

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA**



ROCKY HELIPRIO LOPES SANTOS

**MAPEAMENTO DA VEGETAÇÃO NATURAL E ANÁLISE DA
FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL UTILIZANDO IMAGENS DE
ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL E DE CLASSIFICADORES
BASEADOS EM OBJETOS**

**RIO DE JANEIRO
DEZEMBRO – 2013
ROCKY HELIPRIO LOPES SANTOS**

MAPEAMENTO DA VEGETAÇÃO NATURAL E ANÁLISE DA FRAGMENTAÇÃO
FLORESTAL UTILIZANDO IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL E DE
CLASSIFICADORES BASEADOS EM OBJETOS.

Dissertação de Mestrado Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia,
Universidade Federal Do Rio De Janeiro, Como Parte dos Requisitos Necessários à
Obtenção do Título de Mestre em Geografia.

Orientadora:
Carla B. Madureira Cruz (Prof. Dr.^a, UFRJ)

RIO DE JANEIRO
2013

ROCKY HELIPRIO LOPES SANTOS

**MAPEAMENTO DA VEGETAÇÃO NATURAL E ANÁLISE DA FRAGMENTAÇÃO
FLORESTAL UTILIZANDO IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL E DE
CLASSIFICADORES BASEADOS EM OBJETOS**

Dissertação de Mestrado Apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia,
Universidade Federal Do Rio De Janeiro, Como Parte dos Requisitos Necessários à
Obtenção do Título de Mestre em Geografia.

Data da aprovação: ____/____/____

Aprovado por:

Prof.^a Carla Bernadete Madureira Cruz; Dr.^a Sc. (Orientadora UFRJ)

Prof. Rafael Silva de Barros; Dr. Sc. (UFRJ)

Prof.^a Monika Richter; Dr.^a Sc. (UFRJ)

Prof. Vinicius da Silva Seabra; Dr. Sc. (UERJ-FFP)

Rio de Janeiro
Dezembro de 2013

FICHA CATALOGRÁFICA:

Santos, Rocky Heliprio Lopes

Mapeamento da vegetação natural e análise da fragmentação florestal utilizando imagens de alta resolução espacial e de classificadores baseados em objetos./ Rocky Heliprio Lopes Santos — Rio de Janeiro: UFRJ / Geografia, 2013. XIII, 97p.

Orientadora: Carla Bernadete Madureira Cruz.

Dissertação (mestrado) – UFRJ, Geografia, PPGG, 2013.

Referências bibliográficas: 98 – 106p.

1. Classificação Baseada em Objetos 2. Imagens de alta resolução espacial 3. Fragmentação Florestal 4. Rio de Janeiro 5. Espaço rural.

AGRADECIMENTOS

Acredito que agradecer é a primeira e mais importante ação antes e depois de qualquer trabalho, porque todo trabalho é oportunidade imensa de aprendizagem, e aprender é uma das nossas maiores garantias de felicidade. Sempre há motivos para agradecer, e por isso, em primeiro lugar quero agradecer a Deus, por mais essa oportunidade de trabalho. Quero muito agradecer ao mestre amigo Jesus tamanha presença em minha vida, que possibilitou esse pequeno estudo.

Agradeço a cada um dos meus familiares tamanho exemplo que me proporcionam frente a cada dificuldade que passei frente esse desafio. À minha mãe querida, exemplo de determinação e dedicação integral que me inspira a não desistir de nada; ao meu pai querido, agora desencarnado, mas sempre presente, inspirando minha curiosidade, a vontade de estudar através de seu exemplo... Vocês me deram a melhor herança que um filho pode ter, me fizeram pro mundo e ainda cuidam de mim. Agradeço as minhas irmãs, Marcella, Maria Eduarda e Sophia, pelo apoio que talvez nem sabem que dão, mas são razão para eu querer trabalhar para ajudar a fazer desse mundo como um lugar cada vez melhor. Agradeço à minha vizinha Elza, pessoa encarnada que mais amo no mundo, por seu colo nos momentos difíceis e felizes. Ao meu avô Evaristo, que me fez acreditar através de seus exemplos que a transpiração é o melhor combustível para qualquer inspiração. Aos meus avós Hildete e Hélio, distantes fisicamente, mas vivos na minha história, obrigado também por vocês existirem. As minhas sobrinhas Angelita, Catarina e Hellen, por fazer o que melhor as crianças sabem fazer, afastar com seus sorrisos e “engraçadisses” qualquer preocupação, como prazos, entregas, documentações, entre outros. Por essa função também agradeço aos meus afilhados Lyvia, Sophia, Danielzinho, Liz e Catarina (lindos e repletos de amor) e aos pequenos Matheus e Robert. Agradeço à minha Dinda (segunda mãe) Eurides por seus ouvidos e conselhos, as irmãs Tayanne e Maryna que só nasceram em um ventre diferente, mas sempre estiveram presentes durante esse trabalho como irmãs. Ao Gabriel e sua família, tão acolhedores e especiais, mostrando o quão é importante a união e o carinho na família para construir qualquer trabalho... são um exemplo de vida. Agradeço aos tios Edson e Edmilson, por se manterem próximos e firmes nas necessidades... me sinto muito satisfeito por ter exemplos tão bons por perto. A família GENLAR e a Família COMEERJ e a todos os companheiros de trabalho do movimento espírita, onde, por vezes fui amparado e onde fiz a reciclagem de energias para seguir em frente com força... onde experimentei ideias que indiretamente aparecem também nesse pequeno estudo.

Nesse contexto, agradeço a um especial grupo de Amigos (amores) que me ancoraram no caminho do bem e me inspiraram com conselhos e sugestões de foco para realização desta pesquisa, sei que posso contar com estes para todos os momentos, são os amigos reencontrados que sustentam a chama do ideal acesa e crescem juntos nos alavancando uns aos outros... não digo apenas dos encarnados. Não posso deixar de agradecer aos primos de sempre, Victor, Dario, Herbert, Denis, Pietro e Felipinho, amigos que sempre estarão no lado esquerdo do peito, ombros que sempre poderei contar! Nesse momento em especial agradeço ao Victor e Dario, por sua sempre proximidade, são fontes de inspiração no trabalho! É muito bom crescer juntos. Agradeço muito aos meus sogros/pais que sempre acreditaram e confiaram em mim, além de serem grandes exemplos de dedicação e trabalho, são muito especiais! Agradeço igualmente aos meus irmãos/cunhados Jacque e Adriano por todo carinho e também confiança, essa amizade é muito especial, além de toda essa família que me acolheu com muito carinho nesse e em todos os períodos que estive presente.

Preciso agradecer infinitamente minha companheira, amiga, parceira, Amor da minha vida: Camila. Pois sem seu apoio nada disso aconteceria, e certamente não faria sentido. Me incentivou a ingressar no mestrado e agradeço muito de poder finalizar junto dela. É muito bom construir projetos juntos, sabendo que se tem ao lado alguém para a vida toda.

Agora, atravessando o lado extremamente afetivo, mas não o deixando de lado, gostaria de agradecer ao Programa de Pós Graduação em Geografia da UFRJ e aos seus professores e funcionários, pelo apoio e dedicação, somado a isso, agradeço a CAPES pelo incentivo financeiro e acadêmico que é fundamental para a formação acadêmica. Agradeço muito ao Laboratório Espaço de Sensoriamento Remoto e Estudos Ambientais, por ser preponderante na minha formação, muito do que sou hoje e serei amanhã é fruto do trabalho que se desenvolveu e se desenvolve nesse Espaço. Agradeço aos amigos e colegas desse Laboratório, por seu incentivo, conversas e construção do clima magnífico desse ambiente. Em especial aos amigos Valente, Luana, Thiago, Rafinha e Vini, sólidos companheiros.

Agradeço muito à Roberta Brasileiro (Beta), amiga e pesquisadora (iniciante) de incrível talento e que contribuiu diretamente para a construção dessa pesquisa. Igualmente agradeço à Julia, por também contribuir muito e acreditar nesse trabalho.

Agradeço especialmente à Carla Madureira, não apenas por orientar, mas por ser amiga, quase mãe. Agradeço por me fazer enxergar a importância de investir em pessoas, isso, acima de qualquer coisa, é o investimento que melhor podemos realizar. Ela acreditou e investiu em mim, isso eu nunca vou esquecer. Agradeço da

mesma forma ao Rafael Barros, Monika Richter e Vinicius Seabra por transmitir essa mesma filosofia e por me ensinar muito, além disso, por compor essa banca. Agradeço a outros amigos de trabalho por suas contribuições e motivações, em especial ao Gregor, Bruno e Alexandre e Fabiane, principalmente no final da jornada que pareceu estar mais difícil de percorrer.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram direta e indiretamente e aos amigos desencarnados, tão presentes nas inspirações e sustento diante dos problemas. Trabalhadores de Jesus, não há palavras nessa vida para agradecer os benefícios recebidos.

Obrigado!

RESUMO

A presente pesquisa realizou mapeamento da vegetação natural e análise da fragmentação florestal do município de Silva Jardim, contou para isso com o insumo de imagem de alta resolução espacial do satélite *WorldView-2*. Este tipo de imagem contribuiu para o mapeamento de fragmentos florestais menores que cinco hectares identificando inclusive suas formas com detalhe. Para esta finalidade recorreu-se a metodologia de análise de imagens baseada em objetos geográficos (GEOBIA). Recente e inovador entre os métodos de classificação, o GEOBIA apresentou a possibilidade de modelagem do conhecimento do analista, através inclusive da caracterização de descritores, de grande valia neste estudo. Os descritores modelados foram aplicados na separação da classe vegetação natural para a identificação das florestas do município de Silva Jardim. O resultado da classificação é o mapa de florestas para o município de Silva Jardim na escala 1:25.000 que serve de subsídio para a análise da fragmentação florestal nesta área. Dessa forma, se faz uso da análise da fragmentação, que contou com a aplicação de métricas da paisagem na caracterização dos conjuntos de manchas. Optou-se pelas métricas que descrevem as categorias de área, densidade, tamanho médio, borda, forma e área central. Os resultados das métricas mostraram que a maior quantidade de fragmentos de floresta tem pequena área, indicando que houve elevada fragmentação no município, principalmente nas áreas de baixada. No entanto, a maior porcentagem de floresta está em fragmentos médios e grandes protegidos por Unidades de Conservação e/ou em áreas declivosas. Os pequenos fragmentos se apresentam em áreas próximas às bordas dos grandes remanescentes, o que indica que podem ter surgido a partir da fragmentação destas florestas maiores. Já, os fragmentos maiores apresentam formas mais irregulares, denotando possibilidade de nova fragmentação, em especial nas regiões com formas de maior irregularidade, por conta do forte efeito de borda, o que deve ser visto com atenção. Silva Jardim apresenta elevado percentual de áreas florestadas, embora com estado de fragmentação alto nas áreas planas, o que ocorre em toda a Mata Atlântica, isso compromete o mosaico de florestas de terras baixas. Apesar disso, essas áreas apresentam grande quantidade de fragmentos que podem servir de trampolins ecológicos para espécies nativas.

ABSTRACT

This research was conducted mapping of natural vegetation and analysis of forest fragmentation in the municipality of Silva Jardim, told this to the input of high spatial resolution satellite WorldView - 2. This kind of image contributed to the mapping of forest fragments smaller than five hectares including identifying its forms in detail. For this purpose we resorted to methodology geographic object based image analysis (GEOBIA). Between recent and innovative methods of classification, GEOBIA presented the possibility of modeling the knowledge of the analyst, even through the characterization descriptors, of great value in this study. Modeled descriptors were applied to the separation of the natural class for the identification of the municipality of Silva Jardim forest vegetation. The classification result is the map of forests in the municipality of Silva Jardim at 1:25.000 scale that can help in the analysis of forest fragmentation in this area. Thus, it makes use of the analysis of fragmentation, which included the application of landscape metrics for characterizing sets of patches. We opted for metrics that describe the categories of area, density, size, edge, shape and core area. The results of the metrics showed that the highest amount of forest fragments have small area, indicating that a high fragmentation in the city, especially in low areas. However, the highest percentage of forest is in medium and large fragments protected by conservation units and/ or hilly areas. Small fragments come in close to the edges of the remaining large, which indicates that may have arisen from the fragmentation of these larger forest areas. Already, larger fragments have more irregular shapes, indicating the possibility of further fragmentation, especially in regions with higher forms of irregularity due to the strong edge effect, which should be viewed carefully. Silva Jardim has a high percentage of forested areas, albeit with state of high fragmentation in the flat areas, which occurs across the Mata Atlântica, this compromises the mosaic of lowland forests. Nevertheless, these areas have large amount of fragments that can serve as stepping stones for native species.

Sumário

Capítulo 1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - Objetivos	3
Capítulo 2 REVISÃO CONCEITUAL.....	4
2.1 - Sensores de Alta Resolução Espacial	4
2.1.1 – O Sensor <i>WorldView-2</i>	9
2.2 – Classificação de Imagens de Sensoriamento Remoto.....	11
2.2.1 – Análise de Imagem Baseada em Objetos Geográficos (GEOBIA).....	12
2.2.1.1. – Segmentação Multirresolução.	15
2.2.1.2. – Estruturação de classes em rede semântica.....	18
2.2.1.3. – Regras de decisão e função de pertinência <i>Fuzzy</i>	20
2.3 – Fragmentação de ambientes naturais	23
2.3.1 – Análise da fragmentação	24
2.3.2 – Métricas de Estrutura da Paisagem	26
Capítulo 3 ÁREA DE ESTUDOS.....	28
Capítulo 4 MODELAGEM DE DESCRITORES PARA CLASSIFICAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL NA ESCALA 1:25.000.	33
4.1 – Introdução.	33
4.2 – Materiais e Métodos.	34
4.2.1 – Coleta de informações em Campo.	38
4.2.2 – Segmentação da imagem <i>WorldView 2</i>	43
4.2.3 – Rede Semântica e Modelagem dos descritores.....	45
4.2.4 – Edição da Classificação.....	56
4.2.5 – Avaliação da Classificação.	59
4.3 – Análise dos Resultados	61
4.4 – Conclusões.	64
Capítulo 5 CARACTERIZAÇÃO DA FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL NO MUNICÍPIO DE SILVA JARDIM.	66
5.1 – Introdução	66
5.2 – Metodologia.....	68
5.2.1 Aplicação das métricas:.....	72
5.3 – Resultados e discussão.....	73
5.3.1 Relação dos resultados com a escala:	73

5.3.2 Discussão sobre a fragmentação por meio das métricas da paisagem:.....	75
5.4 – Conclusões.	93
Capítulo 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.	95
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98

“Não vos ensoberbais do que sabeis, porquanto esse saber tem limites muito estreitos no mundo em que habitais. Suponhamos sejais sumidades em inteligência neste planeta: nenhum direito tendes de envaidecer-vos.”

(Ferdinando, Allan Kardec)

Precisamos, sim, da cultura que aprimora a inteligência, da justiça que sustenta a ordem, do progresso material que enriquece o trabalho e das assembleias que favorecem o estudo; no entanto, toda movimentação humana, sem a luz do amor, pode perder-se nas sombras...

(Emmanuel, Chico)

LISTA DE FIGURAS:

Figura 2-1: Três recortes da banda 1 da mesma cena do sensor <i>WorldView-2</i> destacando o tamanho do <i>pixel</i> e o detalhamento dos alvos da região imageada.	5
Figura 2-2: Sensores de alta resolução agrupados de acordo com o ano de lançamento e respectiva resolução espacial.	7
Figura 2-3: Largura e distribuição dos comprimentos de onda do <i>WorldView-2</i>	9
Figura 2-4: Segmentação com parâmetros diferentes. A letra “F” destaca a região que representa um campo de futebol. Na esquerda este foi subdividido em mais de um objeto, já na direita um único objeto atravessou os limites do campo.	13
Figura 2-5: Mesma imagem segmentada em três níveis de escala diferentes. Um objeto de uma segmentação tem uma relação hierárquica com outro que ocupe seu espaço em outro nível de segmentação.	15
Figura 2-6: Representação das relações hierárquicas e horizontais existentes envolvendo os objetos.	16
Figura 2-7: Na esquerda gráficos com curvas de pertinência <i>fuzzy</i> , já na direita, gráficos booleanos. Aplicações em diferentes descritores no software <i>Definiens</i>	22
Figura 2-8: Figura representando o modelo mancha – corredor – matriz proposto por Forman (1995).	25
Figura 3.0-1: Localização do município de Silva Jardim em contexto estadual.	28
Figura 3.0-2: Relação das Unidades de Conservação com o município de Silva Jardim.	30
Figura 3.0-3: Altimetria de Silva Jardim no contexto da BHRSJ.	31
Figura 4-1: Composição colorida (R3G2B1) e bandas da imagem WV-2 em mosaico sem sobreposição de área entre as cenas.	36
Figura 4-2: Fluxograma representando a metodologia da pesquisa.	37
Figura 4-3: Distribuição dos pontos visitados em campo.	39
Figura 4-4: Observação de eucalipto em diferentes fases de crescimento associado à Vegetação Natural.	40
Figura 4-5: Separação dos objetos na segmentação de nível 1.	44
Figura 4-6: Imagem ilustrando a rede semântica.	46
Figura 4-7: Primeira separação (classificação).	53
Figura 4-8: Segunda separação (classificação).	54

Figura 4-9: Terceira separação (classificação).....	55
Figura 4-10: Quarta separação (classificação).....	55
Figura 4-11: Classificação não editada à esquerda e Classificação editada à direita..	56
Figura 4-12: Detalhe de duas que se modificaram no processo de edição.	57
Figura 4-13: Distribuição dos pontos de avaliação.	60
Figura 4-14: Um dos muitos trechos onde a classe VSI/ Regeneração está espacialmente associada à classe Vegetação Natural.....	62
Figura 4-15: Mapa resultado da classificação da vegetação natural em Silva Jardim.	63
Figura 5-1: Fluxograma da metodologia de estudo.	69
Figura 5-2: Distribuição dos fragmentos segundo as classes de área.....	76
Figura 5-3: Localização de cada classe no município.	80
Figura 5-4: Vetores ao longo de áreas desmatadas em uma das regiões da área de estudos.....	81
Figura 5-5: Pequenos fragmentos ao longo de corredores formados no maior remanescente da região.	82
Figura 5-6: Condição dos fragmentos segundo a disposição de áreas centrais.	89

LISTA DE TABELAS:

Tabela 4.1: Bandas da imagem utilizada.	35
Tabela 4.2:Três subclasses da classe Vegetação Natural visitadas em campo.	41
Tabela 4.3: Parâmetros atribuídos aos três níveis de segmentação.	44
Tabela 4.4: Amostras para cada classe modelada.....	47
Tabela 4.5: Correção de classes após o processo de edição.	58
Tabela 5.1: Descrição das métricas da paisagem geradas a partir do Patch Analyst 5 para os fragmentos florestais.....	71
Tabela 5.2: Distribuição dos fragmentos por área (CA).....	77
Tabela 5.3: Valores para os índices de densidade/ tamanho médio e desvio padrão das manchas.	79
Tabela 5.4: Resultado das métricas dos grupos de borda e forma.....	84
Tabela 5.5: Quantidade de área central (TCAI) considerada para cada uma das classes.....	86
Tabela 5.6: Quantidade de áreas centrais por classe de área.	88

LISTA DE QUADROS:

Quadro 2.1: Características do satélite <i>WorldView-2</i>	10
Quadro 4.1: Trecho do conjunto de dados oriundos da visita de campo.	42
Quadro 4.2: Detalhamento dos descritores por cada classe.	49
Quadro 4.3: Matriz de confusão utilizando dados do Google Earth.....	60
Quadro 4.4: Matriz de confusão utilizando dados de levantamento de campo como referência.....	61

LISTA DE GRÁFICOS:

Gráfico 5.1: Relação entre quantidade de fragmentos e porcentagem do total de floresta.....	78
Gráfico 5.2: Diminuição da quantidade de áreas núcleo de acordo com o aumento das distâncias de definição das áreas núcleo.....	87
Gráfico 5.3: Faixas de distância relacionadas à quantidade de floresta considerada como borda no fragmento.	90
Gráfico 5.4: Classe Muito pequeno: Área X Quantidade da área núcleo.....	91
Gráfico 5.5: Classe Pequeno: Área X Quantidade da área núcleo.	91
Gráfico 5.6: Classe Médio: Área X Quantidade da área núcleo.	91
Gráfico 5.7: Classe Grande: Área X Quantidade da área núcleo.	92
Gráfico 5.8: Classe Muito grande: Área X Quantidade da área núcleo.	92

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

A humanidade tem transformado grande parte da superfície da Terra e seus ecossistemas naturais. Este processo não é novo, ele está em curso há milênios, mas acelerou muito nos últimos dois séculos, e especialmente nas últimas décadas (LAURANCE, 2010).

Estas mudanças podem ser, e atualmente são, detectadas e analisadas largamente através do uso de instrumentos de sensoriamento remoto e metodologias associadas. Segundo Santos (2005), o processo de detecção de mudanças da cobertura em imagens de Sensoriamento Remoto é definido como o reconhecimento de alterações nos padrões característicos de determinadas feições, em um determinado espaço de tempo. O levantamento de cobertura da terra em um recorte espacial, na maioria dos casos, resulta em um mapeamento, que se diferencia segundo o objetivo. Existem desta forma, diversos mapeamentos de cobertura da terra. Como exemplos podem ser citados o levantamento dos tipos vegetação segundo seu estado de conservação, mapeamentos que diferenciem coberturas naturais de coberturas resultantes de um uso antrópico, entre outros.

Entre os métodos existentes para mapeamento da cobertura da terra, destaca-se o de classificação de imagens de sensoriamento remoto. Abreu (2010) afirma que o avanço tecnológico no processamento digital de imagens (PDI) permitiu um avanço das formas de classificação digital, tornando-as parcialmente automáticas, diminuindo assim, o esforço humano necessário para a produção de um mapa.

Um método de classificação que vem se desenvolvendo muito é o de classificação baseada em objetos geográficos (GEOBIA - *Geographic Object-Based Image Analysis*). Neste processo, uma imagem é segmentada, formando assim um conjunto de objetos organizados em níveis. Um nível de objeto serve como uma área de trabalho interno para análise da imagem (DEFINIENS, 2007). Este método de classificação é atual e tem o fator localização como componente chave na sua análise (HAY & CASTILLA, 2008). Estes classificadores se diferem dos orientados ao *pixel*, por possuírem métodos para sistematizar e “reproduzir” o conhecimento do analista humano, além de utilizar modelagem matemática *Fuzzy* (lógica “nebulosa”) (CARVALHO, 2011). Um determinado problema é representado por um conjunto de objetos que possuem características próprias e interagem entre si. Os objetos com

mesmas características são agrupados em classes organizadas como uma rede hierárquica (PINHO *et. al.*, 2009).

Diversas imagens podem ser utilizadas neste processo, no entanto, as que apresentam alta resolução espacial oferecem maior detalhamento geométrico dos alvos (tamanho e forma), permitindo, assim, que áreas densas e/ou heterogêneas, ou seja, com grande diversidade de formas, sejam bem discriminadas (CARVALHO, 2011). Como exemplos disso, pode-se observar o imageamento em alta resolução de uma floresta e de uma paisagem: no da floresta, é possível distinguir diferentes condições da vegetação segundo a abertura do dossel, pois com *pixels* menores pode-se melhor discriminar o sombreamento interno; no da paisagem, é possível a identificação de fragmentos menores de vegetação natural, assim como o detalhamento de seus limites.

Há de se levar em consideração outras características que o sensor deva ter no processo de discriminação, como as características espectrais e radiométricas. No entanto, para sensores que apresentem semelhanças nessas qualidades, a maior resolução espacial permite um melhor detalhamento (JENSEN, 2009).

As imagens dos sensores de alta resolução espacial são utilizadas mais constantemente como insumos para estudos no espaço urbano, em função da elevada heterogeneidade desses espaços (CARVALHO, 2011), como pode-se observar em Novack *et. al.* (2011), Ribeiro *et. al.* (2011), Pinho *et. al.* (2009), Moreira *et. al.* (2007) e Domingos *et. al.* (2005). Existem também estudos em ambientes predominantemente naturais, como florestas e manguezais, principalmente na discriminação de elevado detalhamento das características vegetais, observado em Costa *et. al.* (2009), Caris *et. al.* (2009) e Pereira *et. al.* (2005). E alguns estudos em ambientes rurais, como em Souza *et. al.* (2011).

No Brasil, assim como em outras partes do mundo, a transformação do espaço natural através do uso de atividades rurais como a agricultura e a pecuária é um dos grandes motivos de modificação da paisagem. Siminski & Fantini (2010) afirmam que uma forte pressão econômica para aquisição de mais áreas para desenvolvimento de atividades rurais é um dos motivadores da mudança no uso e cobertura da terra. Isto contribui fortemente para a substituição das áreas florestadas por outros usos.

É importante que se implemente uma série de medidas de monitoramento das áreas florestadas, em especial as localizadas em ambientes rurais. Tais medidas incluem o levantamento da estrutura florestal da paisagem, em termos de configuração dos fragmentos, através das conhecidas métricas da paisagem.

Por fim, acredita-se que o uso das imagens de alta resolução, associadas ao uso de metodologias de classificação como GEOBIA possibilitem um mapeamento mais detalhado dos fragmentos florestais em uma determinada paisagem, através de um mapa da cobertura da terra em escala maior. Estima-se também que com estes fragmentos mapeados seja possível obter medidas da paisagem que podem se tornar um importante instrumento de monitoramento da condição ambiental, especificamente em municípios rurais, onde a terra é mais barata em relação aos ambientes urbanos, e onde crescem os índices de desmatamento através da mudança da cobertura da terra (SIMINSKI & FANTINI, 2010).

1.1 - Objetivos

A presente pesquisa objetiva contribuir metodologicamente para o mapeamento da vegetação através do uso de classificadores baseados em objeto e imagens de alta resolução espacial para que sirva de subsídio à análise da fragmentação florestal.

Os objetivos específicos da pesquisa são:

- Modelagem da cobertura vegetal buscando a formalização de descritores e modelos de classificação na escala 1:25.000;
- Caracterizar a fragmentação florestal no município de Silva Jardim.

Capítulo 2

REVISÃO CONCEITUAL

2.1 - Sensores de Alta Resolução Espacial

Cada sistema sensor imageador tem capacidade de obter informações dos alvos da superfície terrestre e armazená-las em uma estrutura matricial, baseada em *pixels*. O *pixel* é a menor unidade (área) da imagem a guardar uma informação particular (traduzida em um valor de nível de cinza), que pode ser distinta ou semelhante aos seus vizinhos. Pode-se afirmar que a informação existente dentro de um *pixel* está diretamente ligada as informações do terreno em mesma posição, no entanto, estão uniformizadas ao longo de toda a extensão interna do *pixel*. O *pixel* é um quadrado e está disposto em uma matriz de linhas e colunas na imagem (Figura 2-1).

De maneira geral, em Sensoriamento Remoto as imagens são classificadas segundo diferentes resoluções: resolução temporal, resolução radiométrica, resolução espectral e resolução espacial. Destas, a resolução espacial é aquela que representa o tamanho do *pixel* em relação a extensão do terreno, ou seja, traduz a dimensão da menor área imageada no terreno (Figura 2-1). Quanto menor a dimensão do *pixel*, maior é a resolução espacial da imagem. Desta forma entende-se que as imagens que apresentam maiores resoluções espaciais tem maior capacidade de definição dos alvos terrestres. A seguir esse assunto será abordado com mais detalhe e a resolução espacial será, por vezes, tratada apenas como maior ou menor resolução.

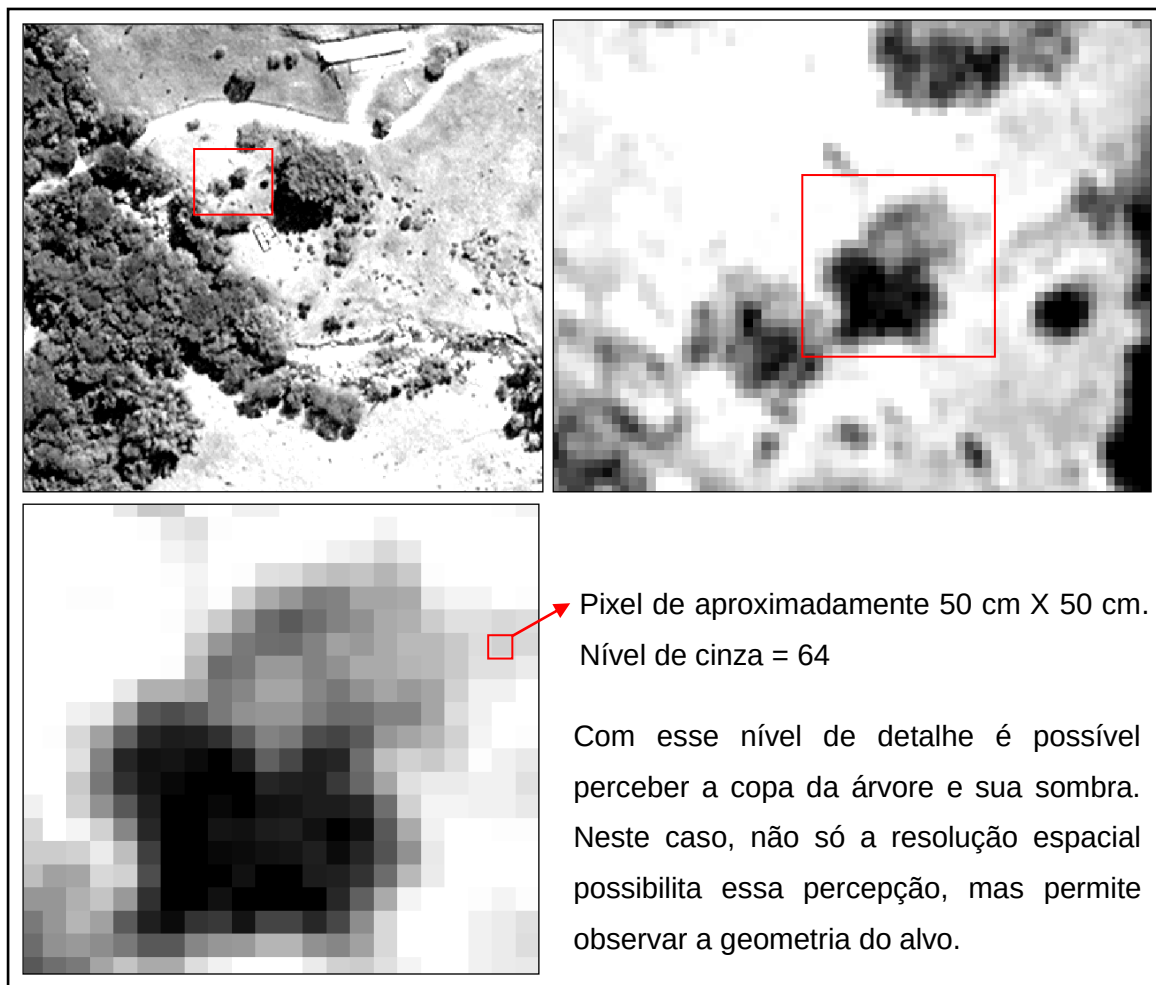


Figura 2-1: Três recortes da banda 1 da mesma cena do sensor *WorldView-2* destacando o tamanho do *pixel* e o detalhamento dos alvos da região imageada.

