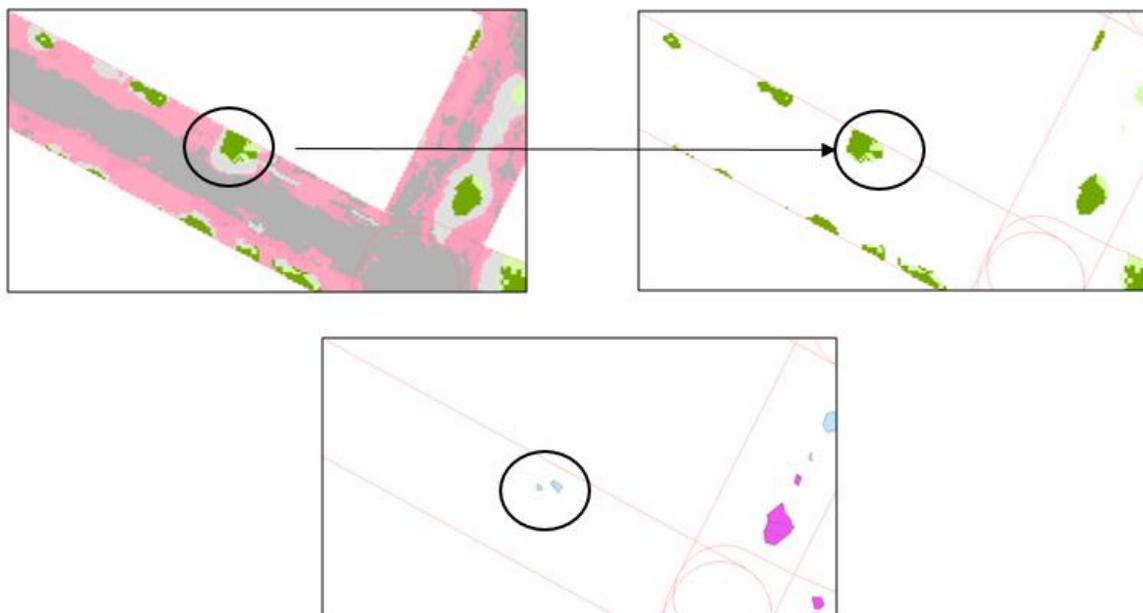
Fonte: A autora, 2020.

Em cada uma das bandas foi possível observar uma separabilidade que auxiliou na classificação: as classes grama e árvores apresentaram somente na banda 2 uma mistura de pixels e com comportamento espectral similar, indicando que foi possível a atribuição dos pixels de forma correta. As classes vias e grama apresentaram uma vizinhança espectral, indicando que, possivelmente, tenham mistura de pixels nas classes.

Assim como na classificação supervisionada geral, a classificação das vias foi feita com o algoritmo de máxima verossimilhança (Figura 45). Tendo em vista a obtenção da informação extra que gerou a conversão do raster para vetor (Figura 46), optou-se por remover os polígonos extras gerados, fazendo um cálculo de área e escolhendo as áreas menores que 1m^2 , excluindo esses polígonos. Posteriormente, como no processo da classificação supervisionada, calculou-se os centroides para obter o número das árvores mapeadas (Figura 47).

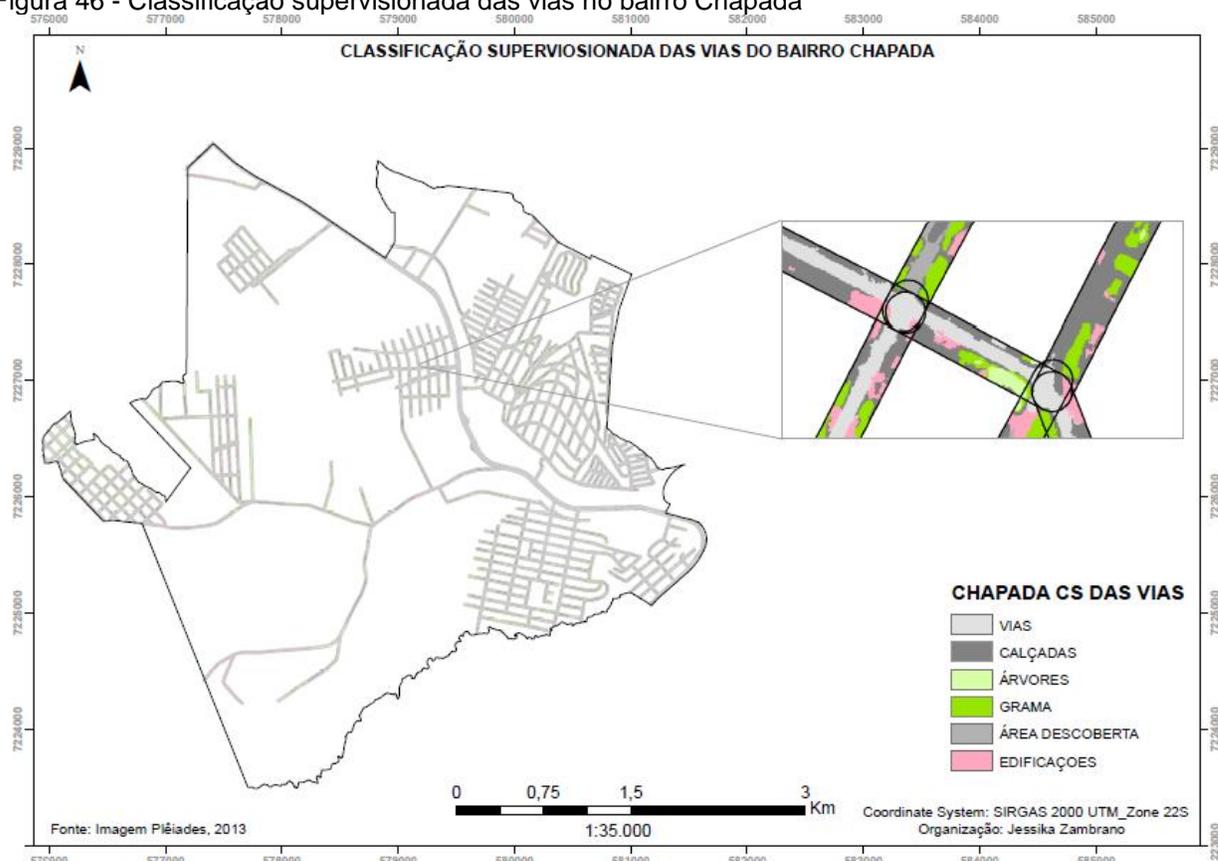
A classificação foi utilizada para obter um reconhecimento da área em que se fez a classificação. Para o bairro Chapada, os resultados foram uma acurácia de 70,33% e o índice Kappa de 0,70, indicando uma concordância muito boa (Tabela 18).

Figura 45 - Ampliação da visualização de pixel a polígono e depuração de polígonos



Fonte: A autora, 2020.

Figura 46 - Classificação supervisionada das vias no bairro Chapada



Fonte: A autora, 2020

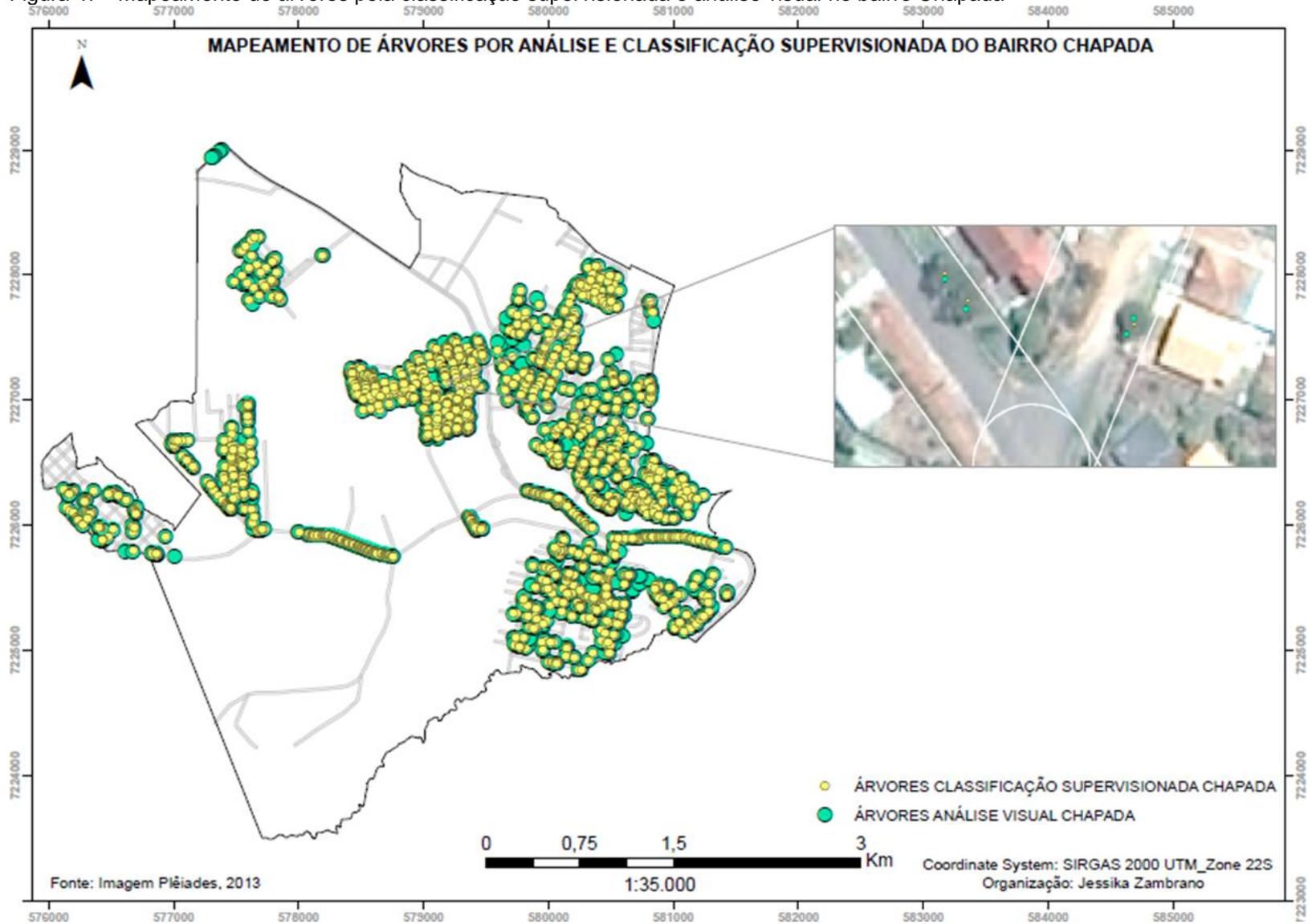
Tabela 18 - Matriz de erro classificação supervisionada das vias de Chapada

CLASS_NAME	PREDICT	VIAS	CALÇADAS	ÁRVORES	GRAMA	ÁREA DESCOBERTA	EDIFICAÇÕES	PERCENT	PREDICTIONS
VIAS	1	30	11	0	0	0	0	73,17%	41
CALÇADAS	2	20	29	2	3	20	13	33,33%	87
ÁRVORES	3	0	0	40	2	0	0	95,24%	42
GRAMA	4	0	10	8	45	0	0	71,43%	63
ÁREA DESCOBERTA	5	0	0	0	0	30	0	100%	30
EDIFICAÇÕES	6	0	0	0	0	0	37	100%	37
	PERCENT	60	58	80	90	60	74	70,33%	300
	Count Truth	50	50	50	50	50	50		

Fonte: A autora, 2020

O mapeamento através da aplicação da metodologia resultou em 2564 árvores, ou seja, 82,68% em comparação à metodologia de análise visual que mapeou 3101 árvores. Na Figura 47 pode-se observar o mapeamento empregando a classificação supervisionada.

Figura 47 - Mapeamento de árvores pela classificação supervisionada e análise visual no bairro Chapada



Fonte: A autora, 2020

Os processos para a área central foram realizados da mesma forma que para o bairro Chapada (Figura 48 A, B e C). Por meio da matriz de erro obteve-se uma acurácia de 76,83% e o índice Kappa foi de 0,72, indicando uma concordância muito boa (Tabela 19).

Tabela 19 - Matriz de erro para classificação supervisionada no Área Central

CLASS_NAME	PREDICT	PASTAGEM	ÁREA URBANIZADA	SILVICULTURA	ÁREA FLORESTAL	CAMPO	ÁREA DESCOBERTA	PERCENT	PREDICTIONS
PASTAGEM	1	56	25	9	1	1	4	58,33%	96
ÁREA URBANIZADA	2	0	75	15	0	1	4	78,95%	95
SILVICULTURA	3	30	0	70	0	0	4	67,31%	104
ÁREA FLORESTAL	4	7	0	0	97	21	1	76,98%	126
CAMPO	5	7	0	6	2	77	1	82,80%	93
ÁREA DESCOBERTA	6	0	0	0	0	0	86	100%	86
	PERCENT	56	75	70	97	77	86	76,83%	600
	Count Truth	100	100	100	100	100	100		

Fonte: A autora, 2020

O mapeamento através da aplicação da metodologia para a Área Central resultou em 732 árvores, ou seja, 90,59 % se comparado ao mapeamento por meio da análise visual com 808. Na Figura 49 pode-se observar o mapeamento empregando a classificação supervisionada.

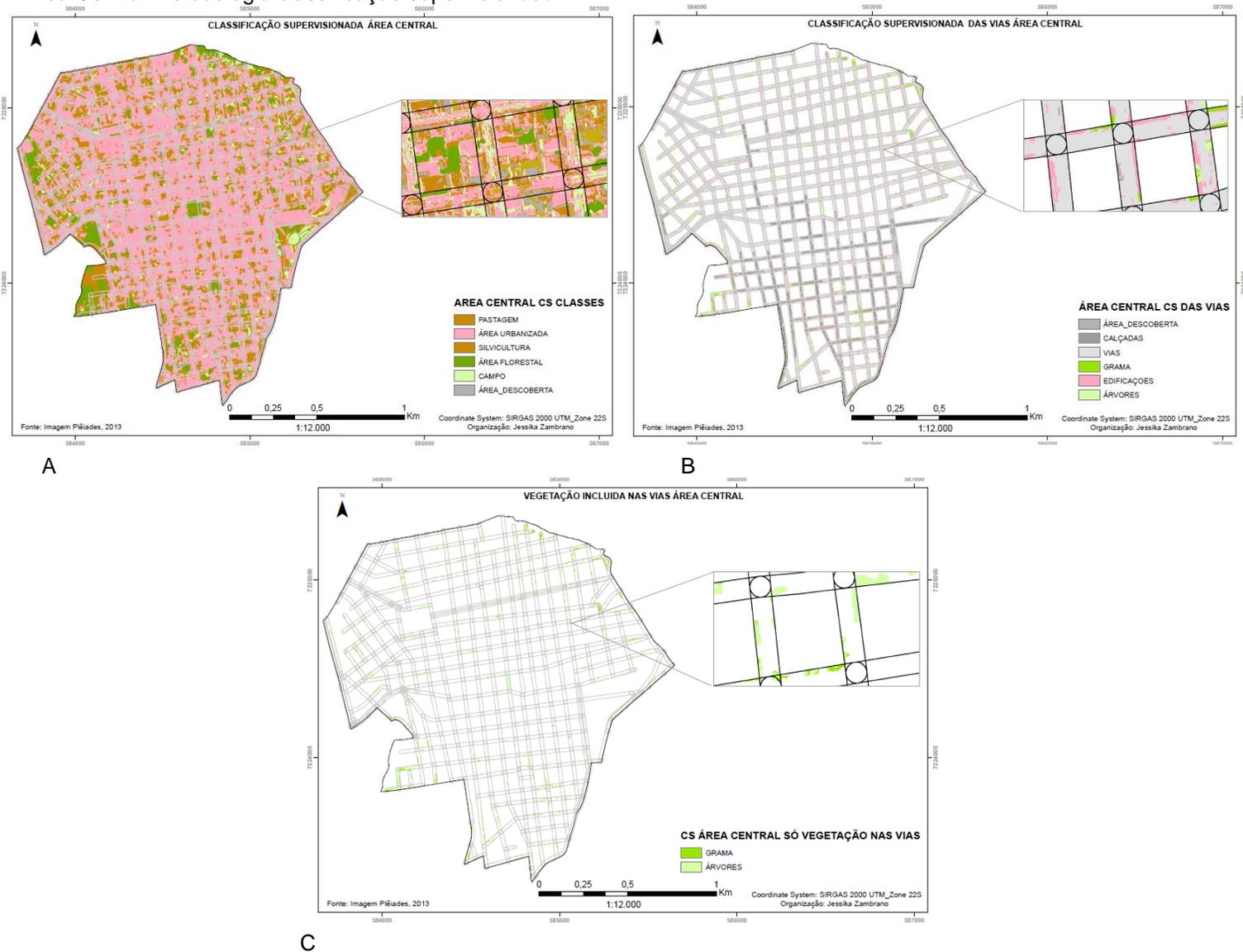
No caso da matriz de erro da classificação supervisionada para as vias, obteve-se uma acurácia de 87,00 com um índice kappa de 0,84, indicando uma concordância excelente (Tabela 20).

Tabela 20 - Matriz de erro classificação supervisionada das vias na Área Central

CLASS_NAME	PREDICT	ÁREA DESCOBERTA	CALÇADAS	VIAS	GRAMA	EDIFICAÇÕES	ÁRVORES	PERCENT	PREDICTIONS
ÁREA DESCOBERTA	1	40	0	0	0	0	0	100%	40
CALÇADAS	2	0	38	10	0	0	0	79,17%	48
VIAS	3	0	3	40	1	0	0	90,91%	44
GRAMA	4	1	0	0	43	0	0	97,73%	44
EDIFICAÇÕES	5	9	9	0	5	50	0	68,49%	73
ÁRVORES	6	0	0	0	1	0	50	98,04%	51
	PERCENT	80	76	80	86	100	100	87,00%	300
	Count Truth	50	50	50	50	50	50		