Segundo Jensen (2009), ao se detectar um alvo, a resolução espacial nominal do sensor remoto utilizado deve ser pelo menos a metade do tamanho da feição medida na sua menor dimensão, ou seja, ao se identificar pequenas árvores, a resolução mínima aceitável seria aproximadamente a metade do diâmetro da menor árvore na cena. Isso não garante o sucesso se não houver diferença espectral detectável entre o alvo e seu redor. Desta forma, quanto maior a resolução espacial, menor dimensão do elemento de imagem (*pixel*) quando projetado no terreno, por fim, maior detalhamento de objetos. Araki (2005) aborda o tema exemplificando uma relação entre alta e baixa resolução espacial. Ele afirma que a alta resolução pode ser entendida em uma situação em que um único objeto do mundo real é representado por

muitos *pixels*, enquanto que baixa resolução implica que um único *pixel* representa o sinal proveniente deste objeto e de muitos objetos do mundo real.

Outros autores são mais específicos e determinam, numericamente, a partir de qual momento um sensor pode ser classificado como de alta resolução, esse é o caso de Novo (2008). A autora afirma que os sensores de alta resolução espacial podem ser definidos como os que permitem adquirir imagens da superfície terrestre com *pixel* menor que 5 metros. No entanto, esta definição do tamanho do *pixel* que compõe a imagem relacionada ao tipo de resolução espacial não é um absoluto consenso. Outros autores, como Ehlers (2005) propõem que alta resolução espacial se deve a sensores com *pixel* de 4 a 10 metros, no entanto, utiliza os termos “muito alta”, para sensores com *pixel* entre 1 e 4 metros e “ultra alta” para maiores resoluções, em sensores com *pixel* menor que 1 metro.

No que se trata da disponibilidade de informações em alta resolução oriundas de sensores orbitais, pode-se afirmar que o meio militar foi o primeiro a gerar tecnologia que permitisse obter, processar e interpretar tais dados. No entanto, a partir do final dos anos 90 o meio civil passou a também ter acesso. Havia uma necessidade de atender uma proposta urbana e de outros fins para melhor detalhamento da superfície. Desta forma, a partir do final da década de 90 foram disponibilizados novos sensores capazes de fornecer informações cada vez mais detalhadas e realizar mapeamentos com escalas até 1:3.000 (BATISTA, 2006). Mais especificamente, a disponibilização de imagens de alta resolução tem início somente a partir do lançamento do satélite IKONOS (projeto IKONOS-II), lançado em setembro de 1999, que é considerado o primeiro satélite de alta resolução com fins comerciais. Na mesma série, o projeto antecessor (IKONOS-I) não obteve sucesso no lançamento. (EMBRAPA, 2012; LIU, 2007). O sensor a bordo do IKONOS fornece informações com 1 metro de resolução na banda pancromática e 4 metros nas faixas espectrais. Antes do IKONOS houve também o satélite EarlyBird, que foi lançado em 1997, mas que no entanto não obteve sucesso por conta de problemas de transmissão (NOVO, 2008).

Jacobsen (2010) propõe uma demonstração (Figura 2-2) da evolução dos sensores de alta resolução. Para o autor o primeiro sensor orbital de alta resolução estava à bordo do satélite IRS-1C em 1996, contendo o sensor PAN (panchromatic câmera) com resolução espacial de 5,8 metros (EMBRAPA, 2012).

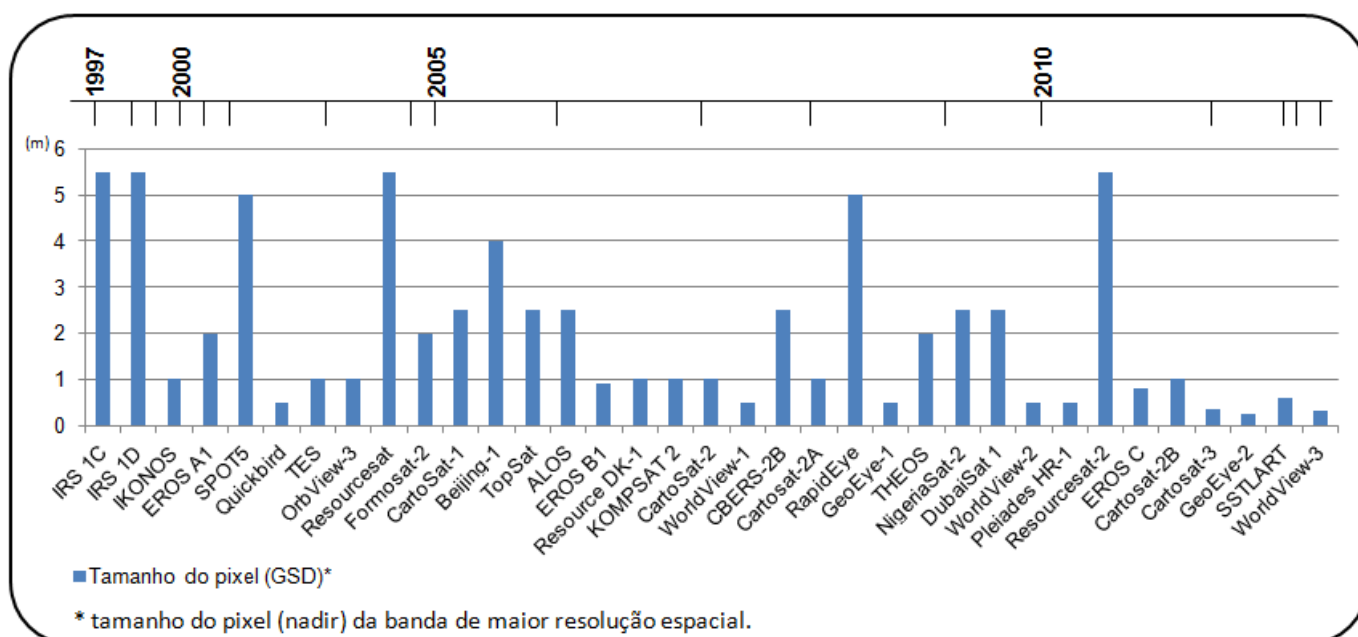


Figura 2-2: Sensores de alta resolução agrupados de acordo com o ano de lançamento e respectiva resolução espacial.

Fonte: Adaptado de Jacobsen, (2010).

Observando o gráfico acima é possível perceber um forte crescimento da quantidade de sensores de alta resolução de 2005 aos dias atuais, mesmo o autor omitindo alguns satélites. Este aumento na quantidade de sensores de alta resolução pode ser interpretado de diversas formas. Uma delas é em função da grande necessidade de se analisar o espaço de maneira cada vez mais pormenorizada, assim como observar os espaços que apresentam coberturas heterogêneas muito detalhadas. Este crescimento também foi impulsionado (e impulsionador) pelo avanço paralelo em diversos campos da técnica, da ciência e da informação.

Atualmente, grande parte das aplicações de imagens de alta resolução está voltada para estudos de ambientes urbanos, e esse interesse continua crescendo (EHLERS, 2005). Isto ocorre porque, como já foi dito, a alta resolução espacial possibilita que sejam reveladas uma quantidade significativa de informações relacionadas à forma e tamanho dos alvos, aumentando a textura das imagens.

Outras aplicações ocorrem em menor número, para estudos em ambientes florestais, como, por exemplo, em Omar (2010), que buscou através do sensor WorldView-2 a identificação de espécies de árvores comercializáveis. Há também alguns estudos voltados para ambientes rurais, onde o objetivo preferencial está voltado para a previsão de safras (JENSEN, 2009).

Telles *et. al.* (2011) apresentam um levantamento de alguns estudos utilizando imagens de alta resolução, em especial do *WorldView-2* para aplicações ambientais. Como resultado de um levantamento de 45 trabalhos, os autores mostram que 34,6% dos trabalhos que utilizaram sensores de alta resolução se voltaram para a classificação das imagens com a finalidade de realizar mapeamento, enquanto que o menor valor (13,3%) foi para estudos que visaram o monitoramento e manejo de ambientes naturais. Outros objetivos apresentados foram: a identificação e caracterização de espécies, e a avaliação dos sensores.

Os sensores de alta resolução, por vezes, são utilizados associados a outros sensores de maior resolução espectral, como forma de aliar maior detalhamento espacial ao espectral em certos estudos. Neste caso, o que ocorre é uma fusão entre imagens (AMARAL *et. al.*, 2009; SILVA, 2007) com objetivo de obter o que há de melhor entre os sensores usados.

A aplicação da fusão entre imagens é recorrente, no entanto, com o lançamento do sensor *WorldView 2* a possibilidade de alta resolução espacial ganha também um maior detalhamento espectral, sendo uma potencial alternativa para garantia de alta resolução espacial e melhor espectral em um mesmo produto.

Um sinal de que essa inovação é bem recebida e difundida, foi a rápida apropriação do sensor *WorldView 2* por especialistas de universidades, empresas privadas e organizações científicas em 80 países. Estes enviaram suas pesquisas para o *8-Bands Research Challenge* (DIGITALGLOBE, 2010), uma espécie de concurso, contando a inscrição de mais de 500 trabalhos em um mês nos mais variados temas, como: agricultura, uso e cobertura da terra, geologia e arqueologia, ambientes aquáticos, entre outros. Este feito ocorreu, com aproximadamente 1 ano após o lançamento do satélite homônimo que carrega o sensor.

Tendo em vista a larga aceitação da lógica de associação da alta resolução espacial à alta resolução espectral, outra missão já foi anunciada pela empresa gestora do satélite *WorldView 2*, desta vez, a previsão é que seja lançado o satélite *WorldView 3*. Previsto para 2014, apresentará oito bandas de ondas curtas do infravermelho (SWIR), além das oito bandas já presentes no *WorldView 2*. Promete também resolução espacial de 0,31 metros na banda pancromática (nadir) (DIGITALGLOBE, 2012).

2.1.1 – O Sensor *WorldView-2*

O sensor *WorldView-2* se encontra a bordo do satélite de mesmo nome. Este, por sua vez, faz parte da missão *WorldView* que iniciou com o lançamento do satélite *WorldView-1* em 2007. Logo depois foi lançado o *WorldView-2* em outubro de 2009. Como já foi dito anteriormente, ainda no contexto desta missão, há a intenção de ser lançado em 2014 o *WorldView-3*

O sensor *WorldView-2* apresenta uma característica muito especial até o momento, pois, como já foi dito, além de possuir aproximadamente 0,50m de resolução espacial na banda pancromática, dispõe também de oito bandas espectrais estreitas, ou seja, cinco bandas localizadas na faixa do espectro eletromagnético visível e três na faixa do infravermelho próximo. Estas últimas com aproximadamente 2 metros de resolução espacial.

Além das quatro bandas: Azul, Verde, Vermelha e do Infravermelho próximo-1 (NIR-1); presentes em outros sensores de mesma categoria espacial, esse sensor apresenta outras quatro bandas: Azul costeiro (Coastal), Amarelo, Borda do Vermelho (Red-Edge) e Infravermelho próximo-2 (NIR-2) (Figura 2-3)

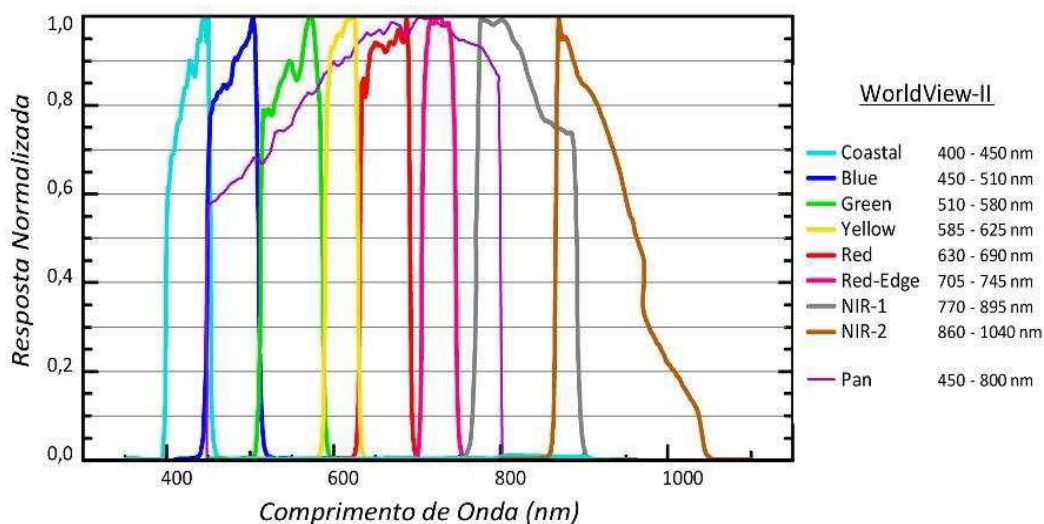


Figura 2-3: Largura e distribuição dos comprimentos de onda do *WorldView-2*.

Fonte: DIGITALGLOBE, 2010a.

Além das características espectrais apresentadas acima, o satélite *WorldView-2* apresenta um período curto de revisita, permitindo um imageamento da mesma área

fora do nadir quase que diariamente. A DIGITALGLOBE (2010a) disponibiliza para consulta outras características do sensor à bordo do satélite *WorldView-2*, descritas a seguir:

- Resolução espacial na banda pancromática: 0,46 m GSD no nadir (liberado mediante autorização do governo dos EUA.), 0,52 m GSD a 20° fora do nadir.
- Resolução espacial nas bandas multiespectrais: 1,85 m GSD no nadir (liberado mediante autorização do governo dos EUA.), 2,07 m GSD a 20° fora do nadir.
- Resolução radiométrica de 11 bits.
- Área imageada de 16,4 km no nadir.
- Resolução temporal de 3,7 dias no nadir e 1,1 dias a 20° fora do nadir.

A disponibilidade dessas quatro novas bandas no *Worldview-2*, localizadas em faixas específicas do espectro eletromagnético, aumentam a capacidade de discriminação e análise dos alvos (TELLES *et. al.*, 2011).

O Quadro 2.1 a seguir apresenta algumas características gerais do satélite *WorldView-2*.

Quadro 2.1: Características do satélite *WorldView-2*

Missão	<i>WorldView</i>
Responsável	DigitalGlobe
País/Região	EUA
Lançamento	08/10/2009
Órbita	Heliossíncrona
Altitude	770 Km
Inclinação	cerca de 45° off-nadir
Período de revisita	1,1 dias a 20° off-nadir 3,7 dias no nadir.
Tempo de vida projetado	7,25 anos
Instrumentos sensores	Pancromático e Multiespectral

Fonte: EMBRAPA (2012).

Estudos recentes com a utilização da imagem *WorldView-2* exaltam a capacidade em melhor identificação dos alvos, o que facilita a modelagem dos dados e permite a aplicação de novos índices de vegetação, potenciais na identificação e análise da vegetação (SOUZA, U. D. V. *et. al.*, 2011; NOVACK *et. al.*, 2011; TELLES *et. al.*, 2011). Esta afirmativa é reforçada pela presença da banda Borda do Vermelho (Red-Edge), que permite uma análise mais sensível da vegetação.

As imagens oriundas deste sensor, assim como ocorrem com grande parte dos sensores de alta resolução espacial, apresentam alguns entraves à sua utilização. Neste caso, podemos destacar o elevado custo de aquisição do conjunto completo de bandas espectrais, assim como de parte delas. Outro ponto que merece comentário é a exigência de relativa capacidade de hardware para quaisquer processamentos e armazenamento deste tipo de imagem.

Para o presente estudo não serão utilizadas todas as oito bandas espectrais do sensor, uma vez que não foi possível adquiri-las. No entanto o processo de classificação contará com as bandas azul, verde, vermelho e Infravermelho próximo (NIR-1).

2.2 – Classificação de Imagens de Sensoriamento Remoto

O processo de classificação de uma imagem ocorre a partir do reconhecimento de padrões. Tem por objetivo atribuir *pixels* ou regiões individuais (características semelhantes) a uma classe definida (KÖRTING, 2006; BATISTA, 2006). Segundo Batista (2006), uma classe é definida por meio de critérios que servem para descrever os indivíduos que nela se encontram. Neste caso, os atributos espectrais e/ou espaciais caracterizam estes critérios.

Para Camargo (2008), classificação é o ato de agrupar objetos com a mesma estrutura de dados e com o mesmo comportamento. Neste caso, cada objeto é uma instância de uma classe.

Existe uma série de abordagens com relação aos processos de classificação. Antunes & Luz (2009) citam o exemplo dos classificadores *pixel a pixel*, que foram desenvolvidos baseados em características do *pixel* como unidade primitiva de informações a respeito dos alvos. Este tipo de classificador foi muito utilizado para imagens de resolução espacial variada, principalmente para imagens de sensores de média resolução. Com o passar do tempo, a evolução nas resoluções espacial e

espectral possibilitou um aumento na capacidade discriminatória dos alvos, evidenciando a dificuldade de aplicação destes classificadores (BLÄSCHKE & STROBL, 2001).

Em imagens com menores resoluções espaciais, um único *pixel* pode armazenar a informação espectral de mais de um alvo, ou uma região heterogênea de um mesmo objeto. No entanto, nas imagens de maiores resoluções, um *pixel* possui informações espectrais semelhantes às de seus vizinhos, sendo a diferenciação entre um alvo e outro dada pela diferença entre agrupamentos de *pixels*. Por exemplo: em uma imagem LANDSAT 5 TM, cuja resolução espacial é de 30 metros, uma clareira com diâmetro do tamanho do *pixel* da imagem é percebida como um ponto homogêneo, porém, se for utilizada uma imagem de maior resolução, a clareira se torna um conjunto de *pixels* que pode, dependendo da resolução espacial e das diferenças internas, constituir diferentes objetos da clareira.

Outro tipo muito recorrente na literatura são os classificadores por regiões, como em Körting (2006), entre outros. Segundo Reis (2008) estes classificadores utilizam a informação espectral dos *pixels*, além da informação espacial, que envolve a relação entre os *pixels* e seus vizinhos. Eles buscam reconhecer áreas homogêneas nas imagens, através do processo de segmentação, baseando-se nas propriedades espectrais e espaciais de imagens. Estes classificadores são um esforço para simular o comportamento de um intérprete.

2.2.1 – Análise de Imagem Baseada em Objetos Geográficos (GEOBIA)

Com o avanço na resolução espacial das imagens, e ultimamente com o avanço conjunto da resolução espectral, surgiram demandas para o aprimoramento das ferramentas computacionais e estratégias para a análise das imagens (MAKTAV, 2005 *apud* CARVALHO, 2011), em destaque para os processos de classificação. Isto ocorre por conta da dificuldade de extrair informações a partir de imagens com essas características. Há também necessidade de considerar outros parâmetros para a classificação de imagens que não sejam exclusivamente os espectrais. Parâmetros como a forma dos alvos e os elementos de contexto, ou seja, as relações existentes entre o alvo e seus vizinhos.

Neste contexto surge GEOBIA (Geographic Object-Based Image Analysis), que foi construído no paradigma da análise baseada em objetos, e tem o fator localização como componente chave na sua análise (HAY & CASTILLA, 2008). É bem recente

como forma de classificar uma imagem. Neste tipo de análise um determinado problema é representado por um conjunto de objetos que possuem características próprias e interagem entre si (PINHO *et. al.*, 2009).

Classificadores que utilizam a abordagem GEOBIA se diferem dos métodos baseados no *pixel*, possuem métodos para sistematizar e “reproduzir” o conhecimento do analista humano, além de poder utilizar modelagem matemática *Fuzzy* (lógica “nebulosa”) (CARVALHO, 2011). Esta abordagem envolve a divisão da imagem em entidades discretas, ou segmentos, conhecidos como objetos. Estes são gerados a partir de atributos espectrais e espaciais e do uso da experiência do analista, geralmente na forma de conjunto de regras (POWERS *et. al.*, 2012).

Um dos *softwares* utilizados para a classificação baseada em objetos é o *eCognition*. Segundo Shiba & Itaya, (2006), o *eCognition* foi desenvolvido com a possibilidade de segmentar imagens digitais em unidades com padrões espectrais e espaciais semelhantes de acordo com uma base de regras pré-definida.

Utilizando os critérios de escala, cor e forma - suavidade (*smoothness*) e compacidade (*compactness*) - o algoritmo de segmentação subdivide a imagens em polígonos (objetos na imagem). Há um destaque para a escala, uma vez que a definição desta afeta o tamanho entre os polígonos (Figura 2-4). Os parâmetros de entrada podem ser combinados de formas diferentes e hierarquizados, dando-lhes um peso entre 0 e 1. Tudo dependerá do objetivo esperado.

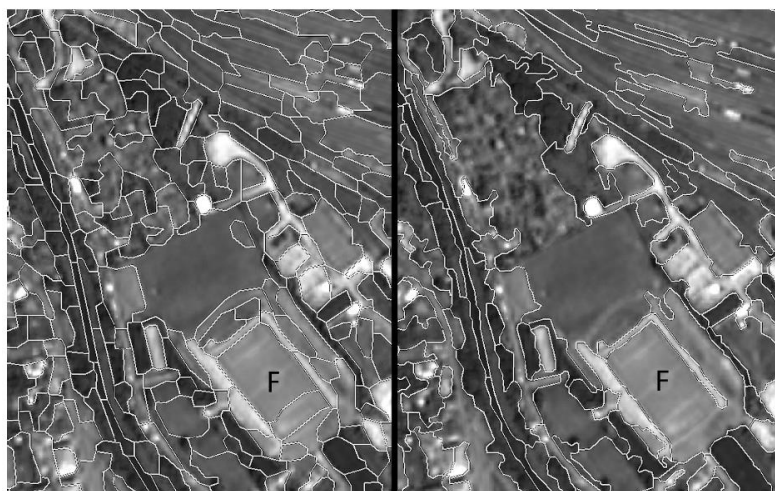


Figura 2-4: Segmentação com parâmetros diferentes. A letra “F” destaca a região que representa um campo de futebol. Na esquerda este foi subdividido em mais de um objeto, já na direita um único objeto atravessou os limites do campo.

Fonte: Castilla & Hay (2008)

O resultado do processo de segmentação de uma classificação baseada em objetos é um conjunto de objetos, de acordo com a figura acima. Estes são elementos que apresentam características particulares e, posteriormente, no processo de classificação serão semelhantes a outros de mesma classe. Ou seja, ao ser visto em conjunto com outros elementos, o objeto pode ser distinguido por sua(s) característica(s) particular(es) e agrupado em mesma classe.

Castilla & Hay (2008) definem objetos como sendo grupos de *pixels* na imagem que representam elementos significativos de diferentes tipos, forma e distribuição espacial dentro da imagem (por exemplo: árvores, grupos de árvores, fragmento de floresta e floresta).

Os objetos com mesmas características são agrupados em classes organizadas. As classes se encontram em níveis diferentes. Desta forma, uma rede hierárquica é formada, ou seja, as classes que se encontram um nível inferior são subclasses e herdam as características da classe do nível superior, ou seja, a superclasse (PINHO *et. al.*, 2009).

DEFINIENS (2007) afirma que os objetos não devem ser definidos apenas por atributos espectrais, mas também por outros como: forma, tamanho, textura, padrão e contexto. Desta maneira é inevitável que o conhecimento do analista seja inserido, resultando assim em uma melhor distinção dos objetos, possibilitando consequentemente, uma melhor interpretação da imagem.

Ainda sobre este assunto, as classes onde se encontram organizados os conjuntos de objetos possuem limites imprecisos, como afirmam Benz *et. al.* (2004). Esse fato configura certas incertezas na associação de um objeto a uma classe. Os autores afirmam que para que a classificação atinja resultados adequados a incerteza precisa ser modelada.

As características descritas acima para objetos e classes, assim como outros fatores que compõem o processo de análise baseada em objetos são traduzidas em um conjunto de processos, desde a segmentação multiresolução, passando pela definição de regras de classificação e estruturação de classes em rede semântica. A construção de uma árvore de decisão também contribui. Tais etapas serão posteriormente descritas com maior detalhe.

2.2.1.1. – Segmentação Multirresolução.

Como já foi dito, no processo de classificação baseada em objetos, uma imagem é segmentada, formando assim objetos. Neste caso, é importante ressaltar que podem haver várias segmentações antes da fase de classificação. Isto significa que a imagem pode ser resegmentada algumas vezes com apoio da segmentação anterior. Ao ocorrer uma resegmentação os objetos passam a estar organizados em níveis. Um nível de objeto serve como uma área de trabalho interna para a análise da imagem (DEFINIENS, 2007).

Os níveis de objetos podem ser criados por segmentação a partir no menor nível (*pixel*) ou levando-se em conta uma segmentação anterior (Figura 2-5). Este processo é chamado de segmentação multiresolução. Ele está diretamente relacionado aos níveis de objetos descritos.

A separação dos objetos em níveis ocorre porque existem objetos de diferentes tamanhos na imagem, que podem ser observados em diferentes escalas, e que refletem uma hierarquia.

Segundo DEFINIENS (2007), a segmentação multiresolução particiona a imagem em níveis de escala diferentes que se relacionam hierarquicamente (verticalmente) ou horizontalmente. A hierarquia de objetos trabalha como forma de armazenamento dos objetos em todos os níveis de imagem. Desta forma, como foi dito, o conjunto de objetos é organizado em uma rede hierárquica (Figura 2-5).

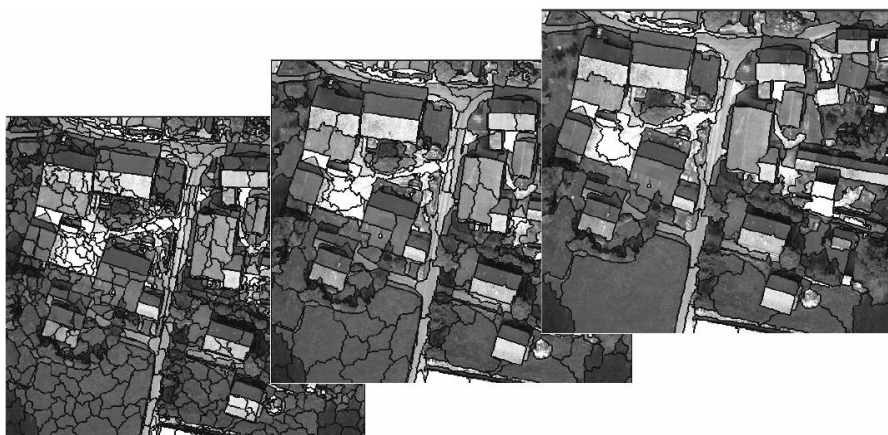


Figura 2-5: Mesma imagem segmentada em três níveis de escala diferentes. Um objeto de uma segmentação tem uma relação hierárquica com outro que ocupe seu espaço em outro nível de segmentação.

FONTE: DEFINIENS (2007)

Segundo DEFINIENS (2007), os objetos na imagem, reunidos dentro de um mesmo nível na rede hierárquica, estão ligados horizontalmente. Da mesma forma, objetos podem estar ligados verticalmente na hierarquia de objetos de imagem, ou seja, um objeto a um nível abaixo pertence ao contexto do objeto a um ou mais níveis acima. Por estar em rede, cada objeto na imagem sabe seu contexto, quem são os seus vizinhos, seu superobjeto em um nível mais elevado e seus subobjetos em um nível mais baixo (Figura 2-6).

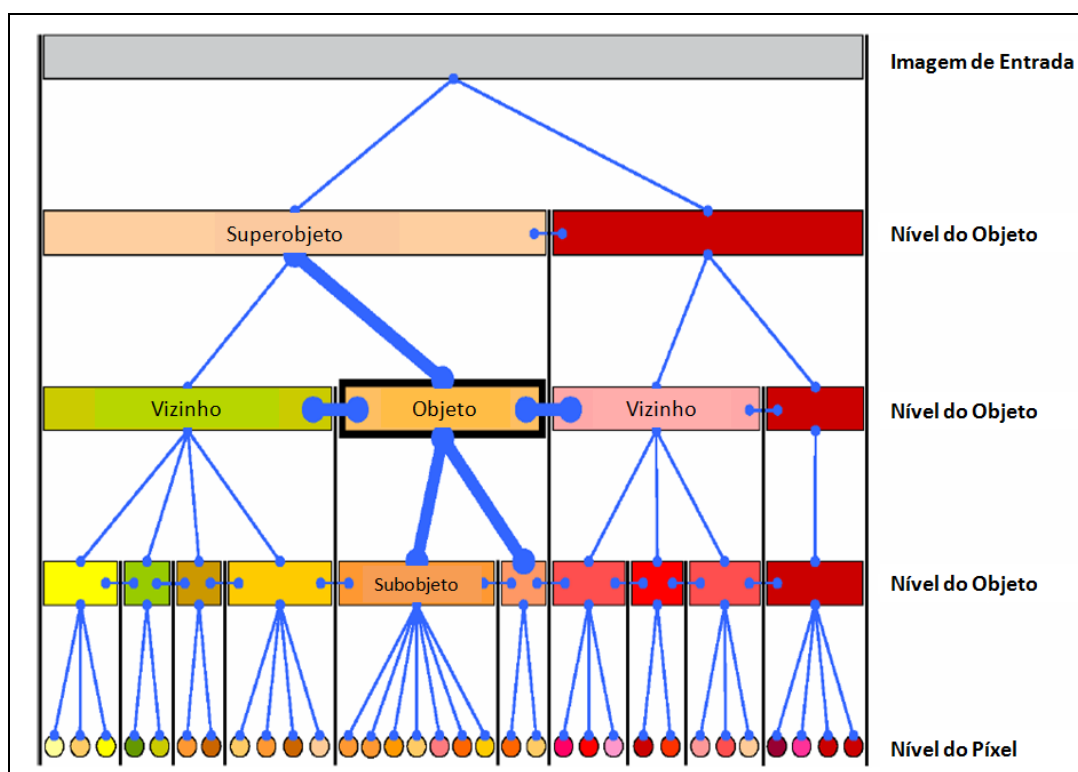


Figura 2-6: Representação das relações hierárquicas e horizontais existentes envolvendo os objetos.