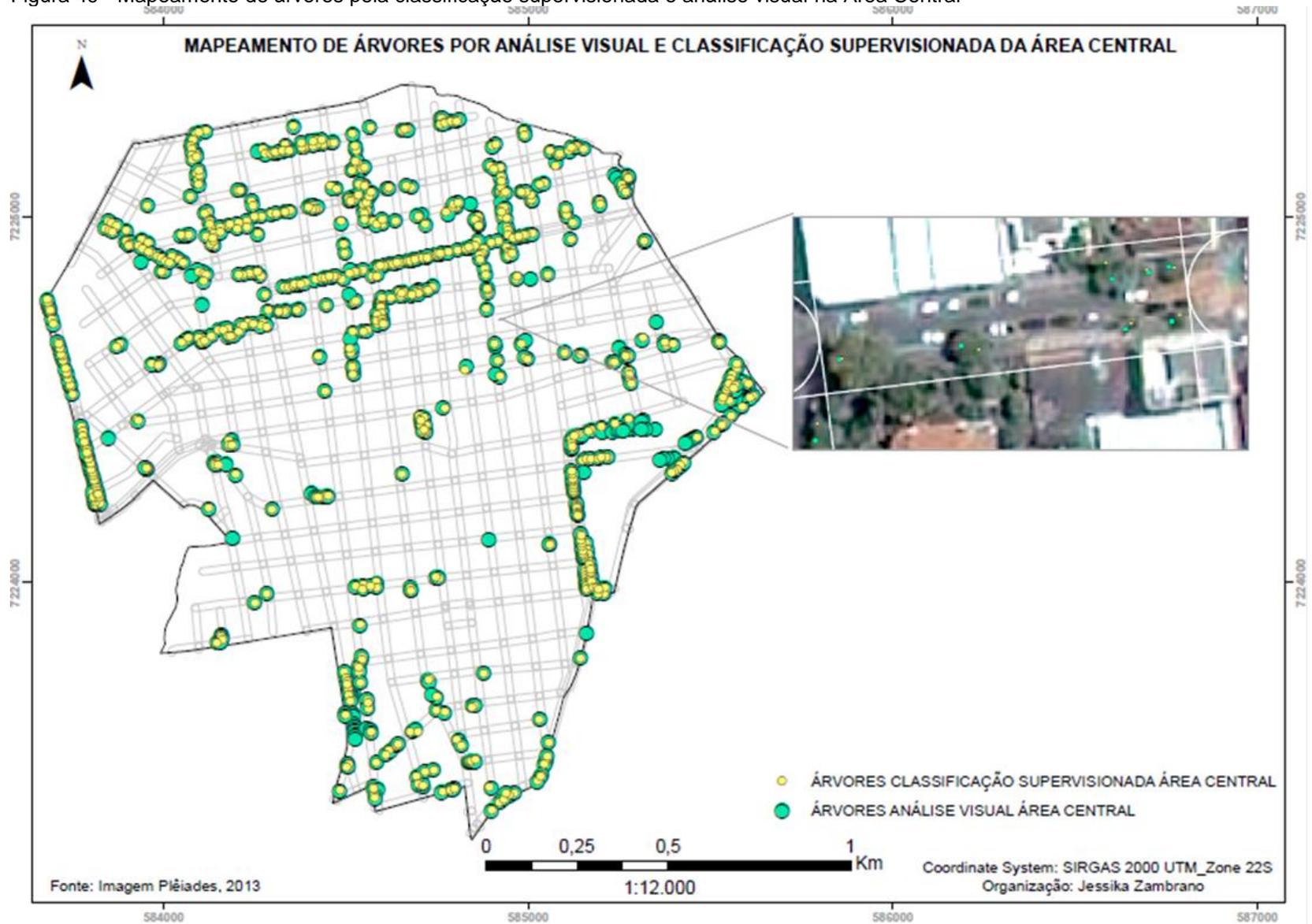
Fonte: A autora, 2020

Figura 48 - Área Central metodologia classificação supervisionada



Fonte: A autora, 2020

Figura 49 - Mapeamento de árvores pela classificação supervisionada e análise visual na Área Central



Fonte: A autora, 2020

Para o bairro Boa Vista (Figura 50 A B e C), foi obtida uma acurácia de 83% e o índice Kappa foi de 0,80, indicando uma concordância muito boa (Tabela 21).

Tabela 21 - Matriz de erro para classificação supervisionada no Bairro Boa Vista

CLASSNAME	PREDICT	ÁREA URBANIZADA	PASTAGEM	ÁREA FLORESTAL	CAMPO	SILVICULTURA	ÁREA DESCOBERTA	PERCENT	PREDICTIONS
ÁREA URBANIZADA	1	88	23	0	2	10	11	65,67%	134
PASTAGEM	2	0	64	0	0	0	0	100%	64
ÁREA FLORESTAL	3	0	3	83	10	0	0	86,46%	96
CAMPO	4	5	0	10	84	0	0	84,85%	99
SILVICULTURA	5	4	10	7	2	90	0	79,65%	113
ÁREA DESCOBERTA	6	3	0	0	2	0	89	94,68%	94
	PERCENT	88	64	83,00	84,00	90,00	89	83,00%	600
	Count Truth	100	100	100	100	100	100		

Fonte: A autora, 2020

A acurácia das vias foi de 78,33% e o índice Kappa foi de 0,74, indicando que houve uma concordância muito boa. A classe árvores obteve uma acurácia de 85,19% o que indicava que o mapeamento podia ser feito com facilidade (Tabela 22).

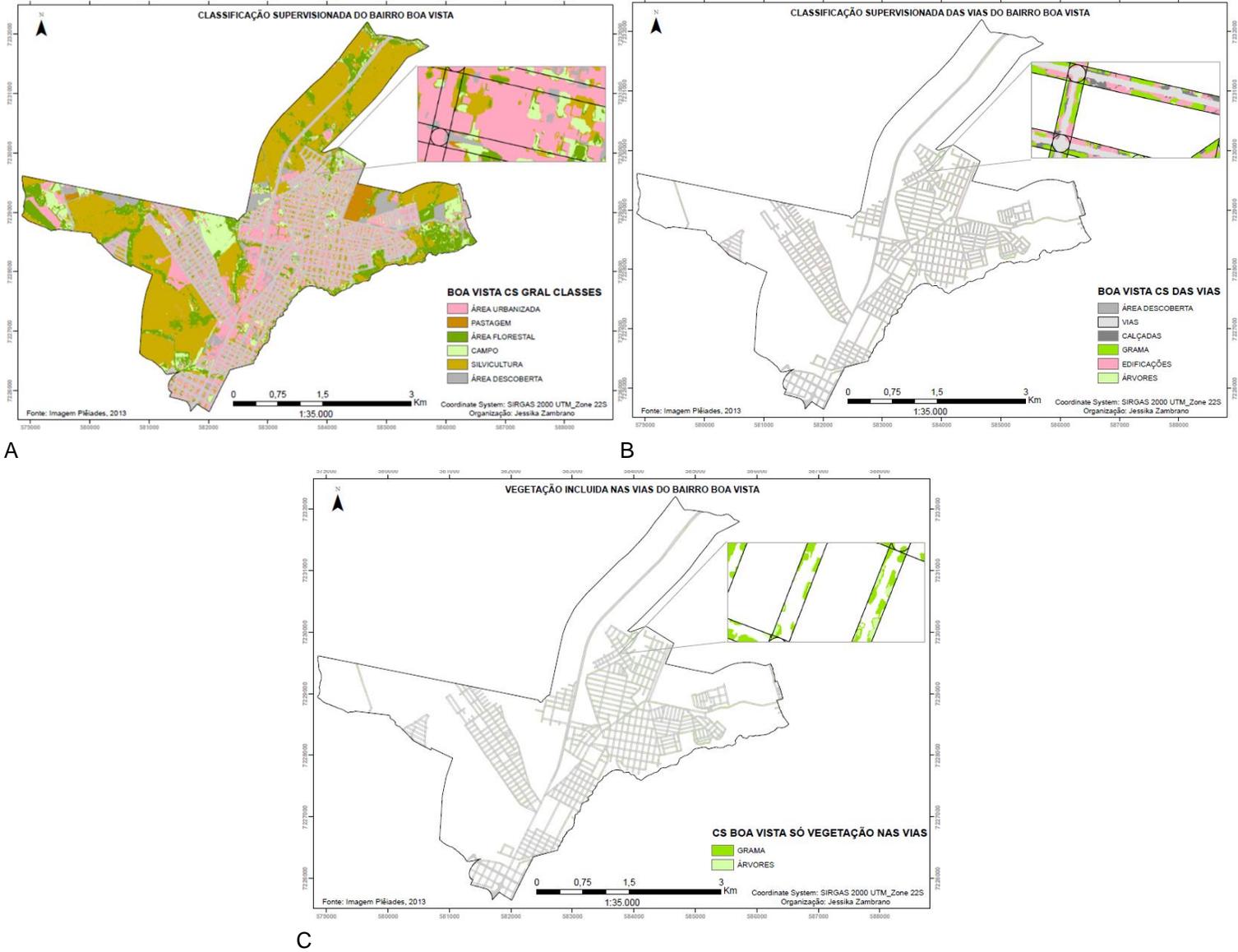
O mapeamento, através da aplicação da metodologia, para o bairro Boa Vista resultou em 938 árvores, ou seja, superou as árvores mapeadas por meio da análise visual, com 965. Na Figura 51 pode-se observar o mapeamento empregando a classificação supervisionada.