Fonte: Adaptado de DEFINIENS, 2007.

É importante ressaltar que por mais avançado que seja este processo de segmentação, na prática ele ainda apresenta uma dificuldade em determinar o contorno dos objetos, independente da imagem a ser trabalhada. O que ocorre mais comumente é a definição de regiões homogêneas (primeiro nível de objetos), quando critérios de semelhança são estabelecidos. Por conta disso, na prática é comum a realização de operações de resegmentação, com objetivo de melhor definir os diferentes alvos na imagem.

Para este processo de segmentação é utilizado o algoritmo de crescimento de regiões, proposto por Baatz & Schäpe (2000). Ele busca minimizar a heterogeneidade média dos segmentos (objetos) gerados. Happ *et. al.* (2009) afirmam que a medida de heterogeneidade usada no algoritmo de segmentação possui um componente espacial e um componente espectral. São calculadas, desta forma, a heterogeneidade espectral e a heterogeneidade espacial. A primeira é definida sobre os valores das respostas espectrais dos *pixels* contidos num segmento. A segunda baseia-se em dois atributos de forma: compacidade e suavidade (HAPP *et. al.* 2009).

No processo inicial de segmentação, cada segmento representa apenas um *pixel* da imagem e todos os *pixels* estão associados a algum segmento. Os segmentos crescem na medida em que são unidos com seus vizinhos, e o menor aumento na heterogeneidade é utilizado como critério para a seleção do vizinho com o qual um segmento será unido (HAPP *et. al.* 2009). Segundo DEFINIES (2007), o analista atribui pesos para formar o critério de similaridade e através da soma entre as heterogeneidades, ponderada pelo peso, esse critério é definido.

O critério de similaridade contém um componente para a heterogeneidade espectral (h_{cor}) e um componente para a heterogeneidade espacial (h_{forma}), somados ponderadamente pelos pesos fornecidos pelo analista (Equação 2.1). Ou seja, a importância relativa entre os componentes espacial e espectral é definida pelo fator de cor (w), que é uma variável atribuída no início do processo de segmentação e pode variar de 0 a 1.

$$f = w \cdot h_{cor} + (1 - w) \cdot h_{forma} \quad (2.1)$$

Durante uma operação de segmentação por crescimento de regiões ocorrem os processos de união entre os segmentos que são formados e crescem. Ao se unir um segmento a outro, o critério de similaridade (ou fator de fusão) é calculado para cada um dos vizinhos do segmento selecionado. O vizinho para o qual o critério for mínimo é o escolhido para a união. Contudo, o tamanho dos objetos (fator de escala), anteriormente definido, é um limite para a fusão dos segmentos. O procedimento continua unindo segmentos até o momento que nenhum possa crescer mais (HAPP *et. al.* 2009).

Para a segmentação multiresolução é utilizado um parâmetro de escala, já citado, que está relacionado com a resolução espacial da imagem e descreve a

heterogeneidade máxima permitida nos objetos (CARVALHO, 2011). Os outros critérios também citados foram os de cor e forma, sendo este último dividido entre suavidade e compacidade. Estes critérios são subsídio para o cálculo da heterogeneidade espectral e da heterogeneidade espacial.

Na maioria dos casos o critério de cor é mais importante na criação dos objetos significativos. No entanto, os critérios de forma são especialmente úteis para evitar resultados com objetos altamente fraturados em imagens fortemente texturizadas (por exemplo, em dados de radar) (DEFINIENS, 2007). Sendo assim, definir o tamanho e tipo dos objetos que se busca extrair da imagem pode ser um ponto de partida para a escolha de “melhores” parâmetros de compacidade e suavidade. Para Platt & Rapoza (2008, *apud* CARVALHO, 2011), um objeto que represente um campo agrícola idealmente teria valores altos para suavidade e compacidade. Já no caso em que um objeto venha representar uma área de mata ciliar, idealmente seriam selecionados valores baixos para suavidade e compacidade.

É possível nesse momento perceber a importância das informações de contexto e do conhecimento do analista a respeito do que se estuda. Quão maior esse conhecimento, também maior será a possibilidade de acerto no processo de segmentação e consequentemente de classificação.

Castilla & Hay (2008) definem uma boa segmentação como sendo aquela em que, dependendo do objetivo do analista, há poucos casos em que os alvos na imagem são representados por mais de um objeto (*oversegmented*), além de não haver nenhum caso em que um objeto representa mais de um alvo (*under segmented*).

2.2.1.2. – Estruturação de classes em rede semântica

Como já foi visto, uma classe é uma categoria de um conjunto de objetos na imagem. Ela não apenas rotula os objetos, mas serve para descrever o seu significado semântico (DEFINIENS, 2007). Desta forma, admite-se que existem características semânticas para cada objeto, assim como para cada classe, presentes na imagem. Mediante suas características semânticas elas relacionam-se entre si, formando uma rede. Ou seja, nas redes semânticas são modelados os relacionamentos entre as classes.

Ao associar objetos a uma classe afirma-se que suas características são coincidentes com a mesma. Desta forma, o analista está inserindo critérios

específicos, o que se traduz em conhecimento próprio sobre a imagem. Uma avaliação minuciosa e conhecimento prévio da semântica do domínio da imagem são preparativos essenciais que orientarão a detecção de objetos de interesse (DEFINIENS, 2007).

Para Pahl (2008), uma rede semântica é um grafo orientado, em que os nós representam objetos, ideias, fatos, ligados por arcos que descrevem a relação dos nós entre si. Neste caso os nós são as classes que se relacionam.

DEFINIENS (2007) afirma que as classes resultantes são relacionadas e organizadas em redes semânticas, que representam o conhecimento sobre a imagem. Ainda afirma que as classes podem ser colocadas em uma estrutura hierárquica para que as descrições possam ser passadas de uma classe para suas subclasses.

Antunes & Luz (2009) acreditam que o desenvolvimento dessa hierarquia de classes, representando a rede semântica pode ser considerada uma das etapas mais importantes do processo de classificação baseada em objetos. Esta estrutura hierárquica de representação do conhecimento permite a análise automática de imagem, uma vez que as classes herdaram atributos e comportamentos das superclasses que as contém.

As vantagens desse processo descritas por Baatz & Schäpe (2000) estão na estruturação da semântica, a possibilidade para formulações inclusive de semânticas complexas e a possibilidade de redução da complexidade na formulação da descrição de uma dada característica.

Os resultados da rede semântica indicam o seu caráter replicável para outras áreas de estudo com configurações semelhantes, uma vez que o sistema permite o ajuste das funções e seus limiares, a fim de garantir a conformidade da rede à realidade em análise, economizando assim esforços de modelagem por parte do intérprete e tempo de processamento computacional (CAMARGO, 2008).

Neste processo progressivo de classificação, descrito em etapas, pode-se dizer que, depois de definidos os objetos (no processo de segmentação) e a rede semântica, o processo de classificação é efetuado por meio de regras de decisão. Estas podem ser materializadas através do algoritmo vizinho mais próximo ou por regras de pertinência *fuzzy*, que modelam a incerteza associada às classes (PINHO, 2007).

2.2.1.3. – Regras de decisão e função de pertinência *Fuzzy*.

Durante o processo de classificação dos objetos de uma imagem, Zhong *et. al.* (2005) destaca que dois fatores devem ser considerados: os descritores dos objetos que permitem o processo de diferenciação de cada classe e o classificador a ser utilizado.

Como a classificação tem por base o conhecimento, este é traduzido em um conjunto de regras semânticas de decisão (descritores). Estas são desenvolvidas e passarão a representar as condições para a classificação. Antunes & Luz (2009) destacam que os descritores empregados para efetuar a caracterização das classes equivalem às aplicações de funções matemáticas que possibilitam revelar os atributos dos objetos da imagem.

Por meio da inclusão desse conjunto de regras baseadas em conhecimento (descritores), pode-se entrar com informações específicas da classe relacionadas ao contexto (BAATZ & SHÄPE, 2000).

Neubert & Meinel (2005) afirmam que são muito úteis como características de classes as relações de vizinhança, as relações com sub e superobjetos e as características de segmentos, como os índices de forma, além das informações de níveis de cinza.

A escolha dos diferentes descritores é determinante no deslocamento dos objetos para as classes. Estão disponíveis para isto, além dos descritores que levam em consideração as características espectrais, outros que podem estar relacionados à geometria dos objetos. Pilz & Strobl (2005) afirmam inclusive que os dados temáticos podem ser utilizados na descrição das classes. É possível até mesmo criar atributos personalizados a partir de outros atributos existentes.

As classes individuais são introduzidas em uma hierarquia de classes e, assim como foi descrito anteriormente, as subclasses herdam suas características descritoras, agrupando as classes conforme suas diretrizes semânticas. Assim, há possibilidade de construir regras de decisão para classificação, baseadas em conhecimento e com complexidade, a critério do usuário (PILZ & STROBL, 2005).

Para a aplicação das regras de classificação pode ser utilizada uma função de pertinência booleana, ou uma função de pertinência *fuzzy* (adotada nesta pesquisa), conhecida também como lógica nebulosa. Ambas são aplicadas como funções matemáticas que traduzem os descritores. Existem ainda outras regras de classificação, como por exemplo, a que utiliza o algoritmo do vizinho mais próximo.

Antunes & Luz (2009) afirmam que dentre outras possibilidades, o classificador que adota a regra *fuzzy* de pertinência se sobressai na tarefa de associar os objetos às classes, uma vez que segue um raciocínio próximo à lógica humana.

Outro fato que favorece a utilização da lógica *fuzzy* é que, por vezes a descrição do espaço de atributos de uma classe pode ser imprecisa, o que introduz incertezas na associação de um objeto à classe. Esta incerteza necessita ser modelada, pois ela é parte do resultado da classificação (BENZ *et. al.*, 2004).

DEFINIENS (2007) afirma que a lógica *fuzzy* é uma abordagem matemática para quantificar uma lista de incertezas. Uma ideia básica que pode traduzir esta lógica é a tentativa de classificar um conjunto de informações contínuo que vai 0 a 1 em duas afirmações (classes) restritas “sim” e “não”. Onde “não” representaria exatamente 0 e “sim” representaria exatamente 1. Todos os valores entre 0 e 1 representarão uma maior ou menor certeza de localização entre “sim e “não.

Na função booleana certo objeto é classificado como pertencente à determinada classe quando ele tem o valor de atributo maior ou igual a um número específico (PINHO *et. al.*, 2009). Este número representa um limite de pertencimento a uma classe. Desta forma, pode-se afirmar que esta é uma visão determinística de pertencimento de um objeto, uma vez que há um limite intransponível.

Na função *fuzzy* um mesmo objeto pode estar associado a várias classes com diferentes graus de pertinência (PINHO *et. al.*, 2009). O grau de pertinência varia de 0 (não pertence) à 1 (pertence), e a classe considerada é aquela cujo grau de pertinência é maior (ANTUNES, 2003). As funções não precisam ser idênticas e variam para cada situação ou descritor. Abaixo segue figura ilustrando a diferença entre as funções *fuzzy* e booleana (Figura 2-7).

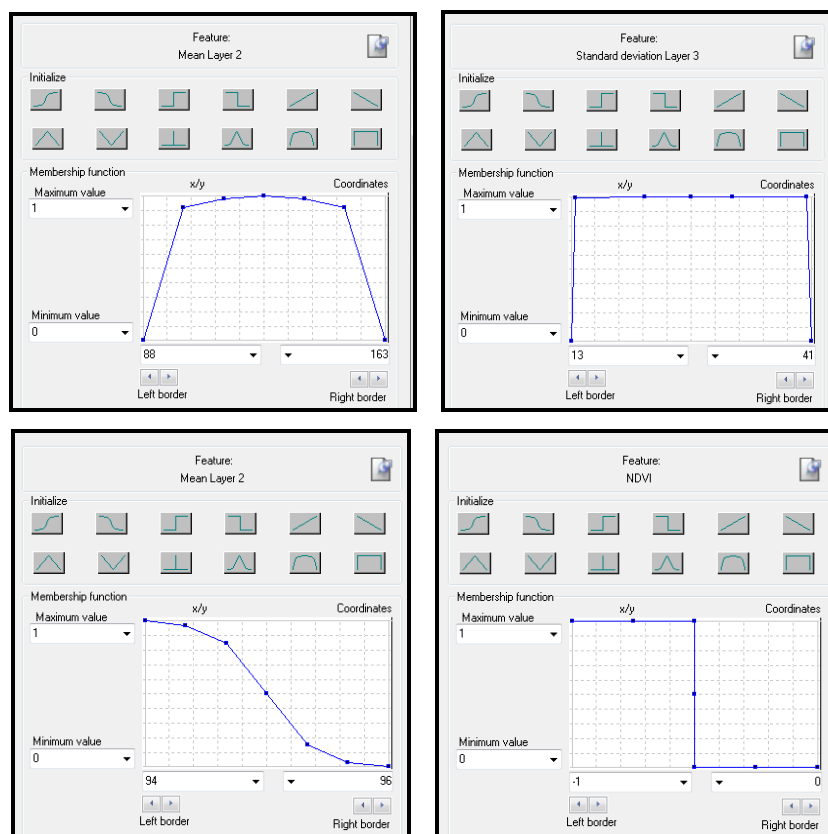


Figura 2-7: Na esquerda gráficos com curvas de pertinência *fuzzy*, já na direita, gráficos booleanos. Aplicações em diferentes descritores no software Definien.

Fonte: Próprio Autor.

As figuras acima representam a modelagem do descritor ao classificar os objetos da imagem. Observando a figura da esquerda percebe-se nesta modelagem que o analista deseja considerar o intervalo de valores entre 36 e 96, sendo que existe uma variação gradativa de pertencimento. Quanto mais próximo de 36 e de 96, menor a possibilidade de pertencimento, no entanto, quanto mais ao centro, mais cresce a possibilidade de pertencimento do objeto na classe. Já na figura da direita, só são considerados pertencentes os objetos com valores entre 0 e 0,71 (para este descritor), configurando uma decisão muito mais restritiva do que o primeiro caso.

DEFINIENS (2007) afirma que a lógica *fuzzy* é capaz de emular o pensamento humano e levar em conta até mesmo regras linguísticas. Sistemas de classificação *fuzzy* são bem adequados para lidar com a maioria da imprecisão na extração de informações a partir de imagens.

Em uma classificação onde se utiliza o sistema *fuzzy*, o grau de pertinência para cada classe é dado para cada objeto. Isto permite uma análise detalhada do

desempenho e proporciona um conhecimento sobre a mistura de classes para cada objeto da imagem, o que é uma grande vantagem. O grau máximo de inserção determina a classificação final, sendo possível construir uma interface para sistemas booleanos (DEFINIENS, 2007).

2.3 – Fragmentação de ambientes naturais

A fragmentação é um processo pelo qual uma área grande e contínua é transformada em fragmentos menores e isolados entre si, através de uma matriz de habitat diferente da original (WILCOVE *et. al.*, 1986). Faaborg *et. al.* (1995) afirmam que a fragmentação de habitats ocorre quando um tipo de vegetação grande e contínuo é convertido em outros tipos, de tal forma que, apenas fragmentos dispersos do tipo original permanecem. Estes remanescentes isolados (também chamados de ilhas de habitat, fragmentos ou manchas), obviamente, ocupam menos espaço do que na condição inicial, passando a apresentar diferentes tamanhos, forma e localizações, e são separados por diferentes coberturas em relação à condição original.

O processo de fragmentação pode ocorrer devido a razões naturais ou antrópicas, sendo a última a mais impactante causa de fragmentação em larga escala (FORMAN, 1995). Segundo Trabaquini *et. al.* (2007) existem dois tipos de fragmentos florestais: remanescentes florestais e manchas de floresta. Os primeiros são originados por desmatamento a partir de uma floresta contínua. Já os segundos são naturais e aparecem em regiões de campo aberto.

Rambaldi & Oliveira (2005) ressalta que a fragmentação tem sido intensificada pela ação humana. Desta forma, um grande número de problemas ambientais é resultado desta ação.

Dentre várias consequências, a fragmentação de ambientes naturais pode causar a alteração de habitats de várias espécies, afetando diretamente as populações locais, além de alterar as taxas de imigração e dispersão de espécies na região (WILCOVE *et. al.*, 1986), o que tem impacto direto na biodiversidade e equilíbrio ecológico. Laurance (2010), em estudo sobre a fragmentação de habitats no mundo, afirma que, globalmente, a agricultura é a maior causa de destruição de habitats, seguida de outras atividades como a exploração madeireira, mineração e expansão urbana. Nos países em desenvolvimento (onde o Brasil se encontra, segundo os autores) os condutores de mudanças ambientais mudaram fundamentalmente nas últimas décadas. Em vez da fragmentação de habitats ser causada principalmente por

pequenos agricultores e moradores rurais, a perda de habitat, especialmente nos trópicos, é agora substancialmente impulsionada pela promoção da agricultura intensiva, pecuária e algumas atividades industriais.

Frequentemente, os habitats são reduzidos em extensão e simultaneamente fragmentados, deixando pequenos pedaços de habitats originais persistirem como ilhas num mar de terras degradadas (LAURANCE, 2010).

2.3.1 – Análise da fragmentação

A fragmentação de ambientes naturais, como foi visto, ocorre muito em função das atividades antrópicas, principalmente no que diz respeito à inserção de certos usos da terra e a consequente mudança de sua cobertura. Tais atividades criam padrões na paisagem. Lang & Blaschke (2009) afirmam que há mais de 120 anos, a observação dos padrões espaciais é instrumento essencial na descrição de paisagens. Estas últimas apresentam uma estrutura espacialmente heterogênea, muito embora exista um caráter integrador. A observação desse ordenamento existente na paisagem somente é possível a partir de uma distância mínima da mesma (LANG & BLASCHKE, 2009). Logo, a utilização de dados como as fotografias aéreas, imagens de satélite e outros obtidos remotamente, é de grande relevância no estudo da configuração da paisagem e, em específico, na configuração espacial dos fragmentos vegetais e sua relação com as coberturas de entorno. Trabaquini et. al. (2007) ressaltam a utilização do sensoriamento remoto em estudos de análise de fragmentos florestais, principalmente quando o objetivo é obter informações que sustentem possíveis planos de conservação.

No âmbito da análise de fragmentos presentes na paisagem, Forman (1995) apresenta o modelo de mancha – corredor – matriz (*patch-corridor-matrix model*). Segundo o autor, a extensão e a configuração desses elementos definem o padrão da paisagem (Figura 2-8). Mcgarigal & Marks (1994) afirmam que a padronização de elementos da paisagem (manchas) influencia fortemente características ecológicas. Os autores concluem que a capacidade de quantificar a estrutura da paisagem é pré-requisito para o estudo da função da paisagem e mudança (MCGARIGAL & MARKS, 1994). Uma breve descrição do que cada um desses elementos representa pode ser vista abaixo:

Mancha (*patch*): Para Mcgarigal & Marks (1994), as manchas são definidas em relação ao fenômeno em consideração. Por exemplo, a partir de uma perspectiva

de análise de florestas para fins de conservação, uma mancha pode corresponder a um fragmento florestal. Desta forma, são unidades espaciais homogêneas entre si e que se diferem da matriz onde se encontram.

Corredor (*corridor*): Forman & Godron (1986) definem corredores como “estreitas faixas de terra que diferem a partir da matriz de ambos os lados. Corredores podem ser tiras isoladas, mas estão geralmente ligadas a uma mancha de vegetação um pouco semelhante”. Esses autores enfocam os aspectos estruturais do elemento da paisagem linear. Como consequência de sua forma e contexto, corredores estruturais podem funcionar como habitat, condutas de dispersão, ou barreiras (MCGARIGAL & MARKS, 1994).

Matriz (*matrix*): Forman & Godron (1986) definem a matriz como o tipo de elemento mais extenso e mais conectado na paisagem, e, por conseguinte, desempenha um papel dominante no funcionamento da paisagem, uma vez que equivale ao tipo mais presente de superfície. A matriz desempenha um papel relevante para o fluxo de energia, o ciclo das substâncias e o regime das espécies na paisagem (LANG & BLASCHKE, 2009).



Figura 2-8: Figura representando o modelo mancha – corredor – matriz proposto por Forman (1995).

Fonte: Próprio Autor.

É importante considerar que, por se tratar que elementos espaciais, os mesmos estão sujeitos a uma condicionante elementar; ou seja, terão suas localizações, extensões e outras características espaciais definidas a partir da escala de origem dos dados utilizados para extraí-los.

Lang & Blaschke (2009) mostram que estes elementos apresentam características estruturais geométricas. Os autores afirmam que estas características expressam, frequentemente, uma forma da paisagem que pode ser associada a uma determinada função ambiental. As características estruturais podem estar centradas nos atributos de área, borda, forma, entre outras medidas descritivas para manchas. Outras medidas existem em outros níveis e são expressas em uma diversidade de métricas. Almeida (2008) ainda acrescenta que, no que se refere ao estudo da estrutura da paisagem, diversas métricas são utilizadas com finalidade de descrever padrões espaciais. Muitas dessas métricas têm sido testadas utilizando informações sobre a cobertura e o uso da terra, geradas por imagens de sensoriamentos remoto (ALMEIDA, 2008).

2.3.2 – Métricas de Estrutura da Paisagem

Segundo Macgarigal & Marks (1994), as métricas da paisagem podem ser calculadas em diferentes aspectos, seja para manchas individuais (neste caso temos os fragmentos), para classes de manchas (podemos considerar conjuntos de fragmentos semelhantes) e para a paisagem como um todo.

Mcgarigal (2002) afirma que existem apenas dois grandes tipos de componentes para cálculo das métricas: os de composição e os de configuração (disposição).

Os parâmetros de composição dão uma ideia de quais unidades estão presentes na paisagem, da riqueza dessas unidades e da área ocupada por elas (o que permite inferir sobre o grau de dominância espacial). Os parâmetros de disposição vão quantificar o arranjo espacial dessas unidades em termos de grau de fragmentação e frequência de contato entre as diferentes unidades; grau de isolamento e conectividade de manchas de unidades semelhantes e, finalmente, área, formato e complexidade de formas das manchas que compõem o mosaico da paisagem (CULLEN; RUDRAN; PADUA, 2006 *apud* BEZERRA, 2010).

A maioria das medidas são, de fato, correlacionadas entre si (ou seja, as métricas medem um aspecto semelhante ou idêntico de padrão da paisagem) porque existem apenas algumas poucas medições primárias que podem ser feitas a partir de manchas. A maioria das métricas é então derivada a partir destas medidas primárias. Muitos pesquisadores vêm tentando identificar os principais componentes do padrão da paisagem, com a finalidade de identificar um conjunto de métricas independentes.

Um grande número de métricas da paisagem foram desenvolvidas ao longo das últimas duas décadas e mais de 100 métricas espaciais já foram descritos na literatura (MCGARIGAL, 2002). Cada uma tem por base certa motivação. No entanto, levando em consideração a maior parte dos questionamentos e aplicações, um determinado conjunto de métricas é suficiente para se conectar aos critérios ecológicos essenciais e mais relevantes (LANG *et. al.*, 2002 *apud* LANG & BLASCHKE, 2009). A escolha das métricas deve refletir explicitamente algumas hipóteses sobre o padrão da paisagem observada e quais processos ou restrições podem ser responsáveis por esse padrão.

Em estudo realizado por Ritters *et. al.* (1995) observou-se a utilização de 55 métricas para cálculo de estrutura da paisagem. O objetivo dos autores foi o de auxiliar na escolha de um conjunto de métricas relevantes correlacionando 85 casos de estudo. Como resultado os autores identificaram cinco fatores relevantes: a razão média perímetro-área; média da área do fragmento normalizada para a área de um quadrado de mesmo perímetro; densidade do fragmento de maior tamanho e o número de atributos das classes de fragmentos. Desta forma, não é necessária uma grande variedade de métricas para quantificar a paisagem, no entanto, é preciso, como afirmaram os autores mencionados, poder identificar aquelas que melhor se aplicam aos objetivos propostos, na configuração local existente e com a escala de análise proposta.

Sendo assim, para este trabalho a análise dos fragmentos florestais vai contar com o auxílio de índices das seguintes categorias apontadas por Mcgarigal & Marks (1994) e orientados para a análise das manchas: índices de área, de densidade, de tamanho médio, de borda, de forma e de área central (núcleo). Além disso, pretende-se avaliar, segundo a disposição e forma dos fragmentos, a conectividade estrutural dos fragmentos na paisagem.

Langanke *et. al.* (2005) apresentam uma tabela relacionando questionamentos ecológicos com as categorias de métricas apresentadas por Mcgarigal & Marks (1994). Nesta, os autores propõem as métricas que melhor atendem aos questionamentos. Para este trabalho será calculada uma métrica para cada categoria.

Capítulo 3

ÁREA DE ESTUDOS

O município de Silva Jardim, área de estudos da presente pesquisa, apresenta uma área de 937.547km². Localiza-se no centro do estado do Rio de Janeiro, em situação de relevo das baixadas litorâneas predominantemente na região administrativa de mesmo nome (Figura 3.0-1). Faz limite ao norte com o município de Nova Friburgo, a Noroeste e Leste com Casimiro de Abreu, a Sudeste com Araruama, a Sudoeste com Rio Bonito e a Noroeste com Cachoeiras de Macacu. Dentre estes, apenas Nova Friburgo se encontra na Região Serrana, tendo os demais em mesma região administrativa.

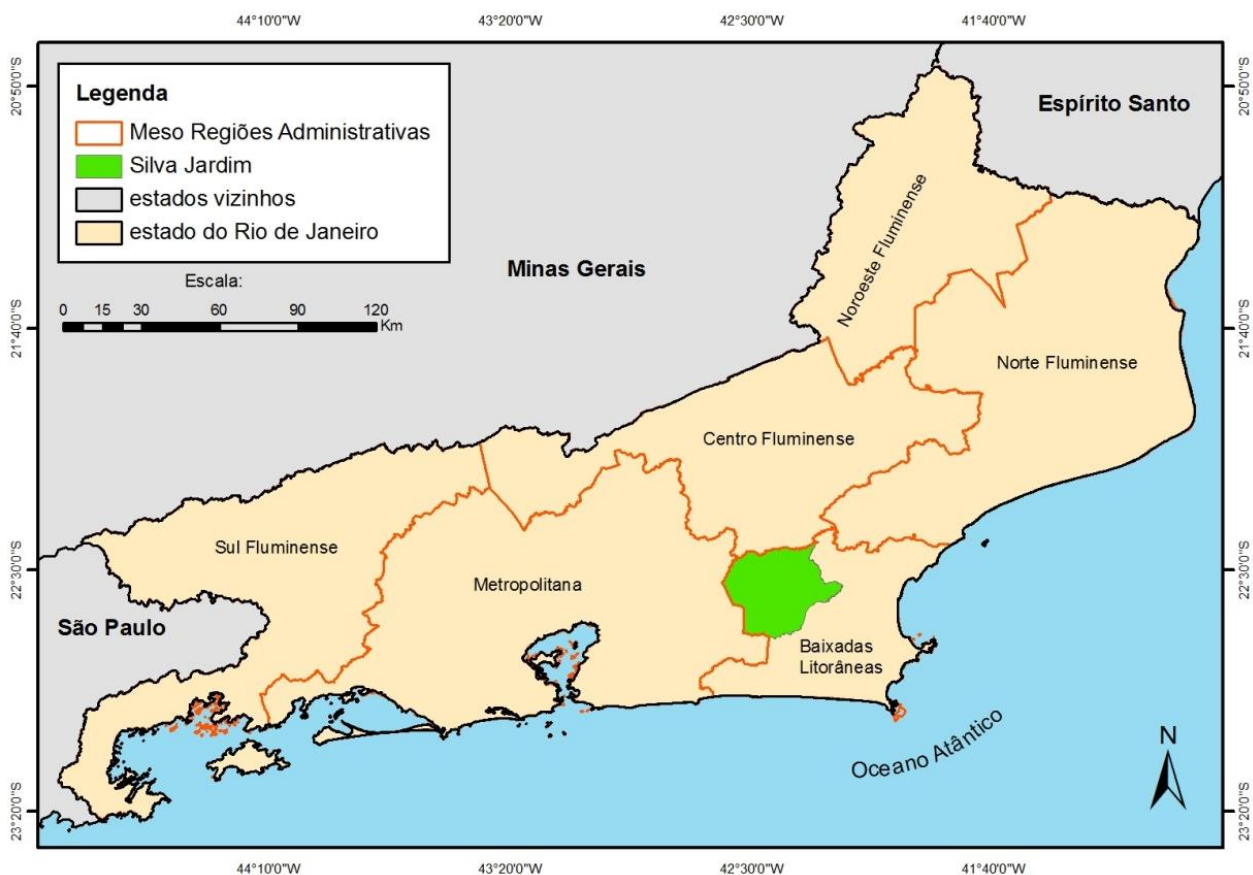


Figura 3.0-1: Localização do município de Silva Jardim em contexto estadual.

Elaborado por: Próprio autor.

Fonte de dados: IBGE (2013)

Silva Jardim localiza-se dentro do contexto do Bioma Mata Atlântica, situado entre a baixada do litoral atlântico e o corredor da Serra do Mar. O município apresenta quatro classes geomorfológicas dominantes: Escarpa da Serra do Mar (limite Norte e Noroeste); Planícies aluviais e terrenos suavemente colinosos (porção central e Sul); Planícies litorâneas (centro e Leste); por fim, Planaltos dissecados (espalhados pelo interior).

O município apresenta forte papel para conservação de remanescentes naturais no estado do Rio de Janeiro, detendo grande quantidade de unidades de conservação (UC), sejam de uso sustentável ou proteção integral, como pode ser visto na Figura 3.0-2. Apresenta o maior número de Reservas Particulares de Patrimônio Natural (RPPN) dentre outros municípios do país, além de ter 95% do seu território inserido na Área de Proteção Ambiental (APA) Mico-Leão-Dourado (FERRAZ, 2011). Abrange a Reserva Biológica (Rebio) de Poço das Antas e tem pequena parte do território incluído no Parque Estadual dos Três Picos, o maior do estado e que representa 75% de toda área verde protegida. É interessante observar que no interior da APA existem regiões sem cobertura (ilhas), que coincidem exatamente com as áreas urbanizadas dos municípios.

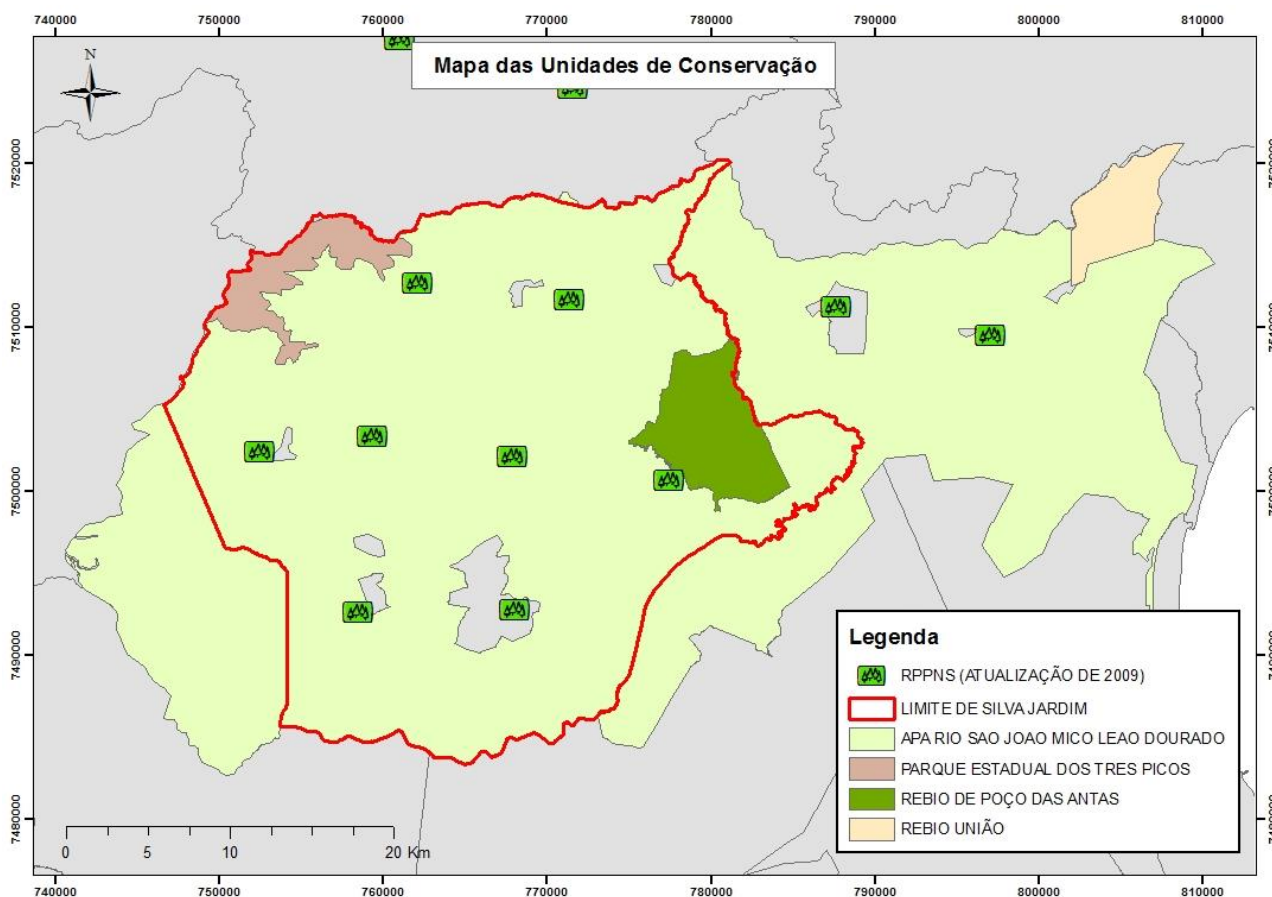


Figura 3.0-2: Relação das Unidades de Conservação com o município de Silva Jardim.

Elaborado por: Próprio autor.

Fonte de dados: IBGE (2013); Laboratório Espaço de Sensoriamento Remoto e Estudos Ambientais (UFRJ)

O interesse em proteger essa região não é por acaso. Silva Jardim abriga vasta extensão de Mata Atlântica conservada, em termos relativos ao total do seu território. Concentrando a maior parte dos fragmentos de floresta nas regiões mais elevadas, diminuindo até as áreas de baixada. Mesmo assim, o município detém grande parte dos remanescentes de Mata Atlântica em terras baixas no estado do Rio de Janeiro, com vegetações em diferentes estados de conservação. A Rébio Poço das Antas, inclusive, apresenta o maior remanescente conservado, deste tipo, na região. Há também, um elevado grau de endemismo, representado pela espécie bandeira Mico-Leão-Dourado (*Leontopithecus rosalia rosalia*). Ainda é possível destacar que o município mantém remanescentes com diferentes fisionomias típicas do Bioma Mata Atlântica, como: campos de altitude; floresta ombrófila densa; floresta estacional semi-decidual; floresta de terras baixas; brejos e matas aluviais (SEABRA, 2012). Pode-se

considerar que Silva Jardim apresenta um cenário de elevada quantidade de vegetação natural em relação à área total do município. Este é um dos cenários mais favoráveis à conservação dentre os municípios do estado e até entre muitos outros municípios presentes no bioma Mata Atlântica.

O município de Silva Jardim se encontra completamente inserido na Bacia Hidrográfica do Rio São João (BHRSJ), detendo algumas das áreas mais elevadas da bacia em seu território (Figura 3.0-3), além de grande trecho do rio São João, em seu alto e médio curso. Este fato, estrategicamente é interessante, pois grande parte das nascentes da BHRSJ se encontra no interior do município. Esta bacia é uma das principais fontes de abastecimento de água para a região e para as baixadas litorâneas (REIS, 2008).

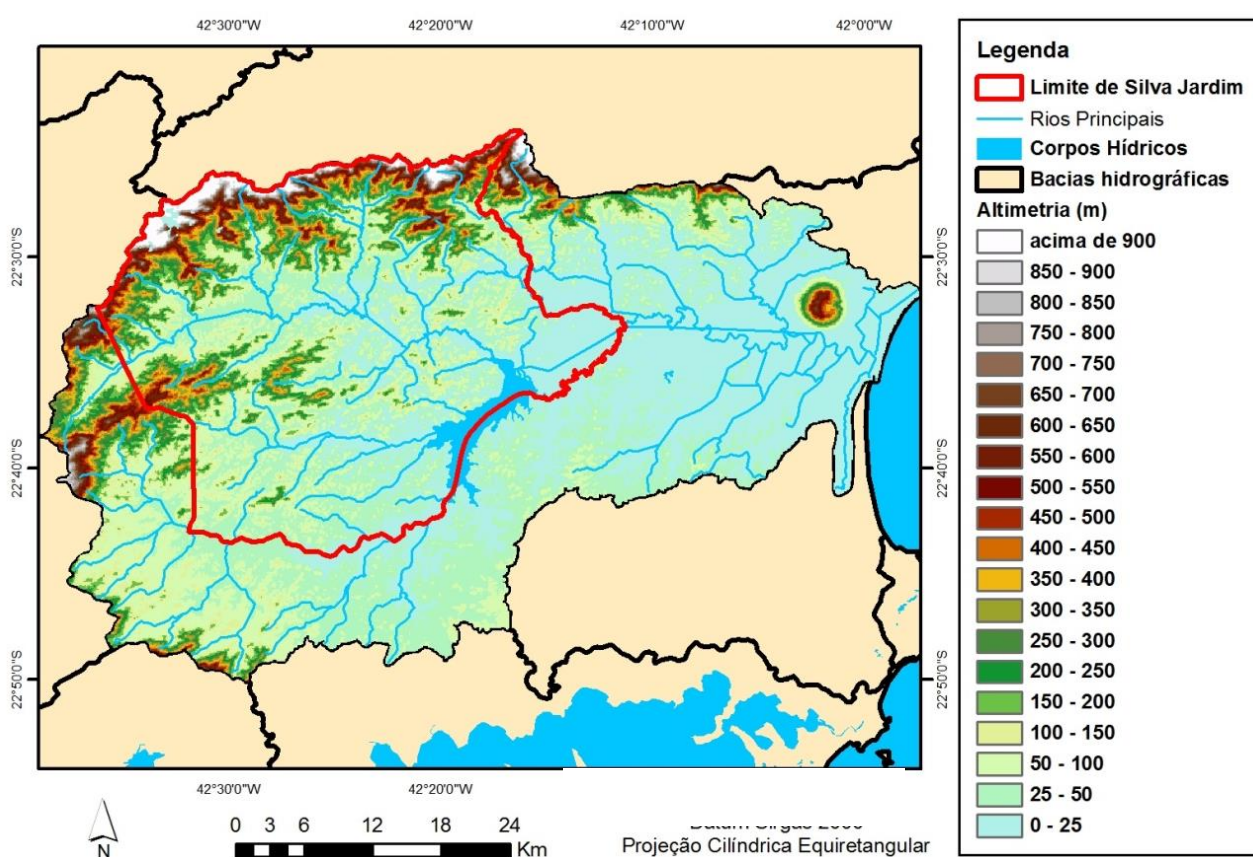


Figura 3.0-3: Altimetria de Silva Jardim no contexto da BHRSJ.

Elaborado por: Próprio autor.

Fonte de dados: IBGE (2013); Laboratório Espaço de Sensoriamento Remoto e Estudos Ambientais (UFRJ)

Além do Rio São João, o município abriga outros rios de grande importância para manutenção dos ambientes naturais, assim como a existência e desenvolvimento das atividades econômicas da região. Neste contexto, é importante ressaltar a construção da represa Juturnaíba, entre 1978 e 1984 e a retificação do Rio São João no trecho a jusante desta represa, também na década de 1980. Ambas modificações se enquadraram no propósito de melhorar o abastecimento de água para a Região dos Lagos, assim como aos projetos de irrigação para a produção de hortifrutigranjeiros no setor do rio São João a jusante (CUNHA & FREITAS, 2004). Desta forma, promoveram fortes mudanças diretas e indiretas na paisagem do município, assim como de toda a região. Isto se evidencia, principalmente, pelo fato da implementação destas obras ocorrer em período histórico em que ainda não havia nenhuma legislação que obrigasse o estudo de impactos ambientais para tais empreendimentos.

Tais modificações promoveram a montante do reservatório de Juturnaíba modificações na vegetação e fauna aquáticas e matas ciliares da planície de inundação (CUNHA & FREITAS, 2004), assim como o rebaixamento do nível do lençol freático, onde, grandes extensões das baixadas se tornaram aptas ao desenvolvimento de atividades agropecuárias (CPRM, 2001).

Para este trabalho, a escolha deste município como área de estudo é muito relevante. Em estudo para a BHRSJ, composta em 56% da sua área pelo município de Silva Jardim, Seabra (2012) afirma que: “Os maiores, e mais contínuos, fragmentos florestais da bacia são encontrados nas vertentes íngremes, escarpadas, e nos patamares residuais da Serra no Mar. Em suas planícies, morrotes e colinas, a vegetação apresenta-se distribuída em pequenos fragmentos florestais, num mosaico formado principalmente por extensas manchas de pastagem” (SEABRA, 2012). Este estudo apresentou um levantamento das regiões da paisagem em escala 1:250.000, em área mais abrangente, diferente do proposto neste trabalho, no entanto, acredita-se que é possível uma correlação no resultado destes dois levantamentos.

Esta configuração de diferentes tipos de fragmentos, ligada a uma dinâmica de recuperação mais favorável, por conta da sua matriz rural, em relação à um ambiente urbano, além da presença de uma quantidade considerável de UC, é uma boa prerrogativa para a escolha deste município como área de análise para a condição da paisagem em termos de fragmentação florestal. Desta forma, pelas características apresentadas, o município se caracteriza como um relevante objeto de análise deste estudo.

MODELAGEM DE DESCRITORES PARA CLASSIFICAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL NA ESCALA 1:25.000.

4.1 – Introdução.

Neste capítulo será apresentado o processo de classificação baseada em objetos geográficos da vegetação natural do município de Silva Jardim, buscando dar ênfase ao esforço de modelagem de descritores que ajudam a identificar a vegetação natural e que é precedente à classificação.

O processo de extração de informações do espaço geográfico a partir da classificação de imagens digitais de satélites apresenta, de forma geral, uma série de desafios, que podem ir desde a disponibilidade de ferramentas apropriadas (hardware, software, imagens, entre outros), domínio dos processos pelo analista, acesso a informações mais adequadas em termos de técnica, existência de modelos de conhecimento sobre o comportamento espectral dos alvos e muitos outros.

Uma das possibilidades de Análise de Imagens Baseada em Objetos Geográficos (GEOBIA - *Geographic Object-Based Image Analysis*) é construção de uma base de conhecimento para classificação de determinados tipos de alvos, dependendo de seus contextos. Um dos grandes obstáculos neste processo de classificação é a falta de um conjunto de informações para se definir e modelar descritores com segurança. Este processo de aplicação do conhecimento adquirido oferece suporte para a composição da rede semântica em GEOBIA. Francisco & Almeida (2012) afirmam que essa é uma das tarefas mais trabalhosas, devido à dificuldade para selecionar quais atributos descrevem melhor as classes às quais os objetos pertencem.

Alguns fatores dificultam a definição de descritores e modelos, uma vez que o estabelecimento necessitaria atender a uma replicabilidade, o que não é sempre possível. Entre outros, podemos citar os seguintes motivos: a diversidade de situações (relevo, latitude, clima, entre outros) que muitas vezes os alvos podem ser encontrados, a disponibilidade de informações na imagem para análises espectrais e texturais, a semelhança de assinaturas espectrais entre alvos e o nível de complexidade da legenda.

Nota-se assim uma demanda muito grande por modelos que garantem resultados mais precisos, além de serem reprodutíveis em outras áreas. Para se aproximarem do ideal, estes modelos devem expressar uma exatidão cada vez maior, além de ser o mais genérico possível em relação à sua aplicação em diferentes regiões.

Sendo assim, o presente estudo objetiva realizar a modelagem da cobertura vegetal buscando a formalização de descritores e modelos de classificação na escala 1:25.000. Espera-se assim, que o que aqui for produzido, possa apresentar uma grande exatidão e ser genérico quanto à outras aplicações futuras.

4.2 – Materiais e Métodos.

A presente pesquisa teve como principal insumo um conjunto de 16 cenas da imagem *WorldView 2*. Em todas as cenas as bandas multiespectrais foram fusionadas com a banda pancromática, o que garantiu uma resolução espacial para as cenas de aproximadamente 50 centímetros. Este processo pode causar alteração no valor espectral original da banda. Já, em relação à correção geométrica e atmosférica, não obteve-se maior detalhamento, sabendo-se que a empresa responsável pela venda realizou correção geométrica que garante que o trabalho seja realizado em escalas mais detalhadas do que 1:25.000. Esse foi um dos motivos que também influenciaram a escolha desta escala.

Da imagem, foram utilizadas apenas quatro bandas espectrais, sendo três presentes na faixa do visível (azul, verde e vermelho) e uma no infravermelho próximo (Tabela 4.1). As cenas foram cedidas pelo Município de Silva Jardim apenas com estas quatro bandas, o que não permitiu uma exploração de toda a sua capacidade espectral.

A imagem foi adquirida pelo sensor em 20 de setembro de 2010, fim do inverno e início da primavera, caracterizado como um período de pouca umidade na região.

Apesar de não ter disponível todas as oito bandas do sensor *WorldView 2*, as que foram utilizadas nesta pesquisa são encontradas em quase todos os sensores imageadores, com a ressalva da largura da faixa espectral não ser a mesma. No entanto, este fato ressalta a possibilidade de que os modelos aqui utilizados estejam mais próximos de serem replicáveis em outras classificações com a utilização de outras imagens de satélite.

Tabela 4.1: Bandas da imagem utilizada.

Bandas	Nome	Faixa espectral
Banda 1	Azul	450 - 510 nm
Banda 2	Verde	510 - 580 nm
Banda 3	Vermelho	630 - 690 nm
Banda 4	Infravermelho Próximo (NIR1)	770 - 895 nm

Fonte: Próprio autor.

O imageamento do satélite *WorldView-2* é feito em faixas de sequências contínuas utilizando a tecnologia *Control Moment Gyroscopes* (CMGs), que fornece aceleração num nível dez vezes acima de outros sensores e melhora tanto a capacidade de manobra como de segmentação do satélite. Esse sistema permite realizar a cobertura de uma faixa de 300 km em 9 segundos (EMBRAPA, 2012). A faixa imageada é posteriormente dividida em cenas de mesma data e com posicionamento sequencial sem sobreposição ou lacuna. No quadro abaixo seguem alguns dados sobre a imagem utilizada:

Neste contexto foi realizado o mosaico da imagem. É preciso ressaltar que, para a classificação da área, o mosaico precedente agiliza o processo, pois fica sendo necessário executar apenas uma classificação e não de cada cena ou faixa separada. O mosaico de cenas pode causar distorções quando ocorrem áreas de sobreposição (limites), quando a condição de aquisição de cada cena é diferente. Para este estudo, isto não foi problema, uma vez que as cenas coincidiam seus limites. Não houve, por isso, necessidade de utilizar qualquer processo especial de mosaico que envolvesse otimização da resposta das imagens mosaicadas (Figura 4-1) ou por exemplo equalização. Sendo assim, as cenas foram unidas por um processo simples de mosaico disponível no software Quantum GIS 1.8.0, que não exige a entrada de qualquer informação adicional.

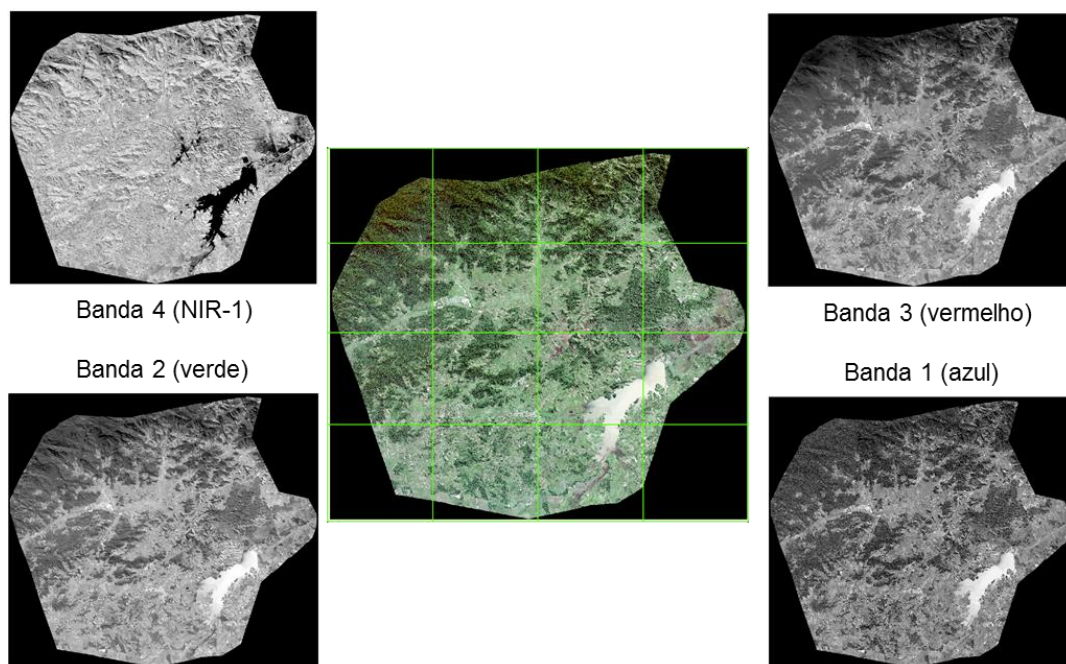


Figura 4-1: Composição colorida (R3G2B1) e bandas da imagem WV-2 em mosaico sem sobreposição de área entre as cenas.

Elaborado por: Próprio autor.

Para a classificação da vegetação natural com metodologia GEOBIA foi utilizado o software eCognition Developer 8. Todas as etapas de geoprocessamento que permeiam a pesquisa em várias etapas foram realizadas com subsídio dos softwares ArcGis 10.1 e Quantum GIS 1.8.

Além da necessidade de softwares especializados o presente estudo se deparou com uma grande exigência de capacidade de hardware. Exemplo disso é que durante a etapa de classificação foi necessária mudança por duas vezes de computador para tentar resolver o processo de segmentação, até que se decidiu por “reamostrar” em 5 vezes o tamanho do *pixel* das bandas, que a princípio era de 50 centímetros e passou a possuir 2,5 metros. Desta forma, houve uma significativa diminuição do volume de dados a ser processado. Tal decisão foi tomada com o cuidado de não oferecer impacto na escala proposta para o mapeamento.

Não se pode deixar de citar também o uso do Google Earth em algumas etapas, assim como o Quantum GIS. Alternativas gratuitas, de grande qualidade e facilidade de manuseio e que vem ganhando importância cada vez maior nas pesquisas que envolvem geotecnologias.

A seguir (Figura 4-2) estão traduzidas em um fluxograma as etapas a que se resumiu a presente pesquisa.

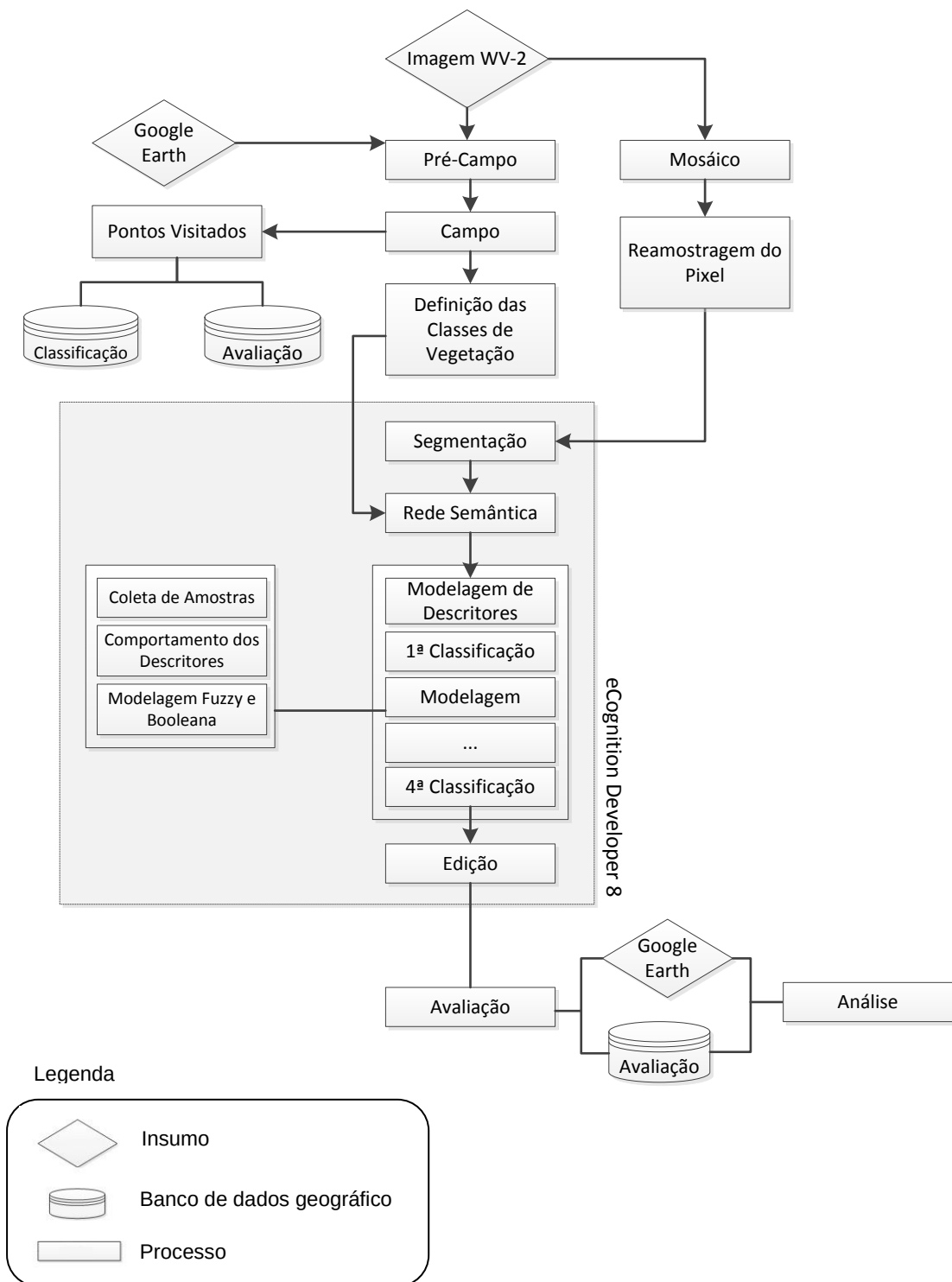


Figura 4-2: Fluxograma representando a metodologia da pesquisa.

4.2.1 – Coleta de informações em Campo.

O primeiro passo para a classificação do município entre área de vegetação natural e outras coberturas foi realizar uma identificação dos padrões visuais existentes na imagem. Esta prática é bem simples e consistiu na identificação das principais coberturas do município, além do esclarecimento de um conjunto de alvos que representaram dúvida na imagem *WorldView-2*. Nesse caso, os alvos que representaram dúvida foram marcados para visita. Além desse conjunto de pontos, foi escolhido outro para avaliação futura da classificação. Todo planejamento foi realizado utilizando a imagem *WorldView-2* e o software Google Earth com seu conjunto de imagens de diferentes épocas.

A visita à campo é um evento de grande importância, outra causa que atesta essa relevância é o fato de se poder entender com mais clareza alguns alvos tem aparência distinta em diferentes configurações do relevo (entre outros) e que, por isso parecem diferentes na imagem. É possível entender melhor estes e outros objetos neste tipo de visita.

O trabalho de campo contou com uma equipe de cinco pessoas, ocorreu nos dias 27, 28 e 29 de agosto de 2012. Desta forma, foi possível percorrer 201 pontos, em um total de 427Km de percurso, conforme a Figura 4-3. Dois especialistas da APA São João acompanharam o trabalho, além de fornecer grande suporte para a pesquisa, como transporte e vasto conhecimento da região. A visita representou grande ganho de conhecimento, principalmente acerca da identificação dos usos da terra predominantes, além do detalhamento maior em relação à cobertura da terra.

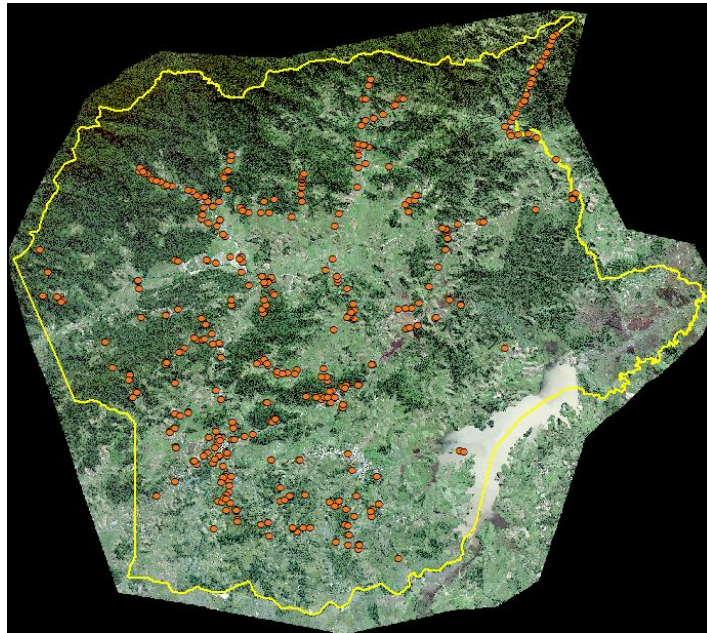


Figura 4-3: Distribuição dos pontos visitados em campo.

Foi possível também entender um pouco melhor a distribuição dos objetos geográficos no espaço e suas relações, o que facilitou a aplicação desta experiência no momento de modelagem do conhecimento (posteriormente explicitado). Um exemplo disso foi entender o reflexo da concentração do uso da terra para pasto mais ao sul do município, o que acabou por causar grande fragmentação florestal, restando, em grande parte dos casos, pequenos fragmentos de floresta. Nessas áreas foi onde se identificou uma apropriação maior de plantações de eucalipto (Figura 4-4), inclusive próximas a esses fragmentos de floresta. Para a classificação da vegetação natural a presença do eucalipto pode dificultar, uma vez que há grande semelhança espectral (das bandas disponíveis) deste com a floresta. Identificar o comportamento dessas plantações no contexto da paisagem é de grande valia para o processo de classificação com GEOBIA. Para a presente pesquisa, em primeiro momento tentou-se separar o eucalipto, no entanto, por conta de grande dificuldade o eucalipto ficou fora da análise.



Obs.: O triângulo acima representa o campo de observação de acordo com o que se apresenta na fotografia.

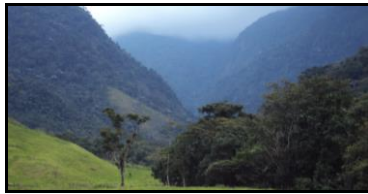
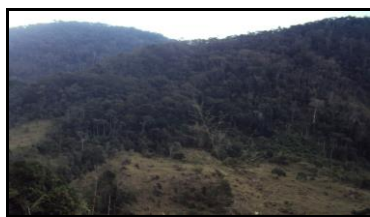
Figura 4-4: Observação de eucalipto em diferentes fases de crescimento associado à Vegetação Natural.

Em campo e com o auxílio dos especialistas foi possível constatar que a vegetação natural do município se apresenta em diversas condições, uma vez que estão em diferentes fases de sucessão vegetal, estados de conservação, níveis de interferência na borda e sensibilidade quanto à sazonalidade.