Tabela 22 - Matriz de erro classificação supervisionada das vias do bairro Boa Vista

CLASSNAME	PREDICT	ÁREA DESCOBERTA	VIAS	CALÇADAS	GRAMA	EDIFICAÇÕES	ÁRVORES	PERCENT	PREDICTIONS
ÁREA DESCOBERTA	1	38	0	0	0	0	0	100%	38
VIAS	51	0	40	12	0	0	0	76,92%	52
CALÇADAS	101	0	0	31	0	8	0	79,49%	39
GRAMA	153	0	0	0	42	4	4	84%	50
EDIFICAÇÕES	205	12	10	7	0	38	0	56,72%	67
ÁRVORES	260	0	0	0	8	0	46	85,19%	54
	PERCENT	76	80	62,00	84,00	76,00	92	78,33%	300
	Count Truth	50	50	50	50	50	50		

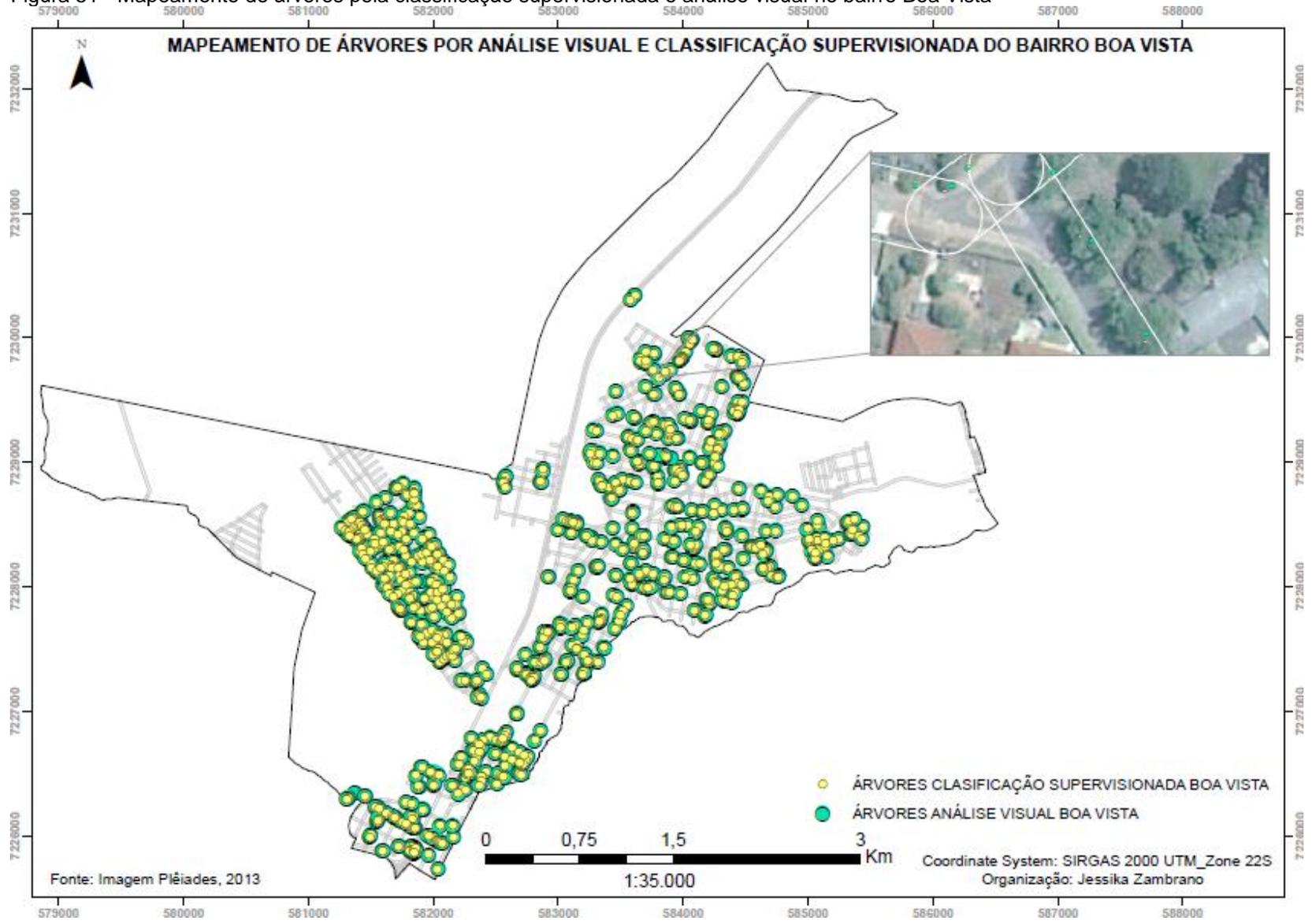
Fonte: A autora, 2020

Figura 50 – Boa vista método classificação supervisionada



Fonte: A autora, 2020

Figura 51 - Mapeamento de árvores pela classificação supervisionada e análise visual no bairro Boa Vista



Fonte: A autora, 2020

Para o bairro Oficinas (Figura 52 A, B e C), registrou-se uma acurácia de 81,17% e o índice Kappa foi de 0,77, demonstrando uma concordância muito boa (Tabela 23).

Tabela 23 - Matriz de erro para classificação supervisionada no bairro Oficinas

CLASS_NAME	PREDICT	ÁREA URBANIZADA	PASTAGEM	ÁREA FLORESTAL	CAMPO	SILVICULTURA	ÁREA DESCOBERTA	PERCENT	PREDICTIONS
ÁREA URBANIZADA	1	88	7	0	0	13	12	73,3%	120
PASTAGEM	2	0	67	0	1	1	0	97,10%	69
ÁREA FLORESTAL	3	0	0	100	20	0	0	83,33%	120
CAMPO	4	0	20	0	79	0	0	79,80%	99
SILVICULTURA	5	0	6	0	0	65	0	91,55%	71
ÁREA DESCOBERTA	6	12	0	0	0	21	88	72,73%	121
	PERCENT	88	67	100,00	79,00	65,00	88	81,17%	600
	Count Truth	100	100	100	100	100	100		

Fonte: A autora, 2020

A classificação das vias obteve uma acurácia de 85,62% e índice Kappa de 0,83, indicando uma concordância excelente. As classes árvores e grama, que eram as classes de maior interesse para essa pesquisa, registraram uma acurácia em relação aos pontos verdadeiros de 77,27% e 71,43%, respectivamente, indicando que o mapeamento foi possível (Tabela 24).

Tabela 24 - Matriz de erro classificação supervisionada das vias no bairro Oficinas

CLASS_NAME	PREDICT	ÁREA DESCOBERTA	VIAS	CALÇADAS	ÁRVORES	EDIFICAÇÕES	GRAMA	PERCENT	PREDICTIONS
ÁREA DESCOBERTA	1	50	0	9	0	0	0	84,75%	59
VIAS	2	0	46	4	0	0	0	92,00%	50
CALÇADAS	3	0	4	36	0	0	0	90,00%	40
ÁRVORES	4	0	0	0	34	0	10	77,27%	44
EDIFICAÇÕES	5	0	0	0	0	50	0	100,00%	50
GRAMA	6	0	0	0	16	0	40	71,43%	56
	PERCENT	100	92	73,47	68,00	100,00	80	85,62%	299
	Count Truth	50	50	49	50	50	50		

Fonte: A autora, 2020

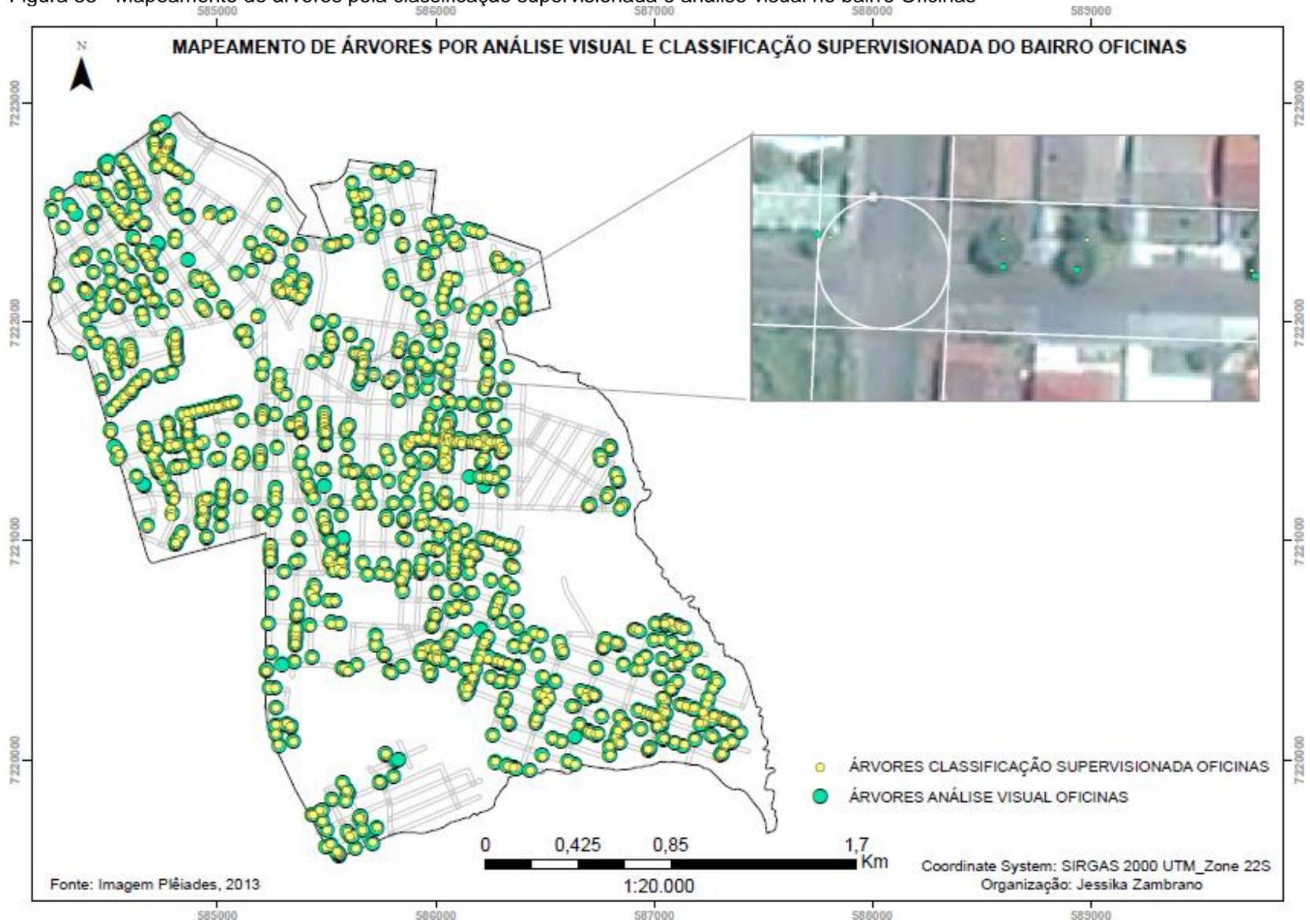
O mapeamento, através da aplicação da metodologia para o bairro Oficinas, resultou em 1187 árvores, ou seja, 96,19 % se comparado ao mapeamento feito por meio da análise visual, com 1234. Na Figura 53 pode-se observar o mapeamento empregando a classificação supervisionada.