Além de perceber essas condições, foi preciso definir o que se considerou como classe Vegetação Natural. A visita a campo serviu para identificar possibilidades de vegetação natural, no entanto, sabia-se que no processo de definição da hierarquia de classes seria necessário entender quais são as subclasses que compõem este conjunto. O conhecimento do campo facilitou a identificação de algumas subclasses que formam a classe Vegetação Natural para o município de Silva jardim. A Tabela 4.2

abaixo representa as três condições de vegetação natural identificados em campo que serviram de base para a construção da classificação.

Tabela 4.2:Três subclasses da classe Vegetação Natural visitadas em campo.

Ambiente	Cobertura na imagem	Descrição da classe	Cobertura em campo
Floresta em Terras Baixas (Classe Vegetação Florestada)		Textura rugosa. Existência de sombreamento. Verde variando do claro até o escuro. Relevo baixo e disforme.	
Vegetação úmida (Classe Vegetação Úmida)		Textura rugosa. Sem muito sombreamento. Variação de verdes, sendo o escuro mais próximo dos corpos d'água e presença de manchas roxas. Áreas planas.	 
Florestas em grande declividade (Classe Vegetação Florestada)		Textura rugosa. Grande presença de sombreamento. Verde escuro com muitos pontos brancos (embaúbas). Relevo acentuado provocando variações do verde de acordo com a encosta.	 

Elaborado por: Próprio autor.

Todos os dados coletados em campo foram organizados em uma planilha. Um trecho da planilha se encontra no Quadro 4.1 abaixo. Esta, compôs posteriormente o Banco de Dados Geográfico (BDG) com os dados de campo. O mesmo serviu de suporte para a posterior avaliação da classificação, podendo também servir a posteriores pesquisas na região.

Vale a pena detalhar aqui que a coleta destas informações ocorreu a partir de observação visual. Os observadores seguiam de carro até pontos predeterminados, onde, na maioria dos casos (pontos) havia parada para observação, análise e por vezes até debate sobre o que se observava. Em outros casos bastava-se constatar a existência do tipo de cobertura que se esperava. Em algumas situações houve contato com os alvos, em especial aqueles que se mostraram como dúvida para a equipe.

Quadro 4.1: Trecho do conjunto de dados oriundos da visita de campo.

Ponto	Observação	Data	GNSS navegação	Foto	Câmera
261	Plantação de banana / pasto antes da plantação	27/08/2012	Lab Espaco 1	056 a 060	Rocky
262	Plantação de banana	27/08/2012	Lab Espaco 1	58	Rocky
269	Pasto sujo	27/08/2012	Lab Espaco 1	69	Rocky
273	Pasto limpo	27/08/2012	Lab Espaco 2	070 a 071	Roberta
274	Casa	27/08/2012	Lab Espaco 2		Roberta
275	Pasto limpo com pedras	27/08/2012	Lab Espaco 2	072 a 074	Roberta
278	Plantação de banana a esquerda	27/08/2012	Lab Espaco 1	075, 076, 082 a 085	Rocky
283	Goiabal	28/08/2012	Lab Espaco 2		Rocky
285	Eucalipto com sub-bosque, contendo uma regeneração.	28/08/2012	APA	87, 88, 89	APA
287	Eucalipto não homogêneo	28/08/2012	APA		APA
295	Afloramento rochoso no pé da encosta	28/08/2012	APA	114	APA
298	Mudas de eucalipto na encosta. Fundo de vale alagadiço	28/08/2012	Lab Espaco 2	119, 120, 121	Rocky
299	Telhado de zinco (cor branca) ao lado de uma seringueira.	28/08/2012	Lab Espaco 2	122, 123, 124	Rocky

Elaborado por: Próprio autor.

4.2.2 – Segmentação da imagem *WorldView 2*.

Com os mosaicos das bandas da imagem prontos e reamostrados para 2,5 metros, o próximo passo foi a segmentação multiresolução em ambiente eCognition Developer. Para esta etapa foram realizados alguns testes que buscaram obter o melhor delineamento possível dos alvos (limites), em especial os que compunham a classe Vegetação Natural, objeto deste estudo.

É preciso ressaltar que a segmentação multiresolução em GEOBIA particiona a imagem em níveis de escala diferentes que se relacionam hierarquicamente (verticalmente) ou horizontalmente. A hierarquia de objetos trabalha como forma de armazenamento dos objetos em todos os níveis de imagem. Desta forma, como foi dito, o conjunto de objetos é organizado em uma rede hierárquica (DEFINIENS, 2007). Ou seja, permite a realização de segmentações sucessivas em vários níveis hierárquicos *top-down*, de forma que os segmentos gerados no nível superior são respeitados no nível inferior, podendo ser apenas subdivididos, nunca agrupados. Além disso, há possibilidade de se utilizar de outras informações além das imagens de satélites, que podem, inclusive, apresentar diferentes resoluções espaciais.

Foram realizadas algumas segmentações, todas utilizando apenas o insumo da imagem *WorldView-2* e o método *top-down*. A primeira e a segunda tentativa funcionaram como testes para melhor entender o caminho a seguir. Abaixo segue descrição dos parâmetros destas:

1ª Tentativa – partiu-se de um fator de escala 500, passando por 250 e chegando até a 100. O peso da forma ficou em 0,1 e compacidade em 0,5.

2ª Tentativa – partiu-se de um fator de escala 150, passando por 100 e chegando a 50. O peso da forma utilizado foi 0,2 e compacidade 0,5.

Após perceber que os objetos que diriam respeito à Vegetação Natural não estavam sendo bem separados, foi feita uma terceira segmentação. Abaixo está a Tabela 4.3 que mostra os parâmetros utilizados nesta segmentação.

Tabela 4.3: Parâmetros atribuídos aos três níveis de segmentação.

Nível	Fator de escala	Bandas WV-2 com peso 1	Peso forma	Peso compacidade
3	150	banda 3 e banda 4	0,1	0,5
2	100	banda 3 e banda 4	0,1	0,5
1	50	banda 3 e banda 4	0,1	0,5

Elaborado por: Próprio autor.

Fragmentos de floresta e áreas de vegetação úmida foram identificados no fator de escala 150, no entanto, ocorreram muitas misturas com as vizinhanças nas bordas dos objetos. Já na segunda segmentação, utilizando fator de escala 100, as bordas foram melhor separadas e objetos internos aos fragmentos de Vegetação Natural foram identificados, como: clareiras, áreas com rochas parcialmente colonizadas por vegetação e áreas de regeneração florestal.

No nível de escala 50 os objetos ficaram bem “pequenos”, mas esta segmentação separou muito bem os alvos, principalmente na definição do contorno. Alguns objetos de sombra passaram a aparecer como, por exemplo, alguns sombreamentos internos das florestas (Figura 4-5). Outros elementos menores passaram também a ficar destacados, embora não tiveram relação essencial com a classe Vegetação Natural, como trechos de arruamento, trechos de rios, telhados, entre outros.

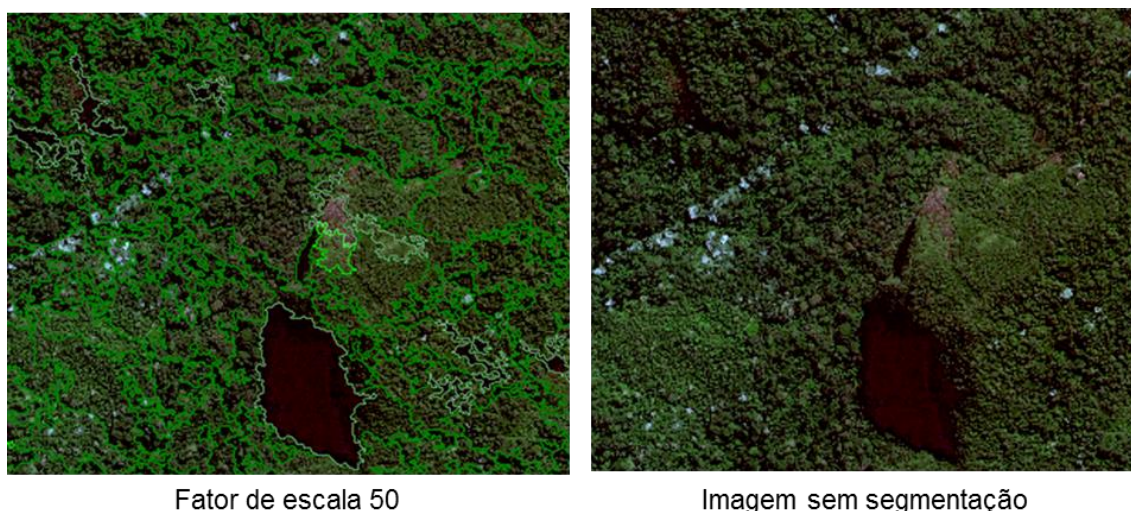


Figura 4-5: Separação dos objetos na segmentação de nível 1.

Elaborado por: Próprio Autor.

Neste contexto, Esta terceira tentativa de segmentação foi a escolhida. Nesta, o nível 1 (um) foi o que apresentou os objetos melhor delineados, em especial os ligados à futura classe Vegetação Natural. Desta forma, este nível foi utilizado nos posteriores processos de classificação.

As principais decisões para que esta segmentação tenha sido considerada como satisfatória foram:

- Utilizou-se o peso maior nas bandas 3 e 4 para todos os níveis hierárquicos, que representam respectivamente o vermelho e infravermelho próximo. Já é amplamente conhecido que estas bandas, dentre as disponíveis, são as mais sensíveis à presença de vegetação, logo, entende-se que foram fundamentais para separação dos objetos associados a esta classe;
- Utilização de segmentos bem “pequenos”, obtidos de maneira top-down e que separaram bem a mistura existente entre fragmentos de floresta e vizinhança, principalmente o pasto, ou as vegetações de menor porte, que podem estar sob forte influência antrópica.

Este processo de segmentação exigiu muito do hardware, consumindo, desta forma, muito tempo. Foi necessária a mudança de computador na realização da segmentação. Por conseguinte, todos os processos de classificação posteriores sofreram o peso do elevado número de objetos gerado que a segmentação escolhida apresentou. Esse foi o ônus que se resolveu assumir para obter maior detalhamento dos objetos, principalmente dos fragmentos de floresta.

4.2.3 – Rede Semântica e Modelagem dos descritores.

Após a divisão da imagem em objetos, montou-se a estratégia de classificação da vegetação natural através da hierarquia de classes. Este processo está intimamente ligado à construção da rede semântica. Neste momento vale ressaltar que na hierarquia de classes, a subclasse herda a informação da superclasse e a rede semântica orienta o objeto a se encaixar na subclasse que melhor lhe representa, cada vez que uma nova classificação é criada. Desta forma, esta etapa traduz grande parte do conhecimento do interprete, é uma das tarefas mais importantes para a classificação dos objetos.

A rede semântica ilustrada na Figura 4-6, foi gerada de forma heurística, testando interativamente os descritores, as funções e os seus limiares para a

discriminação adequada das classes. Sabe-se que existem formas automáticas para geração da rede semântica, através da aplicação de técnicas de mineração de dados, no entanto, não se optou por essa metodologia, em especial pelo fato da imagem não apresentar grande variedade de bandas espectrais, além do que, o objetivo deste estudo foi de extrair apenas a classe vegetação natural, desta forma, optou-se por modelar os descritores de forma heurística.

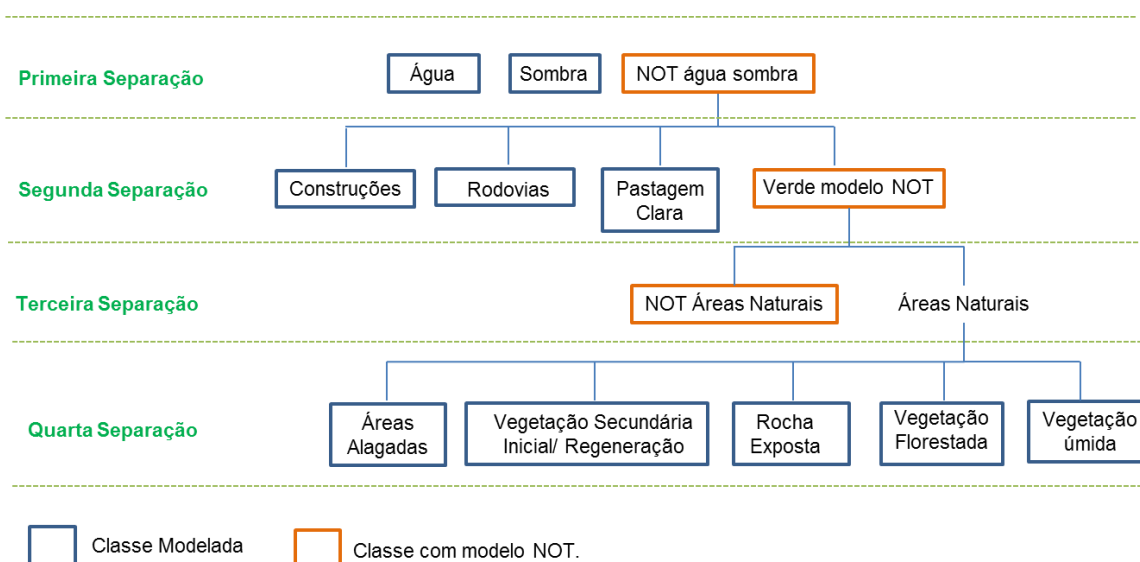


Figura 4-6: Imagem ilustrando a rede semântica.

As duas primeiras classificações funcionaram como filtros, descartando classes desnecessárias para se isolar a classe vegetação natural. Para isso, foi feita em cada etapa a modelagem das classes que não se queria mapear, por exemplo: na primeira etapa foram modeladas a “água” e a “sombra”, logo, tudo o que não pertencia a estas classes foi separado a partir de uma relação de negação. Ou seja, foi criada a classe “NOT_agua_sombra” que tinha por descritor a negação do que era “água” e “sombra”.

Agindo assim, garantiu-se que tudo o que não fizesse parte das classes modeladas (em cada etapa) seria vegetação natural ou outras um objeto de outra classe separada posteriormente.

Na prática, a modelagem inicia a partir da coleta de um conjunto de amostras para cada classe. A escolha dessas amostras leva em consideração a variedade de situações que a classe se encontra, como os alvos que se encontram em áreas planas ou declivosas. Há de se considerar também a variedade de características internas da classe: no caso de “construções”, existem alvos variados representados, como, telhados de amianto, telhados coloniais, ruas, estacionamentos, entre outros.

Foram levantadas 168 amostras no total. Nesse processo de levantamento, um volume muito grande de amostras foi escolhido, o que ocasionou um impacto negativo no processo posterior de modelagem, uma vez que os gráficos dos descritores apresentavam desvio padrão cada vez maior, à medida que se aumentava a quantidade de amostras. Julgou-se, assim, interessante levantar uma quantidade de amostras que traduzisse o comportamento da classe diante dos descritores (concentração no gráfico) e nada além disso. As quantidades de amostras estão divididas entre as classes conforme mostra a Tabela 4.4 abaixo.

Tabela 4.4: Amostras para cada classe modelada.

Classe	Quantidade de Amostras	Principais Características
Água	15	Rios, lagos e lagoas.
Construções	10	Ruas de terra, casas, pequenos prédios, praças, entre outros.
Pastagem clara	25	Vegetação rasteira, por vezes com intervalos de solo exposto.
Rodovias	12	Ruas e rodovias pavimentadas.
Áreas alagadas	21	Áreas onde esse misturam solos úmidos, água, sempre sujeito a inundação.
Rocha Exposta	20	Afloramentos rochosos com ou sem cobertura parcial de vegetação.
Vegetação Florestada	26	Áreas de floresta natural com diferentes portes e em áreas de diferentes condições de declividade.
Vegetação úmida	19	Vegetação no entorno de rios, ou vegetações associadas às áreas úmidas.
Vegetação Secundária Inicial (VSI)/ Regeneração	20	Vegetação de pequeno e médio porte, arbórea arbustiva que não apresenta uniformidade e grande densidade.

Elaborado por: Próprio Autor.

Após esta etapa, foi feita a escolha de descritores. A cada inserção, foram feitos testes para avaliar a significância. Foram utilizados descritores que levam em

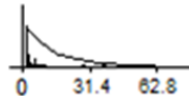
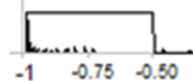
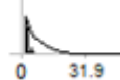
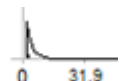
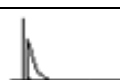
consideração a resposta espectral, assim como informações temáticas. O comportamento das amostras foi detalhado utilizando modelos *fuzzy* e booleano.

Dentre os descritores escolhidos, destaca-se aqui o uso das imagens oriundas da análise de Componentes Principais (*Principal Components* - PCA). Em estudo sobre redes semânticas para classificação da cobertura da terra, Francisco & Almeida (2012) utilizam a quarta componente para separar com sucesso o reflorestamento da floresta, entendendo que pode ser um descritor interessante no estudo da vegetação, em especial a arbórea.

As imagens de Componentes Principais foram geradas no Spring, no entanto, o PC4 (quarta componente principal) foi o que apresentou melhores resultados para utilização na última etapa de classificação, quando foi necessário separar tipos de vegetação.

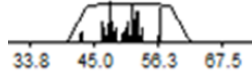
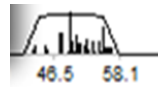
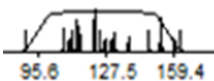
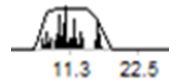
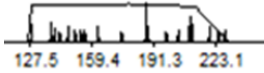
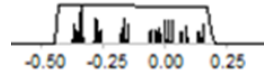
O Quadro 4.2 abaixo mostra os descritores utilizados e aqueles que foram descartados por não apresentar resultados interessantes na separação das classes.

Quadro 4.2: Detalhamento dos descritores por cada classe.

Níveis de separação	Classe	Descritores Utilizados	Parâmetros dos Descritores	Tipo do Gráfico	Gráfico com a modelagem dos descritores
Primeira	Água	Média da Banda 1	$> 30, < 255$	<i>Fuzzy</i>	
		Média da Banda 4	< 87	<i>Fuzzy</i>	
		NDVI	$< -0,5$	<i>Boolean</i>	
	Sombra	Média da Banda 1	< 30	<i>Fuzzy</i>	
		Média da Banda 2	< 15	<i>Fuzzy</i>	
		Média da Banda 3	< 15	<i>Fuzzy</i>	

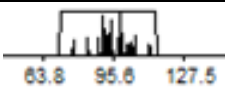
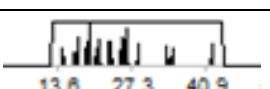
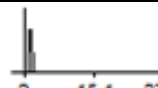
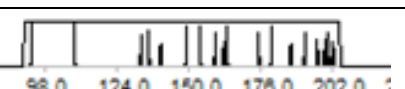
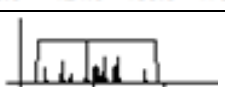
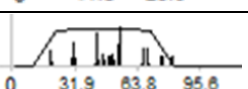
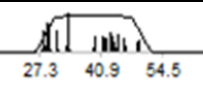
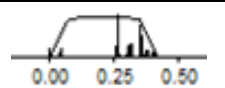
Continua...

...Continuação

Segunda	Construções	Desvio Padrão da Banda 2	> 40, < 62	Fuzzy	
		Desvio Padrão da Banda 3	> 41, < 58	Fuzzy	
	Pastagem clara	Média da Banda 2	> 88, < 163	Fuzzy	
		Desvio Padrão da Banda 2	> 5, < 18	Fuzzy	
		Desvio Padrão da Banda 4	> 12, < 25	Fuzzy	
		NDVI	> 0, < 0,27	Fuzzy	
	Rodovias	Média da Banda 3	> 126, < 230	Boolean	
		Desvio Padrão da Banda 3	> 13, < 41	Boolean	
		NDVI	> -0,45, < 0,2	Boolean	

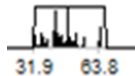
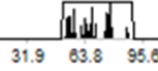
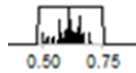
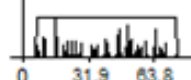
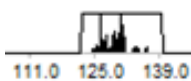
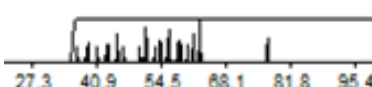
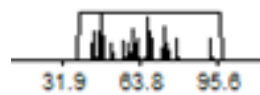
Continua...

...Continuação

Terceira	Vegetação Herbácea	Média da Banda 2	> 70, < 115	Boolean	
		Média do PCA 1	> 215, < 254	Boolean	
		Desvio Padrão da Banda 4	> 12, < 44	Boolean	
Quarta	Áreas alagadas	Declividade (NN)	< 5	Boolean	
		Média do PCA 2	> 90, < 205	Boolean	
		Desvio Padrão da Banda 1	> 2, < 22	Boolean	
	Rocha Exposta	Média da Banda 3	> 9, < 82	Fuzzy	
		Desvio Padrão da Banda 4	> 26, < 52	Fuzzy	
		NDVI	> 0, < 0,42	Fuzzy	

Continua...

...Continuação

Quarta	Vegetação Secundária Inicial/ Regeneração	Média da Banda 1	> 31, < 67	Boolean	
		Média da Banda 2	> 50, < 90	Boolean	
		NDVI	> 0,48; < 0,75	Boolean	
	Vegetação Florestada	Média da Banda 2	> 4, < 75	Boolean	
		Média do PCA 4	> 122, < 139,5	Boolean	
		Desvio Padrão da Banda 4	> 35, < 36	Fuzzy	
		NDVI	> 0,48, < 1	Fuzzy	
	Vegetação em áreas úmidas	Declividade (NN)	< 5	Boolean	
		Média da Banda 2	> 37, < 97	Boolean	
		Desvio Padrão da Banda 1	> 13, < 26	Fuzzy	

Na primeira etapa houve a separação da água e sombra (Figura 4-7). Classes que se diferem muito em relação à resposta espectral com as outras classes presentes na região. O maior desafio foi com as florestas que apresentavam grande sombreamento interno, influência do ângulo de iluminação e ângulo de imageamento no horário e dia da aquisição da imagem, além do porte arbóreo e abertura do dossel dessas florestas. Pequenos objetos foram classificados como sombra no interior da floresta, o que não representou grande problema e foi resolvido com a edição manual.

Em uma primeira avaliação, a classe água foi a que apresentou os melhores resultados, não se confundindo com qualquer outra classe.

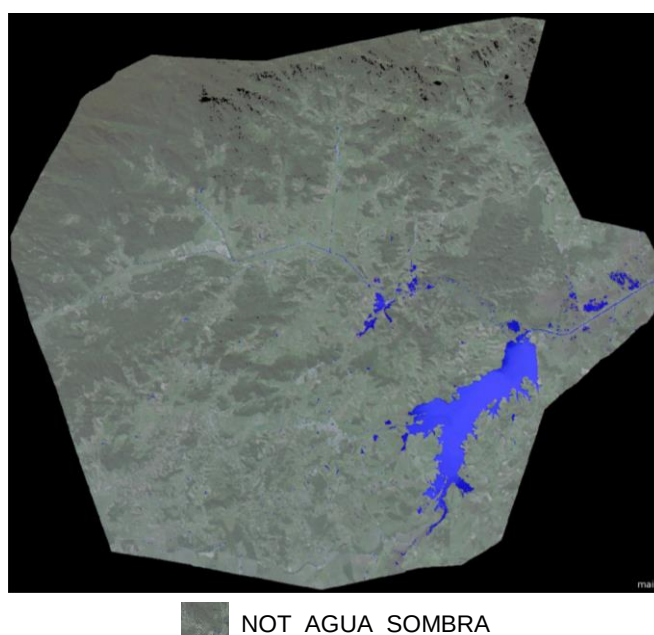


Figura 4-7: Primeira separação (classificação).

A segunda etapa (Figura 4-8) foi a separação interna da classe NOT_AGUA_SOMBRA (inverso da água e sombra). A mesma lógica se seguiu e a classe VERDE_MODELO_NOT. Esta não foi modelada por descritores, surgiu como a negação das classes “Construções”, “Rodovias” e “Pastagem clara”, ou seja, representa o inverso destas.

Esta classificação não apresentou grande confusão na separação das classes. Destaca-se aqui o uso do descritor NDVI. O mesmo, em cada uma das etapas, contribuiu significativamente. Este fato já era esperado, uma vez que este descritor é amplamente utilizado em pesquisas que envolvem GEOBIA. Um exemplo disso foram os estudos de Albuquerque (2010) e Albuquerque et al (2011). Neste caso os autores realizaram estudos sobre o estado de perturbação de fragmentos florestais e afirmam

a importância deste descritor ao concluir que o NDVI pode ser usado, inclusive, no estabelecimento de limiares de separação entre diferentes coberturas florestais.

Para a presente pesquisa, nesta etapa, as classes apresentaram comportamento particularizado (mas não restrito) neste descritor, o que foi de grande valia para a separação desejada nesse momento. Entende-se, desta forma, que o uso do NDVI auxilia na separação entre as classes compostas por vegetação e, na presente pesquisa, a classificação também daquelas que não são compostas. O principal produto desta separação é o VERDE_MODELO_NOT (classe resultante da negação/ separação de todas as outras modeladas).

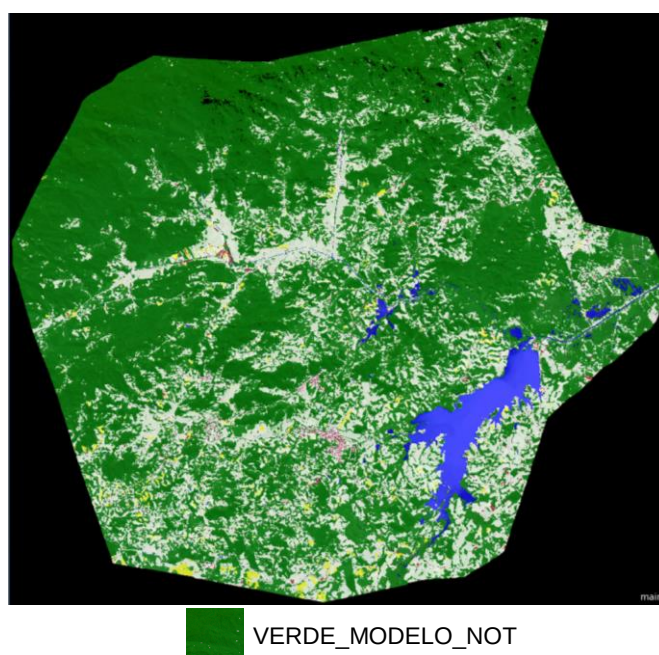


Figura 4-8: Segunda separação (classificação).

A terceira separação (Figura 4-9), já no âmbito do conjunto VERDE_MODELO_NOT, ocorreu entre as classes AREAS_NATURAIS (modelada com descritores) e NOT_AREAS_NATURAIS, seguindo a mesma lógica de negação da primeira classe citada.

Essa separação apresentou o diferencial de ter sido o primeiro momento em que as áreas verdes foram separadas. Para isso julgou-se mais eficaz modelar as áreas naturais, uma vez que estas representariam uma porção menor da área, além de uma variação menor de classes internas a serem consideradas.

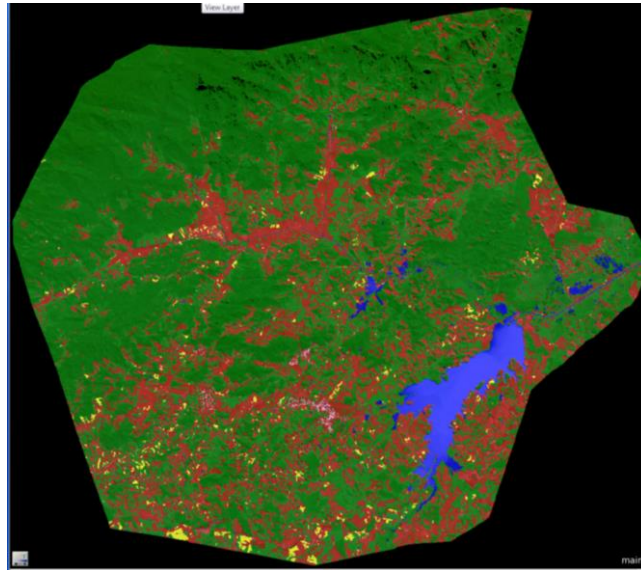


Figura 4-9: Terceira separação (classificação).

Na quarta e última separação (Figura 4-10), foram identificados outros tipos de áreas naturais que existem e que, além de serem possíveis de se observar no campo e na imagem, são distinguíveis entre si e necessitaram ser modelados separadamente. Desta forma, nesta etapa optou-se por identificar florestas, áreas alagadas, vegetação úmida, rochas expostas e fragmentos que representam possíveis regiões de Vegetação Secundária Inicial/ Regeneração.

Alguns objetos se mantiveram ao final da classificação sem nenhuma classe. Desta forma um novo processo foi rodado para classificar apenas esses casos.

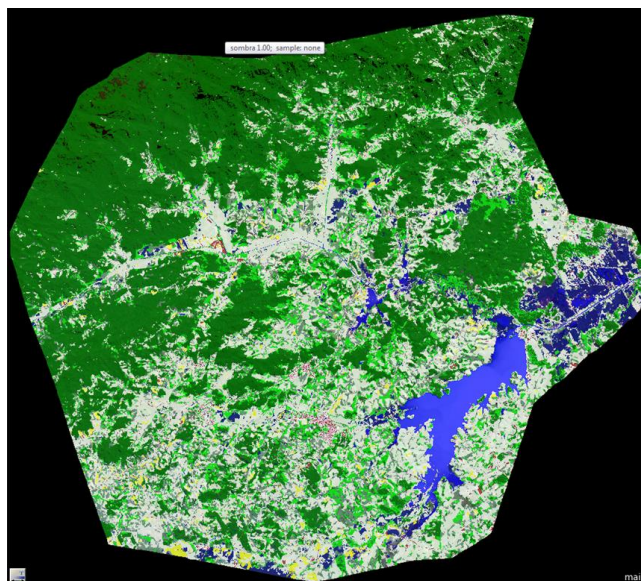


Figura 4-10: Quarta separação (classificação).

4.2.4 – Edição da Classificação.

Após obter os resultados semiautomáticos da classificação a próxima etapa foi a realização de acertos através de edição manual.

O tempo gasto foi de aproximadamente quinze horas divididas em três dias. Esse esforço é necessário, pois não há processo automático ou semiautomático de classificação de imagens que, para essa escala e com estes insumos, garanta acerto satisfatório. Além disso, as áreas sombreadas e, em alguns casos, cobertas por nuvens são ajustadas nesta etapa.

O trabalho de edição acertou algumas confusões entre classes, porém, se concentrou principalmente em ajustar o sombreado interno das florestas, eliminando pequenos objetos de sombra criados na segmentação em áreas completamente florestadas. Além disso, outro esforço foi voltado para as copas, ou conjunto de copas de árvores conhecidas como embaúbas (*Cecropia* sp.). Estas predominaram objetos que não foram classificados em nenhuma das etapas. As embaúbas tem resposta espectral alta em todas as bandas por apresentar folhas com elevada reflectância. A seguir é apresentado um comparativo da classificação com edição e sem edição (Figura 4-11 e Figura 4.12) e tabela mostrando a dinâmica da mudança entre as duas classes, Vegetação Natural e Outros.

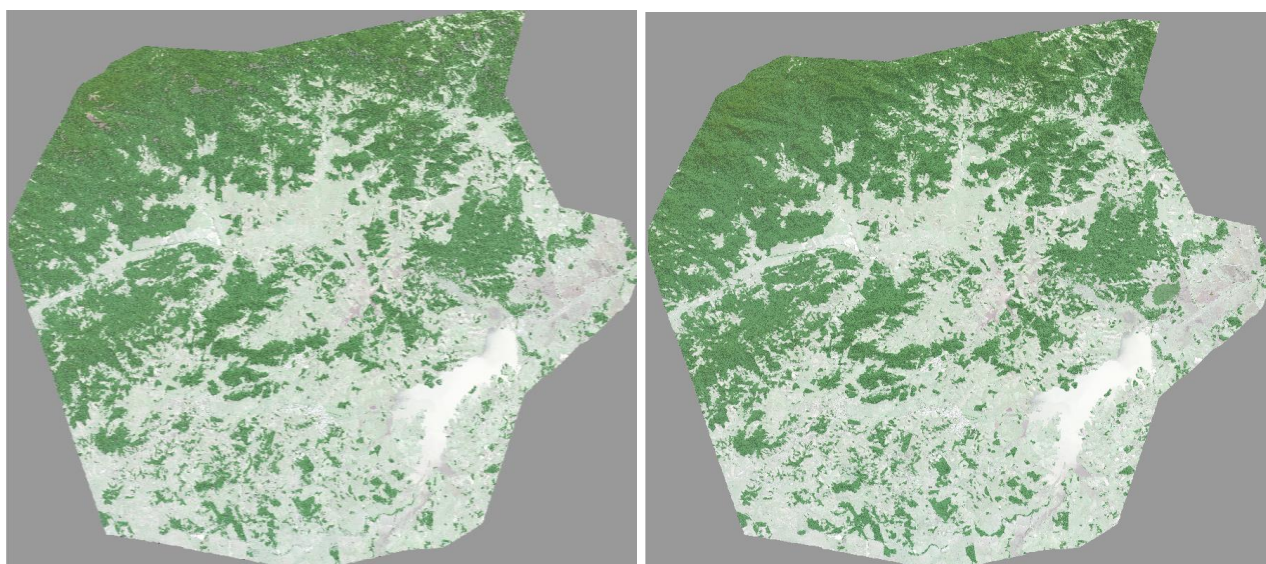


Figura 4-11: Classificação não editada à esquerda e Classificação editada à direita.

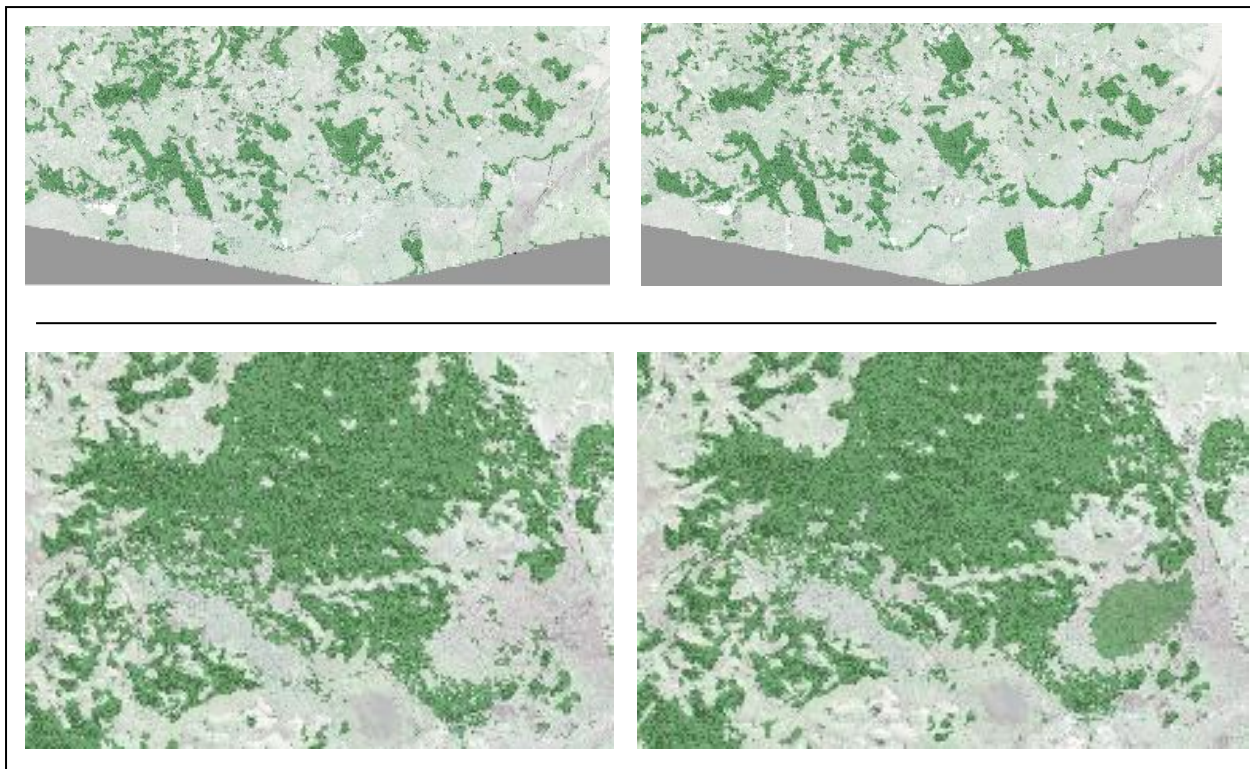


Figura 4-12: Detalhe de duas que se modificaram no processo de edição.

A quantidade total de vegetação natural no primeiro momento (sem edição) representava aproximadamente de 531 Km² e outras coberturas com cerca de 660 Km². Após a edição a vegetação natural passou a representar 544 Km² e “Outros” 647 Km² do total da imagem. Houve, neste caso, um crescimento das áreas de vegetação natural em cerca de 13 Km², o que representa aproximadamente 2,4% da área antes considerada como vegetação natural e pouco mais de 1% da área total imageada. Abaixo, na Tabela 4.5 é possível observar estas e outras informações acerca das correções de classe:

Tabela 4.5: Correção de classes após o processo de edição.

Dinâmica	Km²	% da área total classificada	% do município
Manteve como Outros	637,7	53,5	68,0
Manteve como Vegetação Natural	521,2	43,7	55,6
Passou de Outros para Vegetação Natural	22,6	1,9	2,4
Passou de Vegetação Natural para Outros	9,9	0,8	1,1
Área total classificada	1191,5	-	127,1
Área do município	937,5	78,7	-

Fonte: Próprio autor.

Se levar em conta a dimensão do município de Silva Jardim a edição passa a representar aproximadamente 1,4% da área. Outros métodos de classificação exigem grande custo de tempo (semanas) relacionado à edição manual individual de regiões com área próxima a apresentada. De acordo com o resultado apresentado, considerou-se, que o esforço de edição foi pequeno em relação ao tempo gasto de aproximadamente quinze horas para a proporção de tamanho que apresenta a área de estudos.

Após o processo de edição, ocorreu o tratamento do resultado. Foram eliminados os fragmentos menores que 156,5 m², uma vez que não são representativos para a escala proposta (1:25.000). Além disso, houve uma suavização dos contornos (limites dos objetos) a partir de um filtro de moda (*Majority*). Cruz et al, (2007) afirma que esta função é uma generalização cartográfica que diminui a influência da estrutura da base matricial, permitindo além da suavização dos contornos, o agrupamento de pequenas áreas por proximidade.

Por fim, os dados foram exportados em formato vetorial, configurando o mapeamento da Vegetação Natural na escala 1:25.000. O mesmo foi feito para o resultado não editado.

4.2.5 – Avaliação da Classificação.

Após o ajuste promovido pela edição, foi feita a avaliação da exatidão ou acurácia¹ da classificação.

Segundo Cadena, (2011), avaliar a acurácia dos dados oriundos de processos em Sensoriamento Remoto é fundamental, para saber sobre a confiabilidade dos dados derivados dos mapas temáticos obtidos por meio dessa ferramenta.

Desta forma, foi confrontando o resultado da classificação (objetos classificados) com dados de referência (“verdades terrestres”). Isto ocorreu através de uma matriz de confusão ou matriz de erros. Esta possui igual número de colunas e linhas, sendo que neste caso as colunas representam as duas classes do mapeamento gerado (Vegetação Natural e Outros) e as colunas representam os valores dos dados de referência para as mesmas classes.

Na matriz gerada, os valores da diagonal principal significam o nível de acerto (ou concordância) entre os dois conjuntos de dados e N é o número total de amostras coletadas. Dados de referência devem ter um grau de acurácia mais alto que os dados usados para a geração do mapeamento (CADENA G. T., 2011). Para compor a referência devem ser utilizados dados com mesma atualização. Desses: imagens de mesma ou melhor resolução espacial que a utilizada para produzir o mapa; levantamento de campo, mapas temáticos em escala de maior detalhe, fotografias e outros dados coletados in situ.

Para compor o conjunto de elementos amostrais foram coletados 100 (cem) pontos aleatórios na classificação gerada. Foram conferidos os mesmos 100 pontos no software Google Earth. A escolha dos pontos foi feita utilizando a função Random do software ArcGis 10.1. Os conjuntos de pontos alimentaram a matriz de confusão.

Utilizando a mesma metodologia, foi feita outra matriz de confusão. Desta vez, os pontos foram levantados durante a visita à campo e não foram utilizados em nenhuma etapa anterior, para que não houvesse influência na avaliação do resultado. Desta forma, 133 (cento e trinta e três) pontos foram marcados na classificação final, representando a mesma localização dos pontos coletados em campo. Este segundo conjunto de dados é caracterizado como aleatório, pois leva em consideração o fator acesso ao ponto, ou seja, um limitante espacial. Abaixo segue Figura 4-13 ilustrando a distribuição dos pontos de avaliação nas duas situações.

¹ MONICO et al., (2009) compreende os termos “acurácia” e “exatidão” como sinônimos, no objetivo de traduzir o quão próxima uma observação (ou medida) está do seu valor real.

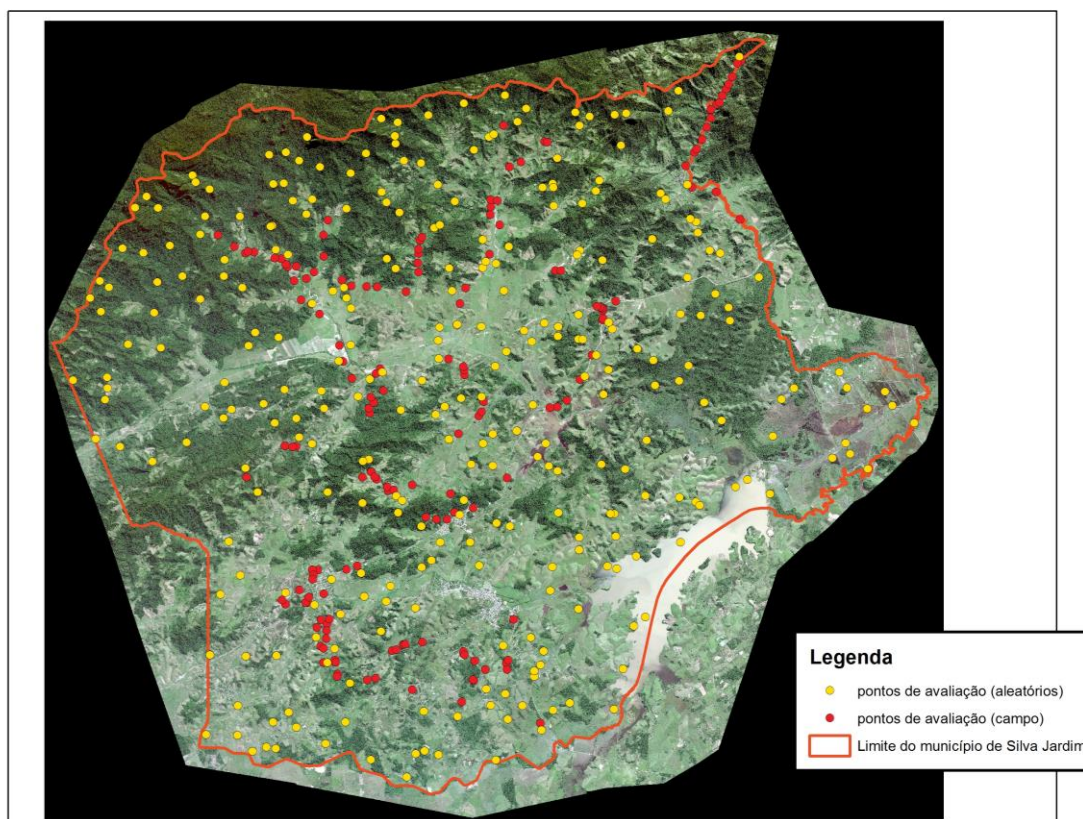


Figura 4-13: Distribuição dos pontos de avaliação.

Ambos processo de avaliação foram feitos para a classificação editada. Os resultados das amostragens se encontram no Quadro 4.3 e Quadro 4.4 abaixo.

Quadro 4.3: Matriz de confusão utilizando dados do Google Earth.

Classes		Referência	
		Vegetação Natural	Outros
Classificação	Vegetação Natural	39	8
	Outros	6	80

Total de amostras (N) = 133

Quadro 4.4: Matriz de confusão utilizando dados de levantamento de campo como referência.

Classes		Referência	
		Vegetação Natural	Outros
Classificação	Vegetação Natural	47	3
	Outros	4	46

Total de amostras (N) = 100

A partir das informações dos quadros acima foi possível calcular a exatidão global (eg) do mapeamento realizado. Esta é a razão da soma dos elementos classificados corretamente (diagonal principal) pelo total de amostras, de acordo com a Equação 4.1 apresentada a seguir:

$$\frac{\sum \text{diagonal principal}}{N} \times 100 = \text{eg} \quad (4.1)$$

em que,

N = número total de amostras.

Utilizando a primeira avaliação, com base em amostragem aleatória simples, alcançou-se 89,4% de acerto. Já para a segunda avaliação (amostragem aleatória estratificada) foi encontrada um valor de 93%. Ambos resultados são considerados como satisfatórios para classificação.

4.3 – Análise dos Resultados

A partir das avaliações realizadas pôde-se observar que ambos os resultados são satisfatórios e até considerados altos.

Em especial, as áreas da classe “Vegetação secundária inicial (VSI)/ Regeneração” se confundiram em alguns momentos com as vizinhanças da classe Vegetação Natural, principalmente nos casos em que há presença de floresta (Figura 4-14). Em outras situações observou-se também aproximação com áreas de pastagens mais verdes, ligadas talvez à coberturas arbustivas.

Pode-se especular, desta forma, uma associação direta dessa classe com as áreas que apresentam floresta, podendo em muitos casos haver relação direta (Figura 4-14).

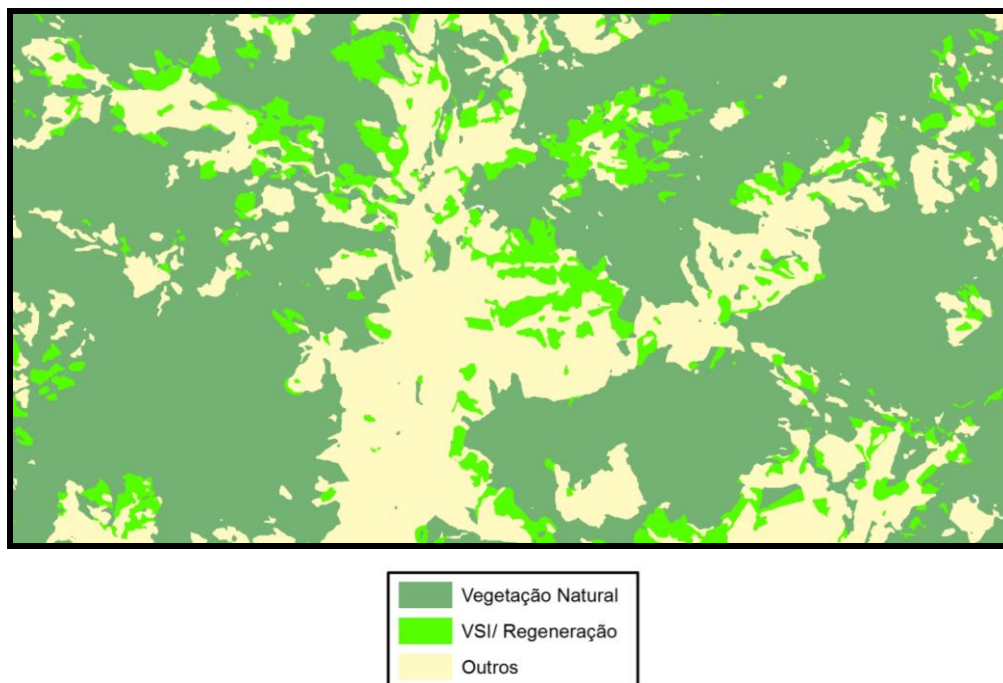


Figura 4-14: Um dos muitos trechos onde a classe VSI/ Regeneração está espacialmente associada à classe Vegetação Natural.

Acima, observamos esta associação espacial. Um fato interessante é que, se comportando desta forma podemos cogitar que grande parte desses recortes da classe chamada aqui de VSI/ Regeneração podem estar nessas condições devido a diversas ações do entorno sobre a borda dos remanescentes de vegetação natural. Dessa forma, com o tempo os remanescentes estariam sendo degradados, deixando várias regiões da classe VSI/ Regeneração como produto do efeito de borda.

Uma segunda hipótese, talvez mais consistente, seria que, estas podem ser áreas ocupadas anteriormente por atividade agrícolas e que foram abandonadas (possivelmente pela estagnação econômica que viveu essa região a tempos atrás) e que estão se regenerando. No entanto, não há subsídios nesta pesquisa que confirmem ambas afirmações com segurança, deixando apenas o fato declarado para que dê abertura a futuros estudos mais detalhados sobre o comportamento da classe aqui mencionada.

Nos casos em que a floresta fez limite com outras classes, pôde-se observar uma boa distinção, apresentando, inclusive, limite bem recortado.

Analisando o presente mapeamento do município como um todo (Figura 4-15), obtiveram-se os seguintes resultados:

- A vegetação natural no município de Silva Jardim apresentou na escala 1:25000 uma área de 436,9 Km²;
- Desta forma, a vegetação natural nesta escala representa aproximadamente 46,6% da área do município.

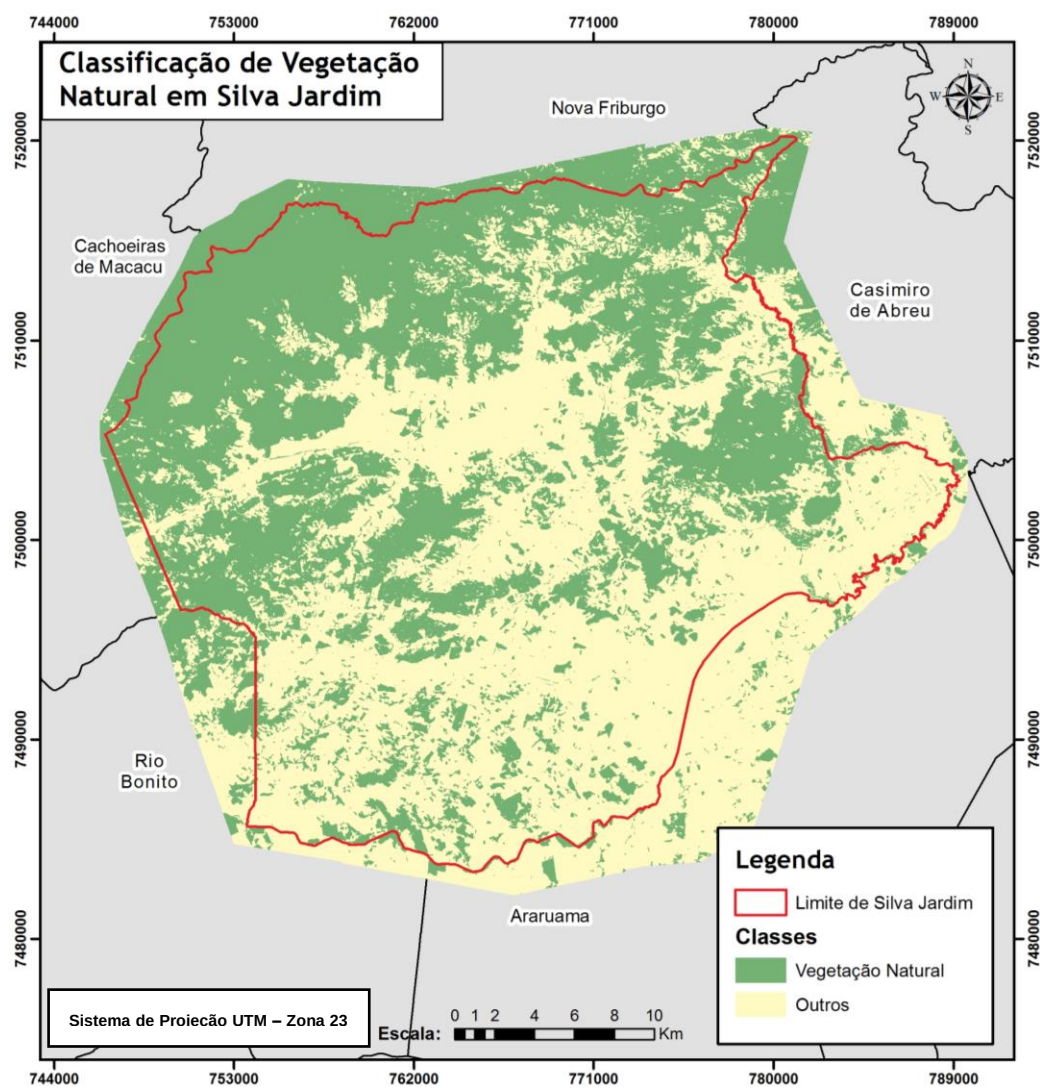


Figura 4-15: Mapa resultado da classificação da vegetação natural em Silva Jardim.

Elaborado por: Próprio autor.

Fonte de dados: IBGE (2013)

Entende-se aqui ser de grande relevância a possibilidade de identificação de uma classe Eucalipto no processo de classificação, no entanto, com os dados espectrais disponíveis não houve possibilidade de realizar essa separação. Acredita-se também que o uso de descritores para classificação que levem em consideração aspectos como a forma e principalmente a textura dos fragmentos pode ajudar a diferenciar a suposta classe eucalipto, que visualmente apresenta comportamento tão característico (em relação à textura e forma) em todas as fases de crescimento. Porém, não optou-se por utilizar estes descritores uma vez que demandam uma capacidade muito grande de processamento por parte do hardware. Após algumas tentativas fracassadas, optou-se por não dedicar mais esforços para esta finalidade e separar posteriormente o eucalipto que misturou com Vegetação Natural no processo de edição.

Não se pode deixar de comentar que, apesar de em alguns casos o eucalipto se misturar com a Vegetação Natural, em especial nas maiores fases de crescimento, em poucos casos (em torno de 10) se identificou nos objetos (criados no processo de segmentação) mistura interna do eucalipto com alvos que viriam a compor outras classes. Entende-se aqui que este fato caracteriza uma boa identificação dos limites dos objetos que caracterizavam o eucalipto e as outras classes.

4.4 – Conclusões.

Pôde-se concluir que a segmentação com refinamento ajudou muito na definição do limite entre os objetos, em especial para pesquisa com esta escala para ambientes rurais. Acredita-se que o resultado pode servir para estudos de análise da paisagem, em especial, os efeitos de borda de fragmentos.

Outra conclusão que se julga interessante foi a utilização de descritores não tão elaborados, com funções simples e que utilizaram bandas amplamente disponíveis em outros sensores, promovendo a possibilidade de uma maior replicabilidade em outras pesquisas para extração de Vegetação Natural.

O NDVI, como era esperado, se destacou como função de grande utilidade nas várias etapas de separação. Grande parte das classes apresentou comportamento bem delimitado em relação ao NDVI, embora, não tenha sido observado nele a capacidade de, sozinho, separar todas as classes entre si.

Ainda sobre os descritores, o de Componentes Principais (PCA) mostrou relevância para a pesquisa, em primeiro lugar por ser de fácil elaboração, gerando

quatro produtos temáticos. Dentre os resultados, observou-se que comportamento o PCA-4 mostrou relativa sensibilidade à presença de vegetação. Caberiam, neste caso, outros estudos com classificações mais detalhadas da vegetação utilizando este descritor.

Por fim, observa-se a necessidade de estender ainda mais outros estudos sobre a classificação da vegetação. Em um caso, para buscar explorar melhor o processo de segmentação, tão útil nesta pesquisa, mas que gerou peso grande nos processos posteriores, em outro caso, para entender o comportamento da classe frente descritores cada vez mais eficientes e que apresentem grau significativo de replicabilidade.

Capítulo 5

CARACTERIZAÇÃO DA FRAGMENTAÇÃO FLORESTAL NO MUNICÍPIO DE SILVA JARDIM.

5.1 – Introdução

Desde o início da ocupação do Brasil pelos europeus há grande demanda por matérias-primas, tanto para atender as necessidades locais de alimento, água, madeira, entre outros, assim como, e principalmente, para atender interesses econômicos como a extração de madeira de elevado valor (pau-brasil), metais preciosos, cultivo de cana, café, etc. Estas ações aos poucos transformaram a Mata Atlântica, antes um imenso *contínua* vegetal, numa paisagem altamente fragmentada, ainda que exuberante.

Observando a distribuição da vegetação de Mata Atlântica ao longo do Brasil nos dias atuais é possível perceber a elevada redução das suas formações. Ao visualizar o território brasileiro como um todo, as áreas de vegetação natural são percebidas como um conjunto de minúsculos pontos mais ou menos concentrados. No entanto, mesmo sob condições acentuadas de fragmentação, os remanescentes existentes ainda possuem relevantes aspectos relacionados aos serviços ambientais, sendo estes usufruídos pelas sociedades que neles se encontram inseridas ou próximas. A conservação destes remanescentes propicia a existência segura destas sociedades.

Toda a riqueza em diversidade que o bioma ainda oferece desperta a atenção de inúmeros pesquisadores e profissionais preocupados com a conservação do mesmo. De acordo com Myers *et al.* (2000), a Mata Atlântica é uma das áreas prioritárias para a conservação devido a sua alta concentração de espécies endêmicas e às altas taxas de perda de *habitat*, principalmente causadas pelo desmatamento.

Nos dias atuais, em função do grande crescimento de leis e de pesquisas envolvendo a Mata Atlântica (bioma brasileiro com mais leis que o protegem), pode-se considerar que grande parte de seus remanescentes encontra-se em áreas sob algum tipo de proteção, seja esta, mais restritiva ou não. Este é um fator muito positivo para a conservação da biodiversidade, tida como uma riqueza de extrema importância na sustentação dos ecossistemas.

Muitas vezes, as maiores concentrações de remanescentes de vegetação se localizam em municípios em que o urbano não é majoritário e não há predomínio de atividade agrícola predominante. Isso porque nestes dois casos há forte interesse na substituição da cobertura natural por outras que estão ligadas a um grande interesse econômico.

Dentro do contexto da Mata Atlântica no estado do Rio de Janeiro, o município de Silva Jardim se destaca por seus importantes remanescentes. O município possui características rurais, com atividades econômicas relacionadas a esse meio e de repercussão local, que não despertam largo interesse econômico que eleve o valor e a procura por suas terras, o que resulta em pressões de menor intensidade sobre os recursos naturais.

Não por acaso, Silva Jardim alcançou em 2013, pela terceira vez consecutiva, o topo do ranking do ICMS Verde² do estado do Rio de Janeiro. Para isso, é necessário deter características fortes de conservação e preservação das áreas naturais, que no caso específico do município, é expresso por possuir mais Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RRPN) que qualquer outro município no país (um total de 17) que somam mais de 94 mil hectares de área ambiental protegida; apresenta em seu interior uma série de Unidades de Conservação, como a Reserva Biológica de Poço das Antas, o Parque Municipal da Biquinha, parte do Parque Estadual dos Três Picos e a Área de Proteção Ambiental da Bacia de São João (COMPERJ, 2012).

Além disso, o município de Silva Jardim concentra a maior porção de Floresta de Terras Baixas de todo o estado do Rio de Janeiro, detendo, por conseguinte, o forte endemismo desta formação vegetacional.

Silva Jardim se insere como um município de grande relevância frente ao atual estado de fragmentação do bioma Mata Atlântica no estado do Rio de Janeiro. Isso, por ainda possuir (considerando suas dimensões) vastas áreas contínuas com vegetação natural, que no entanto podem estar sofrendo processo de fragmentação mais ou menos acentuado. Mapear e entender o estado em se encontram as áreas naturais do município se mostra como uma tarefa relevante que pode servir de suporte

² O ICMS Verde é um repasse de até 2,5% do Imposto sobre Operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação (ICMS) para os municípios avaliados. Os municípios só podem receber o recurso se possuírem um Sistema Municipal de Meio Ambiente, um Conselho ambiental, um Fundo de Meio Ambiente e Guarda Ambiental (COMPERJ, 2012).

para manter a “saúde” da vida presente nos ambientes de vegetação natural, ou ampliar ainda mais as áreas tão fragmentadas.