Figura 52 - Bairro Oficinas método classificação supervisionada



Fonte: A autora, 2020

Figura 53 - Mapeamento de árvores pela classificação supervisionada e análise visual no bairro Oficinas



Fonte: A autora, 2020

5.5 DISCUSSÕES

É importante saber como as árvores estão sendo mapeadas pelo software, pois esse pode estar mapeando informações que não são precisas em comparação à metodologia da análise visual. Portanto, os verdadeiros positivos, os falsos positivos e os falsos negativos obtidos auxiliaram na identificação de possíveis erros em relação à obtenção das árvores, além daquelas inicialmente mapeadas ou ainda não mapeadas na metodologia da análise visual.

Devido ao buffer escolhido de 10 m, como já foi mencionado anteriormente, algumas árvores ficaram fora dele, sendo que 33 árvores da análise visual estavam fora de alcance no bairro Oficinas, 51 no bairro Boa Vista, 68 na Área Central e 27 no bairro Chapada.

Porém, a análise foi realizada incluindo-as, pois estavam a distâncias mínimas do buffer e poderiam significar uma grande diferença na avaliação de positivos falsos e verdadeiros. A fim de obter os resultados demonstrados no Quadro 12, a coleta dos pontos foi realizada estabelecendo-se uma distância de 5m em relação às árvores identificadas pela metodologia da análise visual.

Quadro 12 - Identificação de falsos positivos, falsos negativos e verdadeiros positivos

Bairro	Método	Falso positivo	Falso Negativo	Verdadeiro positivo	Fora do buffer de 10m	Dentro do buffer de 10m	Árvores obtidos pelo classificador
CHAPADA	ANÁLISE VISUAL	0	0	3101	27	3074	3101
ÁREA CENTRAL		0	0	808	68	740	808
BOA VISTA		0	0	965	51	914	965
OFICINAS		0	0	1234	33	1201	1234
CHAPADA	NDVI	171	1335	174	27	3074	1680
ÁREA CENTRAL		44	360	84	68	740	488
BOA VISTA		244	198	367	51	914	809
OFICINAS		51	100	1041	33	1201	1192
CHAPADA	CLASSIFICAÇÃO NÃO SUPERVISIONADA	122	292	2414	27	3074	2828
ÁREA CENTRAL		9	71	664	68	740	744
BOA VISTA		88	78	830	51	914	996
OFICINAS		58	58	1125	33	1201	1241
CHAPADA	CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA	134	531	1899	27	3074	2564
ÁREA CENTRAL		26	102	604	27	3074	732
BOA VISTA		31	57	850	51	914	938
OFICINAS		66	106	1015	33	1201	1187

Fonte: A autora, 2020

A obtenção de árvores através da aplicação dessas metodologias alcançou bons resultados (Quadro 13).

Quadro 13– Resumo das matrizes de erro por bairro e método empregado

BAIRRO	MATRIZ DE ERRO, BUFFER VIAS	MÉTODO EMPREGADO	ÍNDICE KAPPA	CONCORDÂNCIA
CHAPADA	61,60%	NDVI	0,43	BOA
	70,33%	CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA	0,64	MUITO BOA
	83,00%	CLASSIFICAÇÃO NÃO SUPERVISIONADA	0,79	MUITO BOA
ÁREA CENTRAL	56,80%	NDVI	0,39	RAZOÁVEL
	87,00%	CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA	0,84	EXCELENTE
	60,67%	CLASSIFICAÇÃO NÃO SUPERVISIONADA	0,52	BOA
BOA VISTA	74,62%	NDVI	0,68	MUITO BOA
	78,33%	CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA	0,74	MUITO BOA
	76,59%	CLASSIFICAÇÃO NÃO SUPERVISIONADA	0,72	MUITO BOA
OFICINAS	74,70%	NDVI	0,64	MUITO BOA
	85,62%	CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA	0,83	MUITO BOA
	76,92%	CLASSIFICAÇÃO NÃO SUPERVISIONADA	0,77	MUITO BOA

Fonte: A autora, 2020

Nesse caso, as matrizes demonstraram o erro, mas não inviabilizaram a utilização das metodologias. Os mapeamentos possuíram acurácias acima de 50% e os índices kappa acima de 0,4, significando que as concordâncias sempre foram de qualidade boa ou superior.

Além desses erros, deve ser considerado o contexto da árvore, como está sendo visualizada na imagem, uma vez que o maior problema é a mistura dos pixels nas classes.

Segundo Neto, Biondi e Araki (2010), nos locais em que não foram mapeadas algumas árvores pode ser em função do tamanho da copa da árvore na imagem pois, se o tamanho é muito pequeno, é provável que o classificador não identifique como árvore, mas caso seja identificada pode ser que na conversão de raster para vetor fique com uma área pequena. Por essa razão, devem-se retirar os polígonos menores que 1m², mesmo que isso signifique retirar informação relevante.

Para o caso da obtenção do NDVI, o estado da vegetação teve influência nos resultados, uma vez que o comportamento espectral pode ser diferente de acordo com a época de aquisição da imagem, levando a resultados relacionados ao momento de captura da imagem, gerando comportamentos espectrais diferentes no futuro (WARD; JOHNSON, 2007).

De acordo com Ardila et al. (2011), os pontos mais inconvenientes no reconhecimento das árvores usando metodologias semiautomáticas é a baixa separabilidade das classes, como foi demonstrado nos quatro bairros da cidade. Isso

deve-se a proximidade das árvores com outras classes de vegetação, como foi o caso das classes árvores e grama. Em razão disso, optou-se por extrair essas duas classes e não somente a classe árvores, pois era evidente que dentro da classe grama havia alta probabilidade de encontrar árvores.

A visualização das sombras permitiu ressaltar ainda mais o que era árvore de outro tipo de vegetação, mas quando a sombra se encontrava dentro do contexto de edificações e calçadas isso dificultou o reconhecimento da árvore.

A segmentação acrescentou mais facilidade na classificação supervisionada, pois, segundo Erikson (2004), deve-se escolher o algoritmo de segmentação com a finalidade de ressaltar as copas das árvores. Para a presente pesquisa o algoritmo escolhido “meant Shift” permitiu definir as copas das árvores, mais ainda apresentava uma mistura com outras classes. A identificação das árvores, embora os falsos positivos e os falsos negativos apresentaram valores preocupantes no caso do NDVI, pode ser alterado de acordo com a faixa de distância concedida, ou seja, pode-se testar com mais de 5m, obtendo como consequência novos resultados, mas em concordância com a resolução espectral da imagem, a alteração da distância pode gerar ainda mais informação não relevante para a pesquisa.

Os erros relacionados às classificações automatizadas podem ser diminuídos com testes em que o número de interações ou o método de distribuição estatística seja alterado e ainda pode-se testar com outra combinação RGB.

Em relação aos melhores resultados, e tomando como pontos de verdade o mapeamento feito por meio da metodologia de análise visual, sendo que essas árvores obtidas representavam o 100% mapeado, foi feita uma comparação com cada um dos métodos empregados em cada bairro, incluindo as obtidas por o NDVI, que como já foi exposto acima, os resultados foram diferentes em comparação com as outras metodologias devido à sua resolução espacial.

Em relação as percentagens obtidas (Quadro 14), pode-se observar que os melhores resultados, quando comparados à análise visual, foram por meio da classificação não supervisionada, mas pode ser conveniente considerar propor a classificação supervisionada, pois a pesquisa requer um conhecimento prévio das classes com a finalidade de diminuir os erros. Além disso, a classificação não

supervisionada gerou informação extra, indicando uma possível mistura de classes tomadas como árvores mais não pertencentes a essa classe.

Quadro 14 – Porcentagens de árvores mapeadas por bairro e o método usado

BAIRRO	METODO	PORCENTAGEM DE MAPEAMENTO
CHAPADA	NDVI	56,00%
	CLASSIFICAÇÃO NÃO SUPERVISIONADA	91,19%
	CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA	82,68%
ÁREA CENTRAL	NDVI	60,90%
	CLASSIFICAÇÃO NÃO SUPERVISIONADA	92,07%
	CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA	90,59%
BOA VISTA	NDVI	83,83%
	CLASSIFICAÇÃO NÃO SUPERVISIONADA	SUPEROU 100%
	CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA	97,20%
OFICINAS	NDVI	96,59%
	CLASSIFICAÇÃO NÃO SUPERVISIONADA	SUPEROU 100%
	CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA	96,19%

Fonte: A autora, 2020

O NDVI, apesar de não poder ser considerado uma classificação, obteve resultados que contribuíram para a pesquisa, permitindo conhecer a presença de vegetação e distinguir as árvores dentro da vegetação urbana.

As metodologias podem ser aplicadas para qualquer tipo de cidade, tendo como requisitos, contar com uma imagem de alta resolução espacial, ter conhecimento da área e suas classes de uso da terra e contar pelo menos com um levantamento dos pontos reais extraídos em campo, como referência.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa valeu-se do sensoriamento remoto por meio da utilização de imagem de alta resolução espacial, empregando as metodologias da classificação supervisionada e não supervisionada, além da classificação por segmentação e do NDVI na quantificação e mapeamento das árvores presentes nas calçadas das vias públicas da área urbana de Ponta Grossa, no estado do Paraná.

O NDVI foi a metodologia que registrou o mapeamento mais baixo das árvores em comparação com as metodologias de classificação supervisionada e não supervisionada. Uma das razões estaria associada à operação matemática, pois somente permite separar o que é vegetação do que não é. A maioria das vezes, a operação é utilizada em áreas grandes, como reservas florestais, matas, cultivos, entre outros, por isso houve dificuldade na identificação das árvores nas calçadas, dando um resultado baixo no mapeamento. Além disso, a resolução espacial de 2m, para se trabalhar com as bandas do vermelho e infravermelho, dificultou a identificação da árvore, uma vez que isso fez com que ocorresse uma mistura de pixels de outras classes.

Quanto à classificação não supervisionada, foi a metodologia que mapeou o maior número de árvores, mas a mistura de classes foi bastante notória, contudo a mesma pode ser considerada uma ferramenta prévia para a classificação supervisionada, uma vez que não é necessário conhecer melhor o terreno.

Assim, dentre as metodologias testadas, a que pode contribuir melhor para o mapeamento das árvores é a classificação supervisionada, mesmo requerendo um conhecimento prévio do local para melhorar a acurácia. Empregando-se a segmentação das imagens, a definição das classes foi melhor e, em alguns processos, de acordo a imagem, podem ser empregados filtros.

Os bairros com melhores resultados em ordem decrescente foram: Oficinas foi de 97,78%, Boa Vista 94,74%, Área Central 81,01% e Chapada 76,02%. Oficinas foi o bairro que obteve melhores resultados devido à distribuição da arborização nas calçadas. Para o caso de Chapada, a causa da sua percentagem foi a mistura de pixels das demais classes, em especial das classes com vegetação presente na arborização das calçadas.

Os resultados foram bons, provando que o mapeamento feito com as metodologias teve uma acurácia positiva quanto aos resultados esperados.

Finalmente, pode-se concluir que o uso do sensoriamento remoto acrescentou agilidade aos mapeamentos feitos por meio da metodologia da análise visual, diminuindo o tempo empregado. Além disso eliminou a subjetividade do técnico que fez o processo, e por meio de estatísticas e operações matemáticas, pôde-se identificar a qualidade dos resultados alcançados.

No entanto, ainda é possível acrescentar mais processos, uma vez que a maioria dos estudos utilizou a topografia de terrenos e as bases de dados em que os pontos verdadeiros, ou seja, os pontos de comparação para fazer as matrizes de erro eram coletados em campo. Alguns trabalhos utilizaram modelos digitais de terreno, fazendo com que o processo pudesse, inclusive, identificar a altura das árvores a partir do tratamento dos dados no software. Outros estudos não contaram com imagens de satélites, pois foram substituídas por ortofotos obtidas com veículos aéreos não tripulados.

Os resultados podem ser considerados muito bons, considerando ser essa a primeira tentativa. Outras pesquisas podem incluir mais classes, isso pode levar a uma maior separabilidade, permitindo um maior reconhecimento das árvores. Esse tipo de estudo pode ser utilizado nos próximos levantamentos de campo para se ter um conhecimento prévio no momento de dar continuidade ao inventário de campo para os demais bairros de Ponta Grossa.

O inventário feito no campo ainda segue sendo a melhor maneira para conhecer o estado da arborização das calçadas, mas mapeamentos como esses realizados nessa pesquisa permitem não só quantificar as árvores, como também identificar sua localização no espaço, unindo informações e gerando bases de dados robustas que irão auxiliar no futuro o planejamento da arborização e a tomada de decisões.

Quanto à diminuição dos erros, é possível realizar testes em que se inclua uma aplicação dos filtros para a imagem, uma segmentação com o uso de outro software que conte com mais possibilidades e aquisição de mais imagens para fazer comparações multitemporais.

Quanto as metodologias, são procedimentos que geram resultados de boa qualidade, por isso é importante ter em mente que os erros obtidos, ou os resultados não satisfatórios, não dependem de sua utilidade, mas se, de imagens de baixa resolução espacial, da falta de dados, como por exemplo dados lidar, modelos digitais de terreno e elevação, ortofotos entre outros.

Além disso como o NDVI é uma operação entre bandas, o resultado é uma nova banda, que inserida na função de bandas, para realizar as classificações, pode obter resultados ainda melhores que os obtidos na presente pesquisa.

REFERÊNCIAS

AGUILAR, C. **Aplicación de Índices de Vegetación Derivados de Imágenes Satelitales Landsat 7 ETM+ y ASTER para la Caracterización de la Cobertura Vegetal en la Zona Centro de la Provincia De Loja, Ecuador**. 2014, 120 f. Tese (Mestrado em Geomática) - Facultad de Ingeniería y Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, Universidad de La Plata, La Plata.

AGYEMANG, T. et al. Accuracy Assessment of Supervised Classification of Submersed Macrophytes Using GIS and Error Matrices: The Case of Lake Sevan, Armenia. **Hidrobiology**, n. 661, p. 85-96. 2011.

AIRBUS, **Optical and Radar Data The Most Extensive and Accurate Imagery Solutions with a Unique Constellation**. 2019. Disponível em: <https://www.intelligence-airbusds.com/optical-and-radar-data/>. Acessado em: 10 Dez 2019.

AKBARI, H. Shade trees reduce building energy use and CO2 emissions from power plants. **Revista El Sevier**, v. 116, p. 121-126, 2002.

ALMEIDA, A. **O VALOR DAS ÁRVORES: Árvores e Floresta Urbana de Lisboa**. 2006. 342f. Tese (Doutorado em Arquitetura Paisagística) - Instituto Superior De Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa.

AMÍLCAR, J. **Sustentabilidad Del Arbolado Urbano Viario De La Ciudad De Buenos Aires: Evaluación De La Sustentabilidad Ecológica Del Arbolado Urbano Viario En Tres Comunas De La Ciudad De Buenos Aires**. 2016. 168 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental Metropolitana) - Facultad de arquitectura, diseño y urbanismo, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.

AMRO, I. et al. A survey of classical methods and new trends in pansharpening of multispectral images. **EURASIP Journal on Advances in Signal Processing**, p. 1-33, 2011.

ANGELINI, M. Mapeo Digital de Suelos aplicado a la agricultura de precisión. **CONGRESO DE VALOR AGREGADO EN ORIGEN**, 1, 2012.

ANGELIS, B.; LOBODA, C. Áreas Verdes Públicas Urbanas: Conceitos, Usos e Funções. **Revista Ambiência**, v.1, n.1, p.125-139, 2005.

ARAUJO, M.; ARAUJO, A. **Arborização Urbana**, serie de cadernos técnicos. Paraná, 2011. Disponível em: <https://www.crea-pr.org.br/ws/wp-content/uploads/2016/12/arborizacao-urbana.pdf>. Acesso em: 02 fev. 2019.

ARDILA, J. et al. Context-sensitive extraction of tree crown objects in urban areas using VHR satellite images. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, n. 15, p 57-69, 2011.

ARDILA, J. **Object-based methods for mapping and monitoring of urban trees with multitemporal image analysis**. 2012, 176 f Tese (Doutorado em Geoformação) – Faculty of Geo- Information Science and Earth Observation, University Of Twente, Netherlands.

BARROS, R. A. **Arborização viária urbana e o seu potencial turístico na cidade de Maringá/PR**. 2010. 97 f. Dissertações (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Londrina.

BIONDI, D. **Arborização Urbana Aplicada à educação Ambiental nas escolas**. Curitiba: [s.n.], 2008. 120 p.

BIONDI, D.; LIMA NETO, E. **Pesquisa em arborização de ruas**. Curitiba: o Autor, 2011.

BIONDI, D.; ALTAHUS, M. **Árvores de Ruas de Curitiba Cultivo e Manejo**. Curitiba: Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, 2005. 182 p.

BORELLI, S.; CONIGLIARO, M.; PINEDA, F. Los bosques urbanos en el contexto global. **Revista internacional sobre bosques y actividades en industrias forestales Unasyva**, v. 69, n. 1, p. 3-11, 2018.

BORJA, J. **La ciudad conquistada**. España: Alianza editorial, 2003. 382 p.

BRASIL. Estatuto da Cidade. **Lei 10.257**, 10 de julho de 2001. Brasília: Distrito Federal, 2001. Disponível em: https://www.camara.leg.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=540466. Acesso em: 30 jul. 2019.

BRASIL. **Lei no 9.503**. Presidência da República Casa Civil Subchefia para Assuntos Jurídicos Brasília: Distrito Federal, 1998. Disponível em: <https://www2.camara.leg.br/legin/fed/lei/1997/lei-9503-23-setembro-1997-372348-anexo-pl.pdf>. Acesso em: 30 jan. 2019.