Uma interessante alternativa para suporte à conservação de ambientes naturais no Bioma Mata Atlântica, em particular no município de Silva Jardim, pode ser o estudo da configuração da paisagem, em especial com foco nas áreas naturais.

Entender a paisagem permite depreender os elementos presentes no espaço, a lógica de sua distribuição e algumas de suas inter-relações. Um exemplo disso é que, quando observa-se uma paisagem, é possível associar elementos como o relevo, usos do solo, coberturas, entre outros, como originadores da condição de remanescentes de vegetação, contínuos ou fragmentados.

A fragmentação de ambientes naturais também promove uma mudança na configuração da paisagem, criando assim, padrões espaciais. Lang & Blaschke (2009) afirmam que há mais de 120 anos, a observação dos padrões espaciais é instrumento essencial na descrição de paisagens. Entendê-la em sua estrutura espacialmente heterogênea ajuda a compreender o estado presente das áreas naturais e ainda, pode possibilitar a realização de previsões.

Desta forma, o presente capítulo objetiva caracterizar a fragmentação florestal do município de Silva Jardim, através do estudo das métricas aplicadas aos fragmentos florestais para a escala 1:25.000. Estes fragmentos se relacionam com uma matriz de coberturas com características rurais e, juntos, fazem parte da configuração da paisagem do município.

5.2 – Metodologia.

Para realizar o estudo da fragmentação florestal que compõe a paisagem do município de Silva Jardim gerou-se o mapeamento da Cobertura Vegetal Natural na escala 1:25:000, obtido no contexto da presente pesquisa. O mapeamento foi recortado pelo limite do município de Silva Jardim disponibilizado pelo IBGE em escala original de trabalho 1:250.000. Desta forma, os fragmentos que tocam o limite do município ficaram suscetíveis a serem subdimensionados, como em outros estudos, onde os fragmentos tem parte de sua área suprimida por conta do recorte da área de estudo e da escala.

O mapeamento gerado adotou o método de classificação de imagens baseada em objetos geográficos (GEOBIA). Nele, uma imagem *WorldView-2* foi separada em objetos segundo um processo de segmentação que leva em consideração a

heterogeneidade espectral e espacial da imagem, para que posteriormente fosse classificada. Este processo considerou a separação de diferentes classes de objetos para, por fim, atender o objetivo de identificar as florestas no município de Silva Jardim. Um diferencial deste método de classificação de imagens é que o mesmo leva em consideração o fator localização como componente chave da análise, além de possibilitar a introdução do conhecimento do analista através de modelagens.

O arquivo vetorial de florestas, oriundo do processo de classificação, apresenta um banco de dados geográficos associado. As análises geradas na presente pesquisa alimentaram este banco.

O desenvolvimento do presente estudo pode ser visto no fluxograma representado abaixo (Figura 5-1):

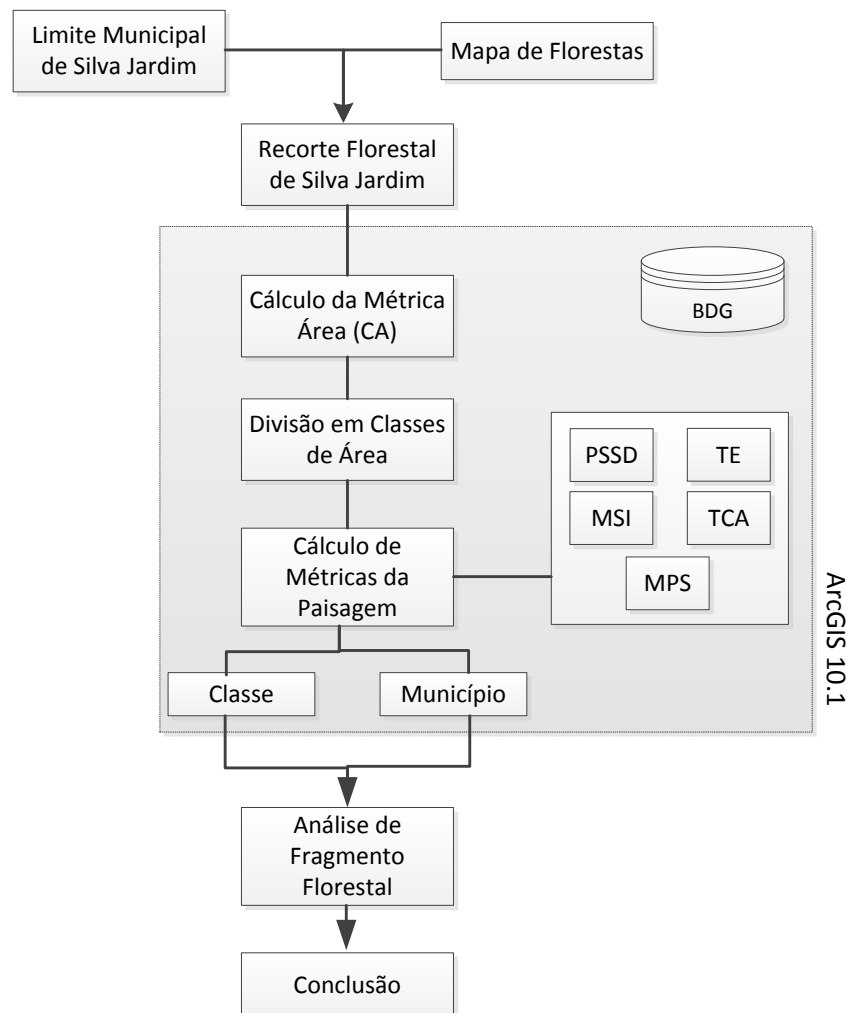


Figura 5-1: Fluxograma da metodologia de estudo.

O estudo da fragmentação florestal pode ser feito a partir de diferentes metodologias, mas, como já foi apresentado, se fará uso das métricas da paisagem, esta aplicação é amplamente utilizada para em diversos estudos.

Como foi dito anteriormente, a maioria das medidas são, de fato, correlacionadas entre si, e assim, algumas poucas medições primárias podem ser feitas a partir de manchas de floresta. A maioria das métricas é então derivada a partir destas medidas primárias.

Desta forma, para este trabalho a análise da estrutura dos fragmentos florestais vai contar com o auxílio de métricas apontadas por Mcgarigal & Marks (1994) e orientados para a análise das machas de floresta. Serão representados cinco grupos de métricas: **de área, de densidade, de borda, de forma e de área central (núcleo)**.

Tudo foi calculado a partir dos índices disponíveis na ferramenta Patch Analyst 5, que é uma extensão gratuita suportada na plataforma ArcGis 10.1. Esta ferramenta é uma versão modificada do FRAGSTATS, que foi concebida para o software ArcView 3.X e continua a ser aplicada às versões posteriores do ArcGis. O Patch Analyst calcula estatísticas espaciais que provêm de conjuntos de dados vetoriais e matriciais (DUARTE, L. et al, 2008).

Abaixo, a Tabela 5.1 apresenta uma breve síntese de cada uma das métricas calculadas nesta pesquisa.

Tabela 5.1: Descrição das métricas da paisagem geradas a partir do Patch Analyst 5 para os fragmentos florestais.

Grupo	Métrica	Sigla	Descrição	Unidade
Área	Área da Classe do Fragmento	CA	Somatório das áreas de todos os fragmentos presentes na área.	Hectare (ha)
Densidade	Tamanho médio do fragmento	MedPS	Soma do tamanho dos fragmentos dividido pela quantidade.	Hectare (ha)
	Desvio padrão do tamanho médio do fragmento	PSSD	Razão da variância do tamanho dos fragmentos.	Hectare (ha)
Borda	Total de bordas nos fragmentos	TE	Soma do perímetro de todos os fragmentos	Metro (m)
Forma	Índice de forma médio	MSI	É igual a 1 (um) quando todos os fragmentos forem circulares e aumenta de acordo com a crescente irregularidade na forma dos fragmentos.	Adimensional
Área Central	Área central total	TCAI	O tamanho total das áreas centrais dos fragmentos.	Hectare (ha)

Fonte: Adaptado de Mc Garigal & Marks, 1994.

A partir dos índices escolhidos partiu-se para a aplicação das métricas. Dentre os índices disponíveis na extensão, foi selecionado um para atender a cada grupo de métricas. Sendo que para a métrica de densidade achou-se interessante a aplicação de mais de um índice, caso que será explicado adiante.

Em princípio, é necessário ressaltar que a aplicação de todas as métricas está intimamente relacionada à escala do mapeamento que deu origem aos fragmentos florestais (1:25000). Nesta escala foi possível observar 2652 fragmentos de floresta, sendo o(s) menor(es) deles com aproximadamente 157m² (0,015ha) de área. Esta escala pode ser considerada uma escala de significativo detalhamento para esse tipo de estudo.

5.2.1 Aplicação das métricas:

Acredita-se que uma das formas mais interessantes de se qualificar os fragmentos de uma mesma região seja a medida de sua área. Segundo Almeida, C. (2008), esta medida serve de subsídio para o cálculo de muitas outras métricas que tem seu resultado influenciado pelo valor da área. Além disso, uma das medidas mais simples de se obter é a área do fragmento. Desta forma, para melhor analisar os fragmentos através das métricas decidiu-se por dividi-los em cinco classes, conforme a diferença de área:

- Muito Pequenos – Fragmentos menores que 5 ha;
- Pequenos – Fragmentos entre 5 ha e 10 ha;
- Médios – Fragmentos entre 10 ha e 100 ha;
- Grandes – Fragmentos entre 100 ha e 5000 ha;
- Muito Grandes – Fragmentos acima de 5000 ha.

Os nomes das classes não guardam correlação geral com a dimensão numérica dos intervalos de classe, ou seja, eles designam uma realidade para este estudo. As classes servem de noção hierárquica diante da necessidade de diferenciar os grupos de fragmentos analisados. Não há interesse em aplicar juízo de valor ao correlacionar o nome da classe com sua dimensão, mesmo por que a escolha desses intervalos de classes tiveram maior correlação com a amostragem de fragmentos da área de estudos do que com a realidade dos fragmentos em todas as outras situações da natureza. Desta forma, as classes aqui sugeridas representam uma análise a partir do conjunto total de fragmentos de Silva Jardim para a escala 1:25.000.

Como foi dito, identificar as classes de área dos fragmentos é de grande importância, esta tarefa foi realizada a partir da aplicação da métrica de área (CA).

Assim como o índice de área (CA), o de densidade (MedPS) foi calculado para toda a área de estudos. O mesmo revela as informações de densidade dos fragmentos segundo as classes acima estabelecidas e para o conjunto total de fragmentos no município.

A próxima métrica considerada foi de borda dos fragmentos (TE). O cálculo ocorre também para as classes anteriormente estabelecidas. Nesta métrica, o total de bordas da classe representou a soma dos perímetros de todas as bordas dentro desta classe e tem sua representação em metros.

Seguindo a aplicação dos índices, realizou-se o cálculo da métrica de forma dos fragmentos, a partir da extração do índice de forma MSI.

No processo de geração, a forma dos fragmentos foi comparada ao formato de um círculo, uma vez que esse cálculo foi realizado em um arquivo vetorial. Quando os valores do índice se aproximam de 1 (um), significa que os fragmentos apresentam formas mais circulares.

Seguindo, o próximo índice representou o cálculo da área central (TCAI) dos fragmentos. Este índice mede o que também é chamado de área núcleo, ou seja, a parte do fragmento que sobra quando é retirada a borda, ou que se considera efeito de borda. Neste caso, foram consideradas faixas de largura (buffer) de 20, 40, 60, 80, 100, 200, 300 e 400 metros de largura.

É importante ressaltar que no cálculo da área central muitos fragmentos deixam de ter resultado, justamente por conta da largura da borda exceder a dimensão do fragmento ou encontrar a borda oposta. Este fato, assim como os resultados deste índice dependerão prioritariamente da área, assim como da forma dos fragmentos.

Após a geração de todos os índices mencionados anteriormente com auxílio do Patch Analyst 5 e obtenção dos respectivos resultados, as informações foram dispostas em gráficos e mapas que serão apresentados a seguir e tem descrita sua sequente análise.

5.3 – Resultados e discussão.

A partir da análise de estudos anteriores sobre o município/ área de estudos, visitação ao local, assim como diversas observações, pôde-se perceber que a paisagem apresenta configuração florestal com certa lógica espacial, marcada pelo histórico de ocupação, presença e influência do relevo, esforços conservacionistas, entre outros. A análise das métricas pode oferecer uma visão mais detalhada da condição atual da floresta, em específico da fragmentação, além de alguns padrões que se tornam visíveis.

5.3.1 Relação dos resultados com a escala:

Não considerar ou se equivocar quanto à escala do mapeamento em que foram obtidas as manchas de floresta, significa a possibilidade de imprimir erros à análise.

É imprescindível entender que a diferença no resultado da fragmentação, ou dos valores de métricas da paisagem, em especial quanto ao critério de área dos fragmentos, ocorre sempre levando em consideração a escala de mapeamento. O mapeamento utilizado neste estudo não apresenta um conjunto de fragmentos menores que 157m² (limiar de observação de objetos na escala 1:25.000) e que apareceriam em escalas de maior detalhe. Por outro lado, a escala proposta (1:25.000) permite a percepção de manchas de floresta muito pequenas e que frequentemente não seriam analisadas em estudos para municípios com essas dimensões. Exemplo disso são os 1.930 fragmentos que tem área menor que um hectare (1 ha). Estes seriam suprimidos em mapeamentos em escala menores³ que 1:200.000.

Ainda sobre a relação da escala com as métricas, as nuances a respeito da forma da mancha são percebidas cada vez melhor em escalas cada vez maiores. Os outros índices, como o de proximidade e densidade/ tamanho médio também apresentam mesma relação, ou seja, resultados mais refinados de acordo com a medida de escala.

Para este estudo, a fonte de dados foi o mapeamento de floresta com um conjunto de imagens de alta resolução. Este mapa em escala de maior detalhe permite inclusive a percepção da continuidade de fragmentos que tem ligação em pontos muito estreitos. Em situação de formação de corredores florestais, quanto mais próximos dois fragmentos, maior a possibilidade de continuidade de um corredor. Dessa forma, utilizar mapas de florestas em maiores escalas permite identificar melhor locais de ação para reduzir a fragmentação do ambiente florestal, seja na identificação de pontos de interesse para a constituição de corredores, ou até de menores fragmentos que se configurariam como trampolins ecológicos (*stepping stones*).

³ Ao se tratar escala, muitas confusões são feitas a respeito do que se considera maior e menor. É importante ressaltar que aqui está se tratando da escala cartográfica do mapeamento e que o termo menor faz alusão ao valor numérico da escala. Neste caso, números maiores que 25.000 no denominador da escala, representam escalas menores.

5.3.2 Discussão sobre a fragmentação por meio das métricas da paisagem:

Segundo Viana & Pinheiro (1998), a análise da distribuição de classes de tamanho médio de fragmentos é útil para a definição de estratégias para a conservação da biodiversidade em áreas protegidas. Neste caso, as análises realizadas nesta pesquisa justificam também sua importância, caso haja intuito de realização desse tipo de estratégia.

É possível visualizar a distribuição dos fragmentos em classes de área, a partir do mapa geral de fragmentos na área de estudos (Figura 5-2) a seguir. A Tabela 5.2 apresentada posteriormente, mostra os valores obtidos pela métrica de área CA de para as classes, e nesse caso, se percebe uma forte irregularidade tanto na quantidade de fragmentos por classe quanto a área que representam as classes em relação à porção total de floresta e de área do município.

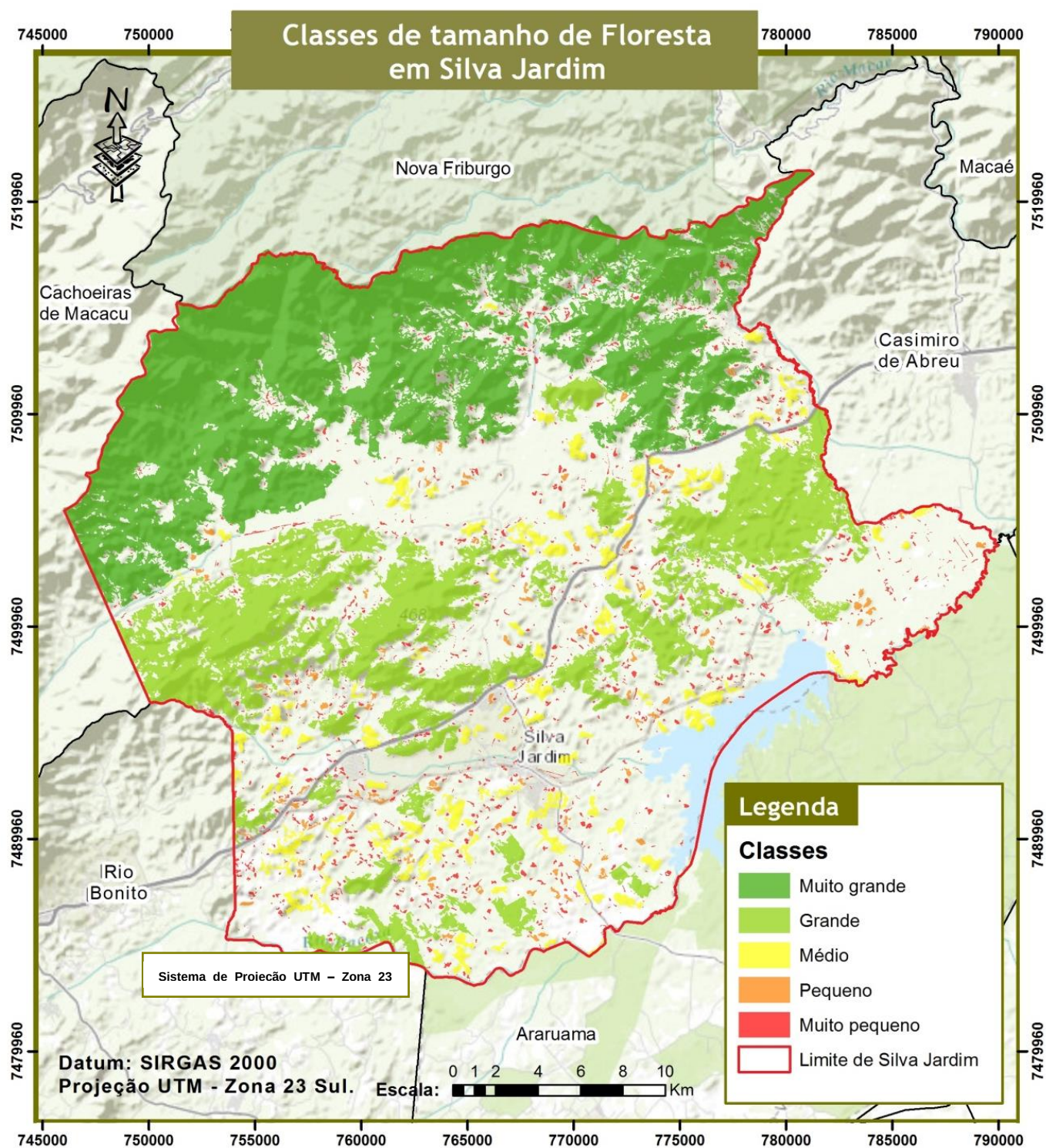


Figura 5-2: Distribuição dos fragmentos segundo as classes de área.

Elaborado por: Próprio autor.

Fonte de dados: IBGE (2013); Laboratório Espaço de Sensoriamento Remoto e Estudos Ambientais (UFRJ)

Tabela 5.2: Distribuição dos fragmentos por área (CA).

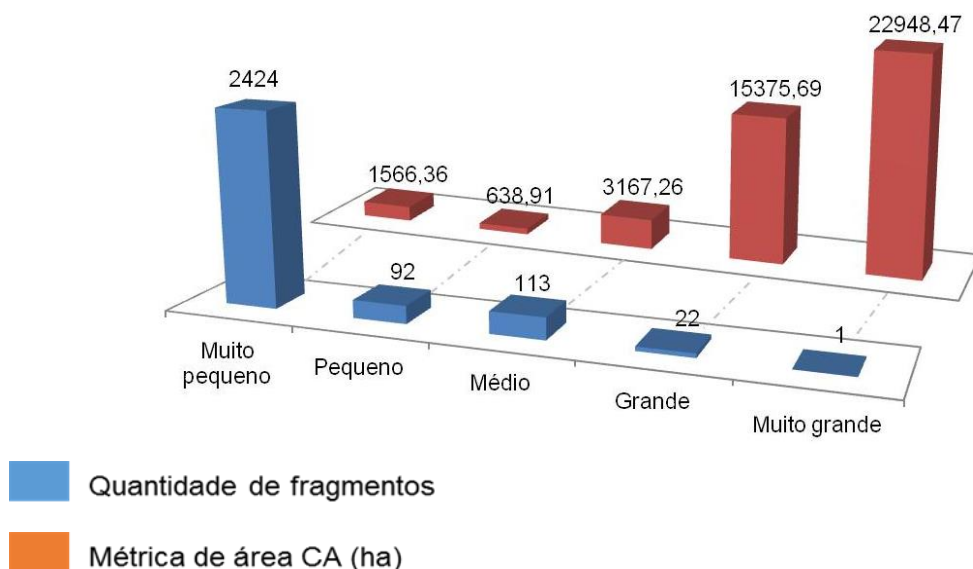
Classes (ha)	Nome	Nº de fragmentos	CA (ha)	% do total de Floresta	% do total do Município
< 5	Muito pequenos	2424	1566,36	3,58	1,67
5 a 10	Pequenos	92	638,91	1,46	0,68
10 a 100	Médios	113	3167,26	7,25	3,38
100 a 5000	Grandes	22	15375,69	35,19	16,40
> 5000	Muito grandes	1	22948,47	52,52	24,48
TOTAL	-	2652	43696,69	100,00	46,61

Os fragmentos da classe Muito pequenos somam 91% da quantidade total de fragmentos, no entanto detém apenas 3,58% do total de florestas do município, enquanto que a classe Muito grandes, que apresenta apenas um fragmento⁴ representa 52,52% da área total de florestas, o que significa quase um quarto ($\frac{1}{4}$) da área do município.

As outras classes de fragmentos (Pequenos Médios e Grandes) seguem a mesma lógica, que pode ser observada no Gráfico 5.1, quanto maior a classe de área, menor a quantidade de fragmentos e maior a porcentagem em relação ao total de florestas.

⁴ Optou-se pela criação de uma classe exclusiva (Muito grande) para representar esse único fragmento tendo em vista a particularidade do mesmo em termos de área. Essa porção de vegetação (22.948 ha) é quase cinco vezes maior que o segundo maior fragmento (4.685 ha), além de fazer parte de uma floresta maior que está dividida pelo limite Norte do município.

Gráfico 5.1: Relação entre quantidade de fragmentos e porcentagem do total de floresta.



Ocorreu no passado um processo de fragmentação das florestas evidenciado pela elevada quantidade de pequenos fragmentos, no entanto, a maior parte da vegetação se encontra em grandes fragmentos, apesar de poucos, mas que compõem áreas protegidas pela legislação. Estes, em alguns casos, estão associados a áreas de difícil acesso. Os menores fragmentos estão sujeitos à perda de área, se fragmentando ainda mais, principalmente por conta do efeito de borda, onde, quanto menores são os fragmentos, mais suscetíveis estão a este fenômeno.

Ainda sobre a análise da área das manchas, foram obtidos os valores de densidade/tamanho médio dos fragmentos (MedPS). No entanto, para melhor compreender as classes de área identificadas é importante comparar os valores deste índice ao resultado da métrica PSSD, que representa o desvio padrão de cada uma das classes. Os valores de tamanho médio devem ser entendidos associados ao valor desse desvio padrão, uma vez que ele indica o quanto varia dentro de uma classe o valor médio de tamanho. Sendo assim, a Tabela 5.3 abaixo mostra os valores de ambos os índices para as respectivas classes.

Tabela 5.3: Valores para os índices de densidade/ tamanho médio e desvio padrão das manchas.

Classes (ha)	Nome	Nº de fragmentos	MedPS (ha)	PSSD (ha)
< 5	Muito pequenos	2424	0,23	0,94
5 a 10	Pequenos	92	6,75	1,40
10 a 100	Médios	113	20,42	18,38
100 a 5000	Grandes	22	192,42	1.206,86
> 5000	Muito grandes	1	22.948,47	0,00
Todos (< 5 a > 5000)	-	2652	16,48	463,13

Com exceção da classe Muito grandes, todas as classes apresentaram valores médios de tamanho próximos ao limite inferior do intervalo da classe, mostrando que internamente às classes há predomínio de fragmentos menores. Com exceção da classe Grandes, todas apresentaram valores baixos de PSSD (desvio padrão), isso significa que o tamanho médio dos fragmentos das classes não varia muito, o que reflete uma maior significância das classes. A classe Muito pequenos apresentou valor de desvio padrão acima da média, no entanto, muito baixo em relação a abrangência da classe.

No caso da classe Grandes, ocorreram os maiores valores de PSSD (1.206,86 ha), para um tamanho médio baixo (192,42 ha). Esta classe tem uma característica particular, que é o fato de apresentar o maior intervalo de tamanho de amostras de fragmentos, o que pode justificar a interferência no resultado do desvio padrão.

Observando os mesmos índices para o município (todas as manchas), observa-se que os fragmentos apresentam valores baixos de tamanho médio, embora esta média não seja tão significativa, tendo em vista o valor alto de PSSD.

Estes valores de tamanho médio dos fragmentos, tanto para as classes, como para o município, configuram um ponto de atenção para a situação da fragmentação, uma vez que são valores baixos para manchas nestas situações.

A seguir, na Figura 5-3, pode-se observar cada classe de forma separada, mostrando a disposição dos remanescentes de floresta em Silva Jardim.

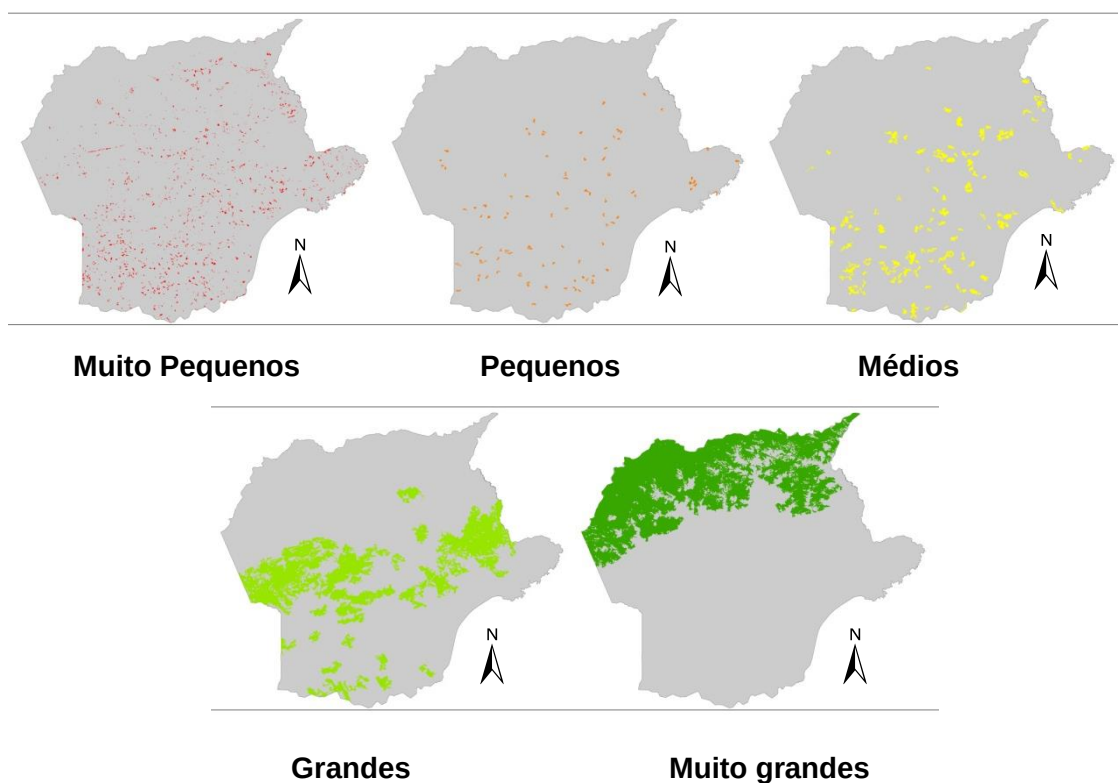


Figura 5-3: Localização de cada classe no município.

Para a observação dos fragmentos apresentados acima, nessa escala é possível perceber que não ocorre concentração de fragmentos das menores classes em áreas específicas do município. Grande parte dos pequenos fragmentos se encontra ao redor, ou muito próximo de remanescentes maiores. Este espalhamento de fragmentos, ao longo do município, nestas classes (Muito pequenos e Pequenos) pode ser em parte entendido pelo fato de que manchas menores geralmente são formadas pela fragmentação de remanescentes maiores. Ou pela manutenção de pequenas áreas vegetadas como reservas legais de propriedades rurais e até mesmo, como áreas de proteção permanente (APP) de menor dimensão. Essas proposições teriam de ser investigadas a partir de uma análise mais exclusiva desta classe, acompanhando mais de perto suas características e histórico para que se entenda se as particularidades de algumas fragmentações se repetem na região como um todo.

Em se tratando dos fragmentos da classe Grandes, eles estão dispostos ao longo da faixa central, com alguns nas porções ao Sul. Nessas porções de floresta existem dois casos particulares, um é o maior fragmento a Leste, onde se localiza a Reserva Biológica de Poço das Antas, como já foi dito, um dos maiores remanescentes de Floresta de Terras Baixas do estado do Rio de Janeiro. O outro

caso é o fato de nos maiores fragmentos a Oeste estarem associados à presença de algumas RPPNs.

Já ao Norte ocorre quase que predominantemente a presença da classe Muito grandes. Esta vegetação coincide com a mudança da compartimentação do relevo, como pode ser observado nos estudos de Seabra, (2012). É um remanescente contínuo para além dos limites do município.

Em particular, neste fragmento é possível observar que existem muitas reentrâncias, como corredores desmatados (vetores), principalmente no sentido mais do Sul para Norte, da região mais baixa e plana para região mais alta e íngreme (Figura 5-4).