BUCCHERI FILHO, A.; NUCCI, J. Espaços Livres, Áreas Verdes E Cobertura Vegetal No Bairro Alto Da XV, Curitiba/Pr. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 18, p. 48-59, 2006.

BURGOS, M.; MANTEROLA, C. Conceptos fundamentales del análisis Espacial que sustentan la investigación Científica basada en geotecnologías. In: FUENZALIDA, M; BUZAI, G.; MORENO, A.; GRACIA, A. **Geografía, geotecnología y análisis espacial: tendencias, métodos y aplicaciones**. Triangulo: Santiago de Chile, 2015. p. 56-72.

BURGOS, M.; MANTEROLA, C. Cómo interpretar un artículo sobre pruebas diagnósticas. **Revista Chilena de Cirugía**, n. 3, v. 62, p. 301-308, 2010.

BUZAI, G. **La exploración Geodigital**. Buenos Aires: Lugar Editorial S.A, 2000

CALAZA, P. et al. Crear paisajes urbanos e infraestructura verde. **Revista internacional sobre bosques y actividades en industrias forestales Unasyva**, v. 69, n. 1, p. 3-11, nov-dic. 2018.

CALDEIRA, J. M. A **Praça Brasileira Trajetória de um Espaço Urbano**: origem e modernidade. 2007. 434 f. Tese (Doutorado em História) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Campinas, São Paulo.

CANADIAN URBANFOREST STRATEGY. 2019-2024.

CARNEIRO, D.; CARVALHO, S. As Estruturas De Gestão E Planejamento Da Arborização Urbana De Ponta Grossa – Pr. **Periódico técnico e científico cidades verdes**, Ponta Grossa, v. 01, n. 01, p. 94-116, abr, 2013

CAVALHEIRO, F et al. Proposição de terminologia para o verde urbano. **Boletim Informativo**, n.3, 1999.

CENTENO, J. **Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais**. Curitiba: Universidade Federa de Paraná (UFPR). 2009.

CHEN, A. et al. Effect of urban green patterns on surface urban cool islands and itsseasonal variations. **Urban Forestry & Urban Greening**, n. 30, p. 1-9, 2014.

CHUVIECO, E. **Fundamentos de Teledetección Espacial**. 2 ed. Rialp, Madrid, 2000. 449 p.

CHUVIECO, E. **Teledetección Ambiental, La Observación De La Tierra Desde El Espacio**. 3 ed. Ariel ciencia: Barcelona, 2008. 62 p.

CONGALTON, R. Putting the Map Back in Map Accuracy Assessment. In: LUNETTA, R.; LYON, J. **Geospatial Data Accuracy Assessment**. Environmental Agency: United States, 2004. p. 1-13.

CRISPIM, M.; CARVALHO, S. Distribuição Espacial Da Arborização De Vias Públicas No Bairro Chapada E Piriquitos Em Ponta Grossa-Pr. In: XXVII Encontro anual de iniciação científica, IV Encontro anual de iniciação Científica Junior. 17, 2018, Ponta Grossa. **Anais EAIC**, Ponta Grossa, 2018. p. 1- 4.

CRISPIM.; PALHANO, E.; CARVALHO, S. Tendências de pesquisa em arborização de vias públicas com o uso de geotecnologias. In: XXV Semana de Geografia, 15, 2018, Ponta Grossa. **Anais Novas Tecnologias**: aplicações na Geografia, Ponta Grossa, 2018. p. 31-35.

DUDE, R.; HART, P.; STORK D. **Pattern Classification and Scene Analysis**. 2 ed. California: John Wiley & Sons, Inc. 1995

DWYER, J. et al. Assessing the Benefits and Costs of the Urban Forest. **Revista Journal of Arboriculture**, v. 18, n. 5, p. 227-234, 1992.

ERIKSON, M. **Segmentation and Classification of Individual Tree Crowns**. 2004. 45f Tese (Doutorado em Ciências Agrícolas) – Centre for Image Analysis, Swedish University, Uppsala.

ESRI, ARCGIS Desktop. **Comprender la segmentación y clasificación**. 2016 Disponível em: <http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/understanding-segmentation-and-classification.htm#GUID-9DC0D87F-0814-4AD6-B6BE-E68CC23E412B>. Acesso em: 12 nov. 2019.

FALK, D.; CAMPOS, A. Algoritmo semiautomático para el conteo de árboles en plantaciones forestales mediante el uso de imágenes aéreas. In: Congreso Argentino de AgroInformática, 6, 2014, Argentina. **Artículo** Departamento de Electrónica, Facultad Regional, Instituto de Clima y Agua, Centro de Investigación en Recursos Naturales, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires, 2014. p. 186-194.

FERRINI, F.; FINI, A. Sustainable management techniques for trees in the urban áreas. **Journal of Biodiversity and Ecological Sciences**, n. 1, v. 1, p. 1-20, 2010.

FITZ, P. **Geoprocessamento Sem Complicação**. São Paulo: Oficina de textos, 2008.

FLORENZANO, T. **Imagens de Satélite para Estudos Ambientais**. São Paulo: Oficina de Textos. 2002.

GIL, Y. **Detección y localización de árboles en áreas forestales empleando datos LIDAR e imágenes de alta resolución**. 2010. 143f. Trabajo final (Ingeniería Geodésica y Cartográfica) - Escuela Técnica Superior De Ingeniería Geodésica, Cartográfica Y Topográfica, Universidad Politécnica De Valencia, Valencia.

GOMES, P. C. C. **A condição humana: ensaios de geopolítica da cidade**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

GONÇALVES, W. **Arborização urbana**. Viçosa: Centro de Produções Técnicas, 2009.

GONZALES, C. Beneficios del arbolado urbano. 2002, 24 f. Ensayo doctoral. Universidad de Cordoba. España, 2002.

GOUGEON, F. A Crown-Following Approach to the Automatic Delineation of Individual Tree Crowns in High Spatial Resolution Aerial Images. **Journal canadien**, p. 273-284. 2006.

HELLIS SOLUTIONS LIMITED, Arboriculture & Landscape Design. **Sound barrier The use of Trees and Shrubs to Reduce Noise**. Disponível em : <https://www.hellis.biz/advice-centre/living-with-trees/sound-barriers-the-use-of-trees-and-shrubs-to-reduce-noise/>. Acesso em : 29 out. 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/ponta-grossa/panorama>. Acesso em: 12 out. 2018.

IBGE. **Manual Técnico de Uso da Terra**. 2. ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2006.

IGAC. **Metodología**: Interpretación De Imágenes De Sensores Remotos Aplicada A Levantamientos De Cobertura De La Tierra, p. 1-17. 2017. Disponível em: <http://igacnet2.igac.gov.co/intranet/UserFiles/File/procedimientos/procedimientos%2008/2017/M407000317%20V1%20Interpretacion%20de%20imagenes%20de%20sensores%20remotos%20aplicada%20a%20levantamientos%20de%20cobertura%20de%20la%20tierra.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2019.

IPLAN. PONTA GROSSA. Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Ponta Grossa. **Manual de Implantação de Parklet Em Ponta Grossa**. 2016.

JENSEN, J. **Sensoriamento Remoto do Ambiente**: Uma perspectiva em Recursos Terrestres. 2 ed. California: Parentese, 2011.

JIM, C.Y. Tree canopy characteristics and urban development in hong kong. **Geographical Review** n 2, v.79, p. 220-255, 1989.

JIM, C.; CHEN, S. Comprehensive greenspace planning based on landscape ecology principles in compact Nanjing city, China. **Landscape and Urban Planning**, n. 65, p. 95-116, Nov, 2002.

KONG, F. et al. Effects of spatial pattern of greenspace on urban cooling in a large metropolitan area of eastern China. **Landscape and Urban Planning**, n. 138, p. 35-47, 2014.

KONIJNENDIJK, C. A decade of urban forestry in Europe. **Forest policy and economics**, n. 5, p. 173-186, 2003.

KONIJNENDIJK, C. et al. Defining urban forestry – A comparative perspective of North America and Europe. **Urban Florestry Urban greening**, n.4, p. 93-103, 2006.

KONIJNENDIJK, C.; RANDRUP, T. Urban Forestry. **LANDSCAPE AND PLANNING/ Urban Forestry**, p. 471-478, 2004.

KUCHELMEISTER, G. Urban trees in arid landscapes: Multipurpose urban forestry for local needs in developing countries. **Revista Aridlands**, n. 42, 1997. Disponível em: <https://cals.arizona.edu/OALS/ALN/aln42/kuchelmeister.html>. Acesso em: 20 mai. 2019.

LABAKI, L. et al. Vegetação E Conforto Térmico Em Espaços Urbanos Abertos, Belo Horizonte, **Fórum patrimônio**, v 4, n. 1, p. 23-42, 2011.

LANDIS, J.; KOCH, G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.

LECKIE, D. et al. Forest Parameter Extraction through Computer-Based Analysis of High Resolution Imagery. In: 21st Canadian Symposium on Remote Sensing, 21, 1999, Ottawa. p. 1-9.

LEHNER, A.; BLASCHKE, T. A Generic Classification Scheme for Urban Structure Types. **Remote sensing**, v. 11, n. 173, p. 1-21, 2019.

LISTER, W; LISTER, A; ALEXANDER, E. Land use change monitoring in Maryland using a probabilistic sample and rapid photointerpretation. **Revista Applied Geography**, n. 51, p. 1-7, 2014.

MARCEAU, D. et al. Remote Sensing and the Measurement of Geographical Entities in a Forested Environment. 2. The Optimal Spatial Resolution. **Journal remote sens. Environ**, n. 19, p. 105-117, 1994.

MARQUEZ, F. Bosque urbano. Otro modo de entender el arbolado de la ciudad y su paisaje. **Revista conceptos**, p. 121-137, 1991.

MARTINI, A.; BIONDI, D.; BATISTA, A. A Influência Das Diferentes Tipologias De Floresta Urbana No Microclima Do Entorno Imediato. **Ciencia florestal**, v. 28, n. 3, p. 997-1007, 2018.

MASCARÓ, L, J. **Vegetação Urbana**. ed. Porto Alegre: Masquatro, 2015.

MCPHERSON, G.; COSTELLO, L.; BURGER, D. Can trees win the battle with infrastructure? **Revista Arborist News**, n. 3, v. 10, p. 21-24, 2001.

MENEGHETTI, G. **Estudo de dois métodos de amostragem para inventário da arborização de Ruas dos Bairros da Orla Marítima Do Município de Santos, Sp**, 2003. 115 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Silvicultura e manejo florestal, Escola Superior de Agricultura, Piracicaba, São Paulo.

MILANO, M. **Avaliação E Análise Da Arborização De Ruas De Curitiba – Pr**.1984, 154 f. Tese (Mestre em Ciências Florestais) – Ciências Agrárias, Universidade Federal de Paraná, Curitiba.

MILANO, M.; DALCINI, E. **Arborização De Vias Públicas**: Rio de Janeiro: Biosys-consultoria Ltda, 2000.

MONTEIRO, M. A floresta Urbana e a Paisagem. In: **Floresta Urbana**. Editora: Curitiba, 2007. p. 49-80.

MONTEIRO, M. **Caracterização Da Floresta Urbana De Curitiba-Pr Por Meio De Sensoriamento Remoto De Alta Resolução Espacial**. 2015, 149 f. Tese (Doutorado

em Engenharia Florestal) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MORALES, J. **Índice De Degradación De La Vegetación Sometida A Manejo Forestal En El Sur De Nuevo León, México**. 2014. 78f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Facultad de ciencias forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, Linares.

MOREIRA, M. **Fundamento do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. Viçosa: UFV, 2007.

MORENO, M.; BARILLA, E.; SMITH, C. **El bosque urbano de Xalapa**. Co-edición entre el Instituto de Ecología, A.C., Universidad Veracruzana, SIGOLFO, CONACYT. 2004.

NARVAEZ, A; **Reapropiaciones De Henri Lefebvre: Crítica, Espacio Y Sociedad Urbana**. Editora Triangulo: Santiago de Chile, 2015.

NETO, E. **Índices E Métricas Para A Gestão Das Árvores De Rua De Boa Vista – Rr A Partir De Cadastro Espacial**. 2014, 168 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Paraná, Curitiba.

NETO, E. **Aplicação do Sistema de Informações Geográficas Para o Inventário Da Arborização de Ruas de Curitiba, Pr**. 2011, 120 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal Do Paraná, Curitiba.

NETO, E.; BIONDI, D.; ARAKI, H. Aplicação Do Sig Na Arborização Viária – Unidade Amostral Em Curitiba-Pr. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 3., 2010, Recife, **Anais**, Recife, p. 1-6

NOVO, E. **Sensoriamento Remoto, princípios e aplicações**. 2 ed. São Jose dos Campos: Editora Edgard Blücher, 1992.

NOWAK, D.; APPLETON, N.; ELLIS, A.; GREENFIELDS, E. Residential building energy conservation and avoided power plant emissions by urban and community trees in the United States. **Urban Forestry & Urban Greening**, New York, n. 21, p. 158-165, Dec. 2016.

ONDER, S.; KOCBEKER, Z. Importance of the Green Belts to Reduce Noise Pollution and Determination of Roadside Noise Reduction Effectiveness of Bushes in Konya, Turkey. **International Scholarly and Scientific Research & Innovation**, v. 6, n.6, p. 373-376, 2012.

ORDOÑEZ, C.; DUINKER, P. Interpreting Sustainability for Urban Forests. **Sustainability**, n. 2, p. 1510-1522, 2010

PAIVA, H.; GONÇALVES, W. **Florestas Urbanas**. Viçosa: Aprenda fácil, 2002. 90p.

PAIVA, H.; GONÇALVES, W. **Silvicultura Urbana, implantação e manejo**: 2. Ed. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2012. 217p.

PALOMARES, F. **La intervención contemporánea de los habitantes en los espacios abiertos urbanos. Caso de estudio: Zona sur del Centro Histórico de la Ciudad de México**. 2011. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Facultad de Arquitectura, Universidad Nacional Autónoma De México, ciudad de México.

PARANÁ. Ministério Público do Estado do Paraná. **Manual Para Elaboração Do Plano Municipal De Arborização Urbana**. 2ª ed. Curitiba: Ministério Público do Estado do Paraná, 2018. 77p

PCI GEOMATICS geosoluciones: **Geomatica OrthoEngine Orto rectificando datos Pleiades 1ª**. P 1-12. 2018

PEIXOTO, M. C., LABAKI, L. C., SANTOS, R. F. Conforto térmico em cidades: o efeito da arborização no controle da radiação solar. ENTAC 95 - Tecnologia e Qualidade na Habitação. **Anais**, Rio de Janeiro, 1995. p. 629-634.

PONZONI, F.; SHIMABUKURO, Y. **Sensoriamento Remoto No Estudo da Vegetação**. Parêntese: São Paulo, 2007.

PRAUS, L.; VOJAČKOVA, B. **Urban forestry**. Lecture: notes. Czech Republic, 2014.

QUADROS, G. P. **Arborização Urbana na Área Central de Ponta Grossa: Implantação, Preservação e Monitoramento** 2005. - Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2005.

QUEIROZ, D. **Cobertura vegetal, Espaços livres e áreas verdes em Ponta Grossa-PR: Mapeamento, tipificação e análise**. 2014. 94f. Dissertação (Mestrado em Gestão do Território) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa.

RAMOS, M. Tratamientos estadísticos en imágenes de satélite, realces y mejoras visuales, realces radiométrico, espacial y espectral. **Revista de la carrera de ingeniería Agronomica UMSA**, p. 593-613, 2017.

RANDRUP, T. et al. The Concept of Urban Forestry in Europe. In: **Form, Function and Benefits of Urban Forests and Trees**, 2005. 9-21p.

RICHARDS, J. Supervised Classification Techniques in: **Remote Sensing Digital Image Analysis**. 5 th. Ed. Australia: Springer, 2013. p 173-184.

ROUSE, J. et al. Monitoring Vegetation Systems In The Great Plains With Ert. Proceedings, **Third Earth Resources Technology Satellite**, Symposium, v. 1, p. 309-317. 1974

SALVADOR. Prefeitura Municipal. Secretaria da Cidade Sustentável e Inovação. **Manual técnico de Arborização urbana de Salvador com espécies nativas da Mata Atlântica**. 2018.

SANCHEZ, A. **Análisis Multitemporal De La Cobertura De La Tierra En La Cuenca Del Valle De Jesús De Otoro Entre Los Años 2000-2006 Aplicando Técnicas De Teledetección**. 2009, 148 f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Terras) – Facultad de Ciencias Espaciales, Universidad Nacional Autónoma de Honduras, Honduras.

SANTOS, N.; TEIXEIRA, I. **Arborização de Vias Públicas: Ambiente x Vegetação**. RS: Clube da árvore, 2001. 135 p.

SCHUCH, M. **Arborização Urbana: Uma Contribuição À Qualidade De Vida Com Uso De Geotecnologias**. 2006, 102f. Dissertação (Mestrado em Geomática) – Área de concentração Tecnologia da Informação, Universidade Federal De Santa Maria, Santa Maria.

SILVA FILHO, D. et al. Banco de dados relacional para cadastro, avaliação e manejo da arborização em vias públicas, **Revista Sociedade de investigações Florestais**, v. 26, n. 5, p. 629-642, 2002.

SILVA FILHO, D; PAIVA, H.; GONÇALVES, W. Aspectos Conceituais. In: **Avaliando Arborização Urbana**, 2. ed. Viçosa: Aprenda Fácil, 2017. p. 18-47.

SPERANZA, F.; ZERDA, H. **Potencialidad de los índices de vegetación para la discriminación de coberturas forestales**, 2002, 10f. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Santiago del Estero.

TADENUMA, S. **Espacialização Da Arborização De Vias Públicas Por Densidade E Níveis De Atenção Na Na Área Urbana De Ponta Grossa (Pr)**. 2019, 196 f. Dissertação (Mestrado em Gestão do Território) – Sector De Ciências Exatas E Naturais, Universidade Estadual De Ponta Grossa, Ponta Grossa.

TAYLOR, M. et al. Research note: Urban street tree density and antidepressant prescription rates—A cross-sectional study in London, UK. **Landscape and Urban Planning**, n. 136, p. 174-179, 2015.

VÁSQUEZ, A. **Metodología para detectar cambios en el uso de la tierra utilizando los principios de la clasificación orientada a objetos, estudio de caso piedemonte de Villavicencio**, 2011. 94 f. Dissertação (Mestrado em Geomática) Facultad de Ingeniería Agronómica, Bogotá.

WARD, K.; JOHNSON, G. Geospatial methods provide timely and comprehensive urban forest information. **Urban Forestry & Urban Greening**, n. 6, p. 15-22, 2007.