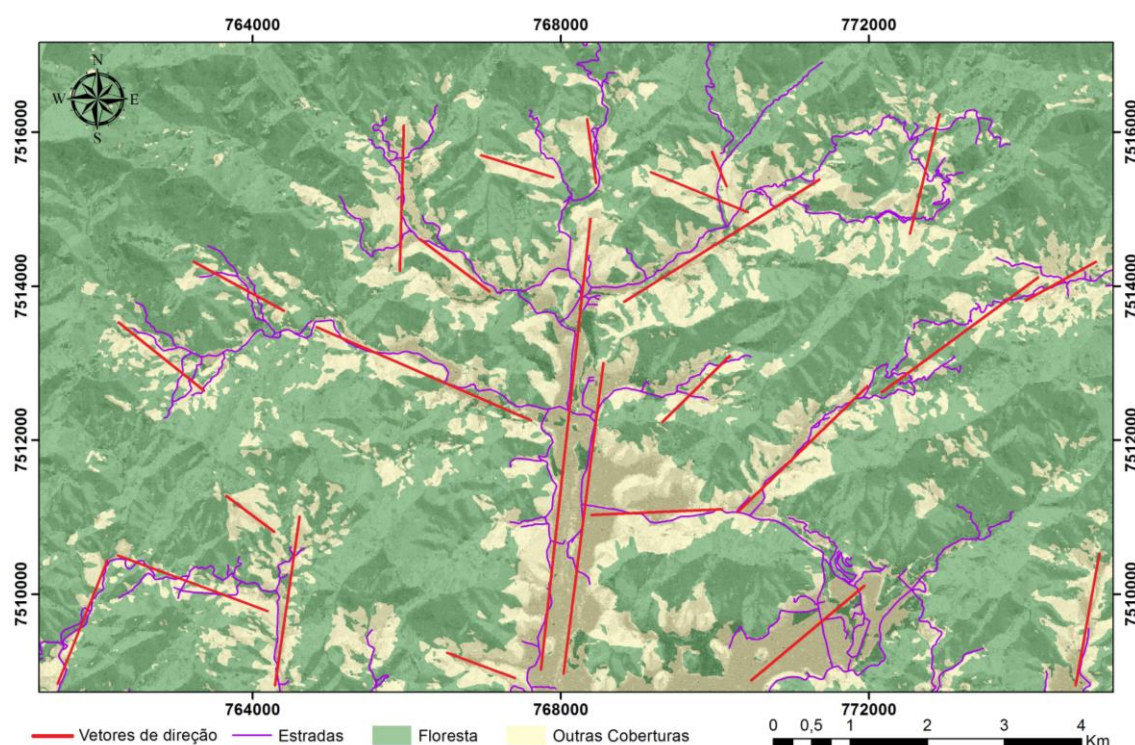


Figura 5-4: Vetores ao longo de áreas desmatadas em uma das regiões da área de estudos.

Elaborado por: Próprio autor.

Fonte de dados: Laboratório Espaço de Sensoriamento Remoto e Estudos Ambientais (UFRJ)

Foram desenhados esses vetores indicando o prolongamento das áreas sem vegetação. Observando a figura percebem-se as principais direções que indicam onde ocorreu o processo de retirada de vegetação de parte do remanescente ilustrado.

Estas regiões desmatadas coincidem com a maioria do prolongamento das estradas dessa região, onde, conseqüentemente existem ocupações residenciais e atividades agrícolas. Além disso, a área sem floresta se estende predominantemente ao longo das regiões menos elevadas, diminuindo à medida em que vai aumentando a altitude e estreitando estes vales. Esta situação configura um potencial processo de fragmentação no município, mesmo que analisando apenas esse único “retrato” da vegetação.

Outro fato que, de forma especulativa, caracteriza esse mencionado processo de fragmentação é a elevada presença de fragmentos das classes de menores áreas nesses corredores/ vetores (

Figura 5-5), podendo em tempos passados ter sido parte do conjunto total de vegetação.

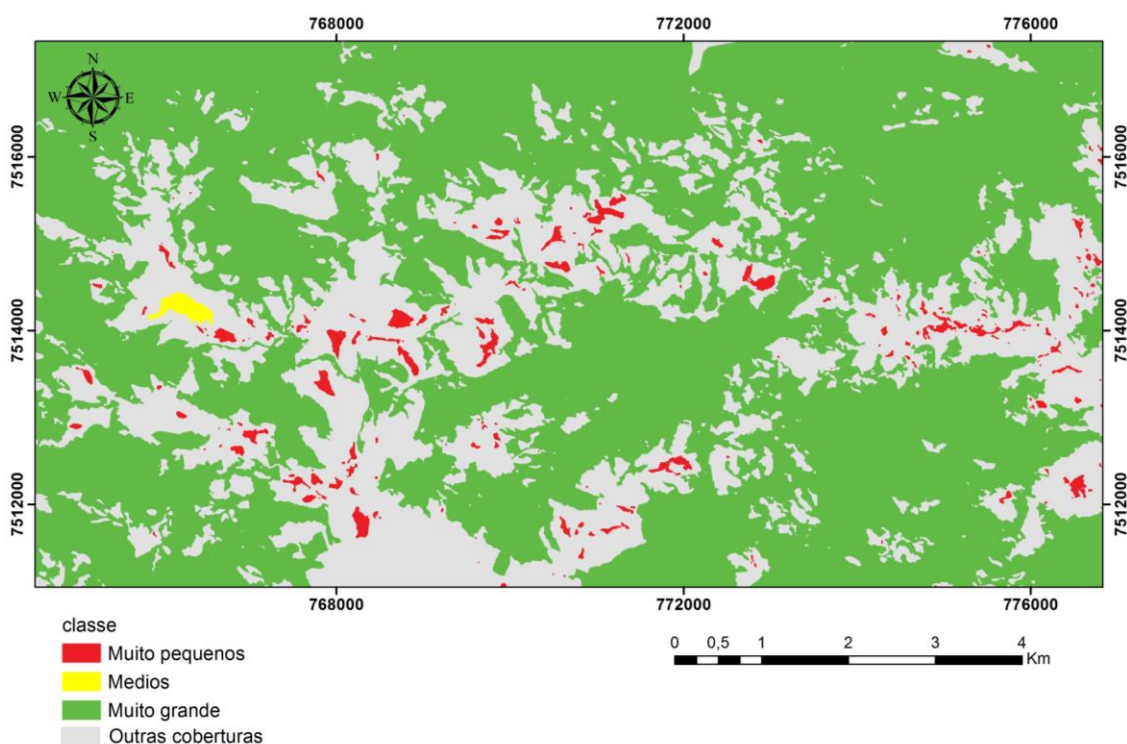


Figura 5-5: Pequenos fragmentos ao longo de corredores formados no maior remanescente da região.

As áreas em cinza na figura representam regiões sem floresta que estão ocupadas por propriedades com poucas construções, além de algumas áreas que servem de pasto ou pequenos cultivos.

Analisando a disposição dos pequenos fragmentos ilustrados na figura acima acredita-se que a área era composta continuamente por floresta, e que, a partir do

processo de ocupação a paisagem a mancha foi sendo fragmentada, restando ainda estes remanescentes, possivelmente como testemunhos do que era anteriormente a região.

Vale ressaltar que independentemente da área da mancha, todos detêm grande importância na paisagem florestal. Segundo Forman e Godron (1986), as maiores manchas são importantes para os processos ecológicos em larga escala de intensidade assim como a manutenção da biodiversidade, porém, os menores remanescentes também cumprem funções importantes no ambiente, podendo funcionar como pontos de ligação, conhecidos como trampolins ecológicos (*stepping stones*) entre os fragmentos maiores.

Como vem sendo mencionado ao longo desse estudo, existe uma lógica espacial na distribuição das manchas por classes que provavelmente estão relacionados a elementos “externos” (não ligados diretamente à composição dos fragmentos). Isso já era de se esperar, uma vez que são grandes responsáveis pela configuração e disposição dos mesmos na paisagem e, cada um desses fatores pode ter uma relação mais ou menos forte com cada uma das classes.

Alguns desses fatores de influência são: o relevo, o microclima, o processo histórico de ocupação de determinados recortes, os esforços de conservação e proteção em certas áreas naturais, tipos de cobertura da terra (não floresta), entre outros. Estes elementos estão ligados entre si e podem, em muitos casos, representar um esforço de resistência à degradação das manchas de floresta, ou uma força atuante que incide diretamente no processo de fragmentação.

Seguindo com os resultados obtidos através da aplicação das métricas, a seguir, na Tabela 5.4 estão apresentados mais valores obtidos em relação aos índices de Borda, Forma, Área Central e Proximidade. Foi levada em consideração as classes de tamanho médio e a aplicação para os fragmentos totais da área de estudos.

Tabela 5.4: Resultado das métricas dos grupos de borda e forma.

Classe de Área		Borda (TE)	Forma (MSI)
Nome	Hectare (ha)	Metro (m)	-
Muito Pequenos	< 5	843.247,30	1,40
Pequenos	5 a 10	161.192,45	1,88
Médios	10 a 100	531.154,73	2,50
Grandes	100 a 5000	1.276.877,95	5,67
Muito grandes	> 5000	1.124.113,41	20,93
Todos	< 5 a > 5000	3.936.585,83	1,51

Ao analisar a borda do fragmento é importante ressaltar que este valor absoluto para as classes não representa o efeito de borda detalhado dos fragmentos. Isso porque, segundo Viana et al. (1992), essa análise representa uma simplificação: as diferentes faces de exposição do fragmento apresentam efeitos de borda distintos, retratando elevada correlação com o histórico de perturbações do fragmento.

No entanto, esses valores absolutos ajudam a perceber de maneira geral o quão estão suscetíveis à borda os fragmentos de determinada área nesta região, por apresentarem maior ou menor quantidade de bordas.

Ao observar os valores apresentados para o índice de borda TE, assim como o índice de forma MSI, foi possível chegar as seguintes percepções:

- Fragmentos menores (classes < 5ha e de 5ha a 10ha) apresentam valor baixo de índice TE. Estes valores são pequenos, por conta de serem consideradas áreas também pequenas. Entende-se que a forma dos fragmentos menores estão bem próximas do ideal (círculo), isso ocorre por conta de seus valores de MSI próximos a um (1).
- Fragmentos de área média (entre 10ha e 100ha) apresentam valores intermediários de bordas (TE), além de resultado de MSI mais distantes de 1. Poucos são os fragmentos nesta condição, 4,35% do total de manchas e representam 7,2% da área de florestas.
- Fragmentos da classe Grandes (entre 100ha e 5000ha) tem valores altos em ambos os índices mencionados. A borda se justifica por conta de

serem considerados remanescentes de grandes dimensões, já o resultado para forma indicam uma irregularidade considerável das manchas.

- A classe Muito grandes (maiores que 5000ha) apresentou altos valores de índice de borda TE e de forma MSI. Um dos motivos interpretados para esta ocorrência foi o fato comentado anteriormente acerca dos corredores (vetores) nas bordas ao sul do remanescente. Uma observação importante é que esta classe se encontra em contato com o limite do município, trazendo um valor muito influenciado a ser considerado. No entanto, entende-se que esta influência não oculta a realidade do fragmento no que tange a elevada quantidade de bordas e, para a análise de Silva Jardim vale a pena considerar que a parte da borda do fragmento que se encontra no município é muito grande e, conseqüentemente sujeita a elevado efeito de borda, principalmente por conta de sua forma muito irregular.
- O município como um todo apresenta elevada quantidade de bordas. Um dos principais motivos pelo qual isso ocorre é a elevada quantidade de fragmentos (2652) mapeados, oriundos do processo de fragmentação gerador desse cenário. Embora o índice de borda seja alto, o de forma MSI é baixo, o que, por outro lado, traduz que as manchas apresentam valores de forma bem próximos de áreas circulares. Acredita-se que isso ocorre, pois o MSI considerou o grande volume de fragmentos menores com formas mais regulares. Isso no todo, tendeu a apresentar o município com fragmentos mais regulares quanto à forma, o que não é necessariamente a realidade.

Ao analisar estes índices, foi possível entender que os resultados apontam para efeitos de borda particulares para cada classe, que se afastam do ideal (aumenta) de acordo com o aumento da área dos fragmentos (classes).

Segundo Pirovani (2010), o efeito de borda é uma consequência ecológica da fragmentação florestal. Desta forma, um fato curioso se descortina, pois, enquanto a métrica de área (CA), que é muito significativa, indica aumento da qualidade dos fragmentos de acordo com o aumento das áreas (classes), as métricas de borda (TE) e forma (MSI) traduzem que a condição dos remanescentes é mais favorável à fragmentação para as classes que deveriam traduzir melhores condições (maiores áreas).

Embora os valores de índice de borda aumentem para as maiores classes, a condição de área é muito significativa, e permite postular a hipótese que os fragmentos menores sofrem efeito de borda acentuado em função da pequena área. Este fato será mais bem compreendido a seguir, ao se estabelecerem faixas de borda, a fim de analisar a quantidade de área central/ núcleo (TCAI) dos fragmentos.

O índice de área central (TCAI) trabalhou com oito valores divididos em faixas de 20, 40, 60, 80, 100, 200, 300 e 400 metros de espessura para identificar a área central. A seguir é possível observar na Tabela 5.5 os valores de área central em cada uma das oito situações mencionadas para as classes de área. As faixas de vinte a cem metros são menores e com intervalos curtos entre elas (vinte metros). Estas faixas, por se encontrarem próximas ao limite do fragmento, caracterizam regiões mais sensíveis a eventos de menores proporções. Já as quatro faixas de maior distância (cem metros) denotam regiões mais sensíveis à fragmentação quando há influência de agentes de maior proporção.

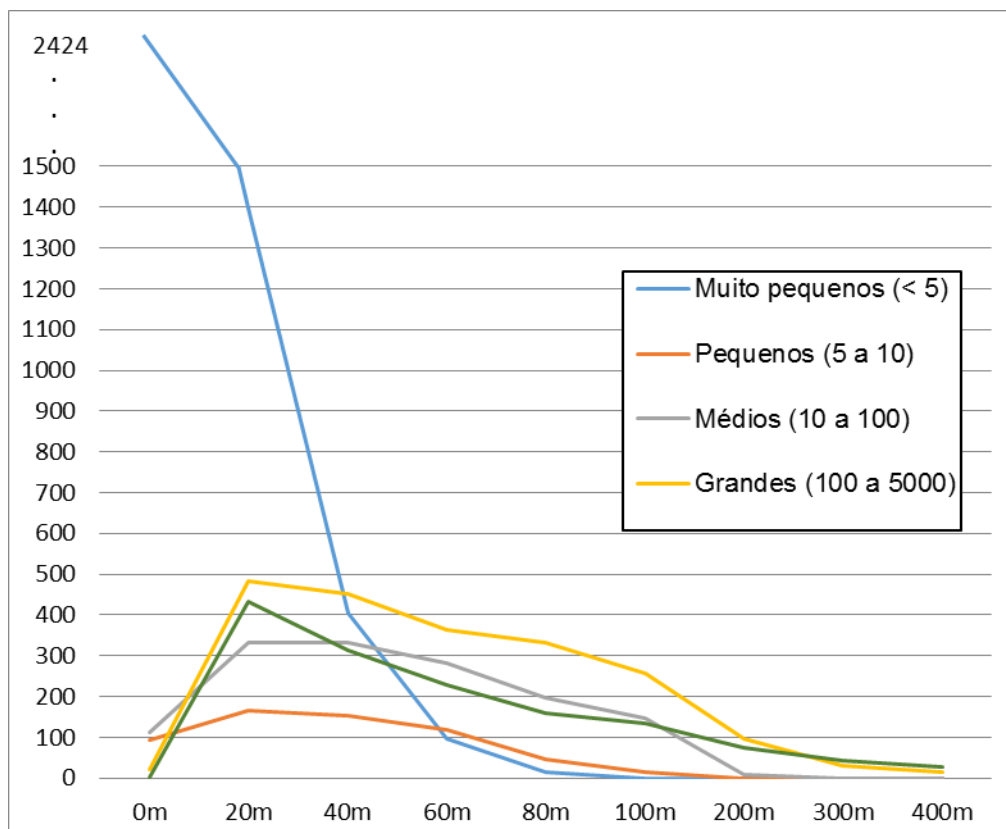
Tabela 5.5: Quantidade de área central (TCAI) considerada para cada uma das classes.

Classes	Áreas Centrais (hectares)							
	20 metros	40 metros	60 metros	80 metros	100 metros	200 metros	300 metros	400 metros
Muito pequenos	412,03	83,99	11,52	0,58	0,00	0,00	0,00	0,00
Pequenos	346,34	151,77	50,37	12,81	2,37	0,00	0,00	0,00
Médios	2167,13	1416,03	891,93	538,33	307,98	4,52	0,00	0,00
Grandes	12850,19	10713,62	8974,17	7545,93	6377,90	3070,13	1713,49	960,44
Muito grandes	20709,27	18810,96	17213,88	15836,97	14630,16	10208,74	7402,50	5488,74

Como vem sendo dito a métrica de área central estima a região no fragmento onde não há, ou há menor interferência do efeito de borda. Quanto maior o valor menos sujeito o remanescente está à fragmentação. Existem casos, ao se estabelecer a distância onde começa a área núcleo, em que acaba por não sobrar área a ser contabilizada, sendo desta forma, o fragmento composto apenas por borda, logo, mais sujeito ao processo de fragmentação. A Figura 5-6 ilustra a diminuição de área núcleo até o fim destas.

Tendo em vista isso, não basta considerar a quantidade de área que determinada classe irá apresentar (Tabela 5.5), é preciso entender também, a quantidade de áreas núcleo que restarão em cada classe a partir da definição de cada distância. Desta forma, abaixo está ilustrada (Gráfico 5.2 e Tabela 5.6) a perda na quantidade de “fragmentos” em cada classe, à medida que são aumentadas as distâncias para se considerar área núcleo.

Gráfico 5.2: Diminuição da quantidade de áreas núcleo de acordo com o aumento das distâncias de definição das áreas núcleo.



Eixo vertical: totais de áreas núcleo; eixo horizontal: tamanho da borda.

Tabela 5.6: Quantidade de áreas centrais por classe de área.

Classes de Área (hectares)	Quantidade de Áreas Centrais								
	0m	20m	40m	60m	80m	100m	200m	300m	400m
Muito pequeno (< 5)	2424	1398	406	96	15	0	0	0	0
Pequeno (5 a 10)	92	166	154	117	46	14	0	0	0
Médio (10 a 100)	113	332	333	282	196	148	9	0	0
Grande (100 a 5000)	22	482	453	363	331	258	95	31	15
Muito grande (> 5000)	1	434	313	228	158	135	76	42	27

Percebe-se que apenas considerando a primeira faixa de distância já há uma queda abrupta na quantidade de áreas centrais nos fragmentos da classe Muito pequenos. Outras classes aumentam suas quantidades ao considerar essa faixa de 20 metros, a seguir se estabilizaram, tornando a cair, neste caso, algumas áreas centrais deixaram de existir.

A partir da faixa de 100 metros, progressivamente, começa a ocorrer completa exclusão das áreas centrais. Este fato é um ponto de atenção, pois denota a faixa de esforço para a fragmentação completa dessas classes. Ou seja, caso algum determinado evento apresente esse nível de impacto na borda, há de considerar que pode se mostrar determinante para o processo de fragmentação. Lembrando que a influência no entorno das manchas, em muitos casos, não ocorrem em todas as bordas ao mesmo tempo e com a mesma intensidade.

As faixas de distância nos trazem a compreensão da existência de uma fragmentação que altera a conectividade funcional⁵ das manchas contínuas, justificando o aumento da quantidade de áreas centrais para classes maiores, em especial na primeira faixa (20 metros).

⁵ Nesta pesquisa está sendo considerada a diferença entre conectividade estrutural e funcional. Segundo Forero-Medina & Vieira, (2007) a primeira baseia-se na estrutura da paisagem, sem levar em consideração as respostas dos organismos, tratará das relações físicas como as distâncias ou formação de corredores. Já a conectividade funcional, leva em consideração as respostas comportamentais dos indivíduos aos elementos da paisagem juntamente com a estrutura espacial (GOODWIN, 2003). Em muitos casos pode ocorrer fragmentação do habitat de algumas espécies (em alguns casos de serviços ambientais para o homem) e não ocorrer fragmentação estrutural da cobertura de floresta, isso porque o efeito de borda interfere nas funções que a mancha oferece para aqueles que a consideram como seu habitat ou retiram dela benefícios.

Pode-se afirmar a possibilidade destas faixas simularem um processo de fragmentação, mesmo que essa fragmentação não seja na estrutura do remanescente e sim nas suas funções. Abaixo segue ilustração (Figura 5-6) do fenômeno de fragmentação funcional e de fragmentos sem área central.

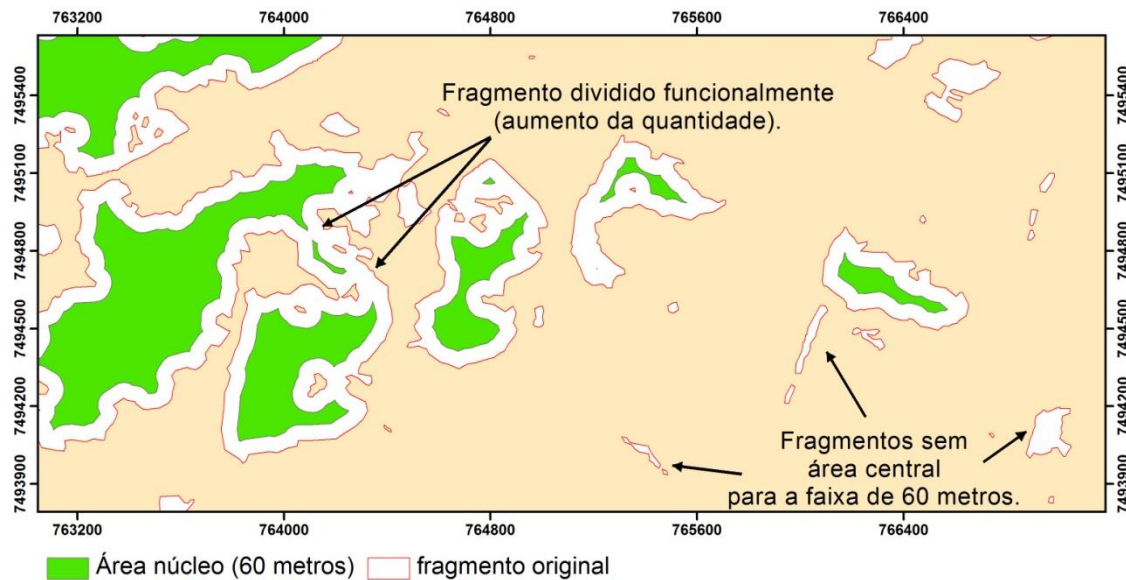
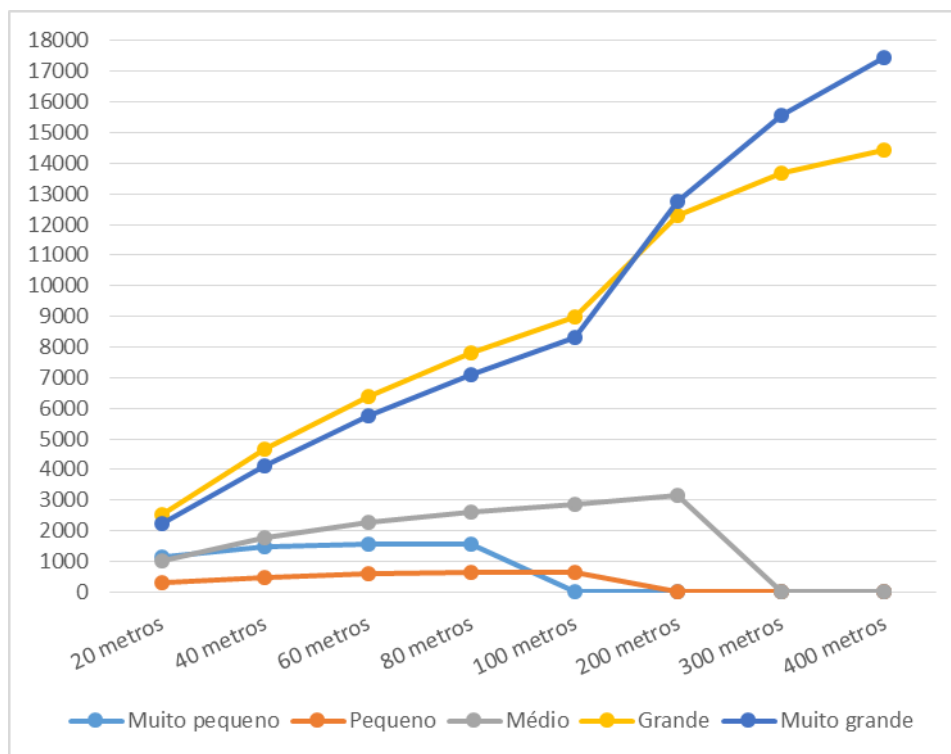


Figura 5-6: Condição dos fragmentos segundo a disposição de áreas centrais.

A partir da diminuição de área núcleo em cada classe há uma consequente “transformação” da área de floresta em borda do fragmento. O crescimento da quantidade de floresta em borda por cada classe pode ser visto a seguir, observando-se o Gráfico 5.3.

Gráfico 5.3: Faixas de distância relacionadas à quantidade de floresta considerada como borda no fragmento.



Eixo vertical: área de floresta em hectares; eixo horizontal: tamanho da borda

O gráfico acima traduz que, de acordo com o aumento das faixas de distância, há, logicamente associado, um aumento da quantidade de floresta transformada em borda de fragmento. No entanto, o que é interessante de se analisar neste gráfico é a aceleração deste crescimento, relacionado à inclinação dos traços no gráfico. As classes de fragmentos maiores apresentam maior inclinação, com um aumento mais acelerado. Pode-se especular que isto ocorre, pois essas classes possuem formas mais irregulares e maior quantidade de bordas. Observa-se assim uma relação da métrica de área central com a de forma das manchas, uma vez que as classes maiores possuem fragmentos mais “recortados”, acabando por perder área de floresta no núcleo de forma mais acelerada que os menores.

Para aqueles dedicados à conservação de ambientes naturais, isso denota a importância em manter as formas das manchas mais propícias à não fragmentação.

Abaixo, os gráficos relacionam a quantidade de áreas centrais (eixo da esquerda) com a área de floresta por classes (eixo da direita).

Gráfico 5.4: Classe Muito pequeno: Área X Quantidade da área núcleo.

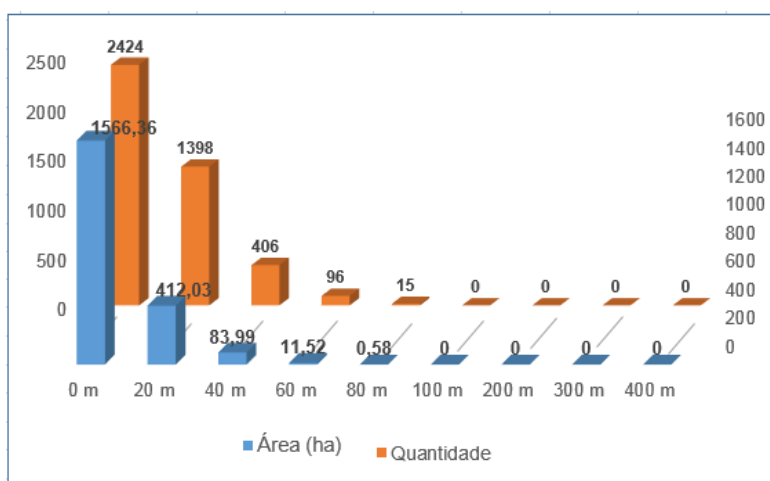


Gráfico 5.5: Classe Pequeno: Área X Quantidade da área núcleo.

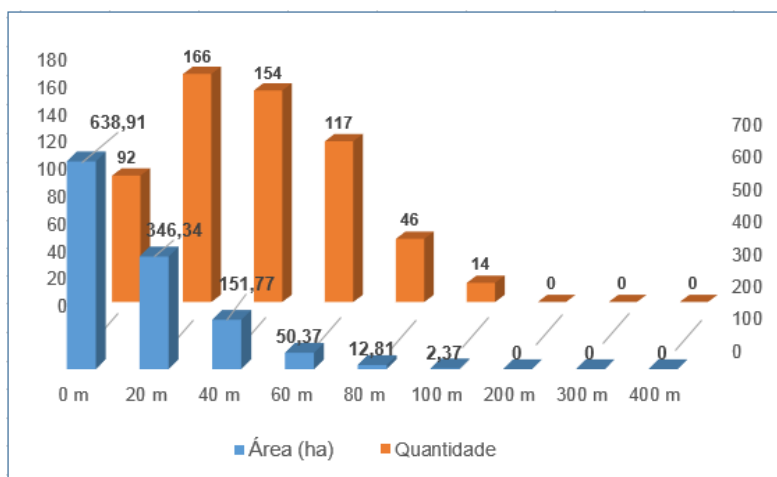


Gráfico 5.6: Classe Médio: Área X Quantidade da área núcleo.

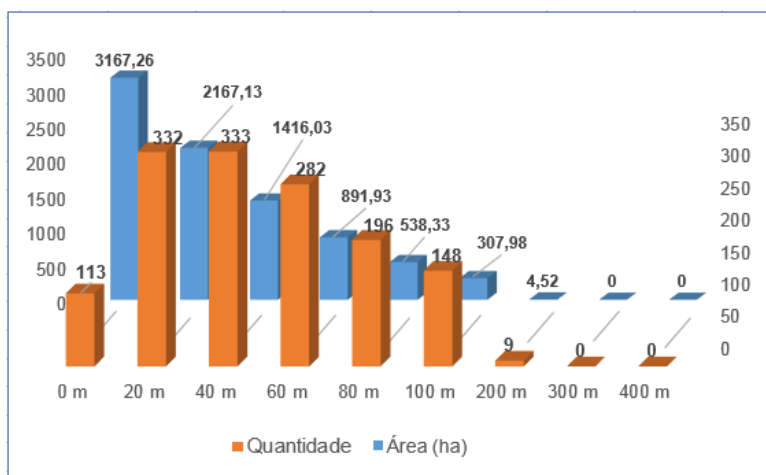


Gráfico 5.7: Classe Grande: Área X Quantidade da área núcleo.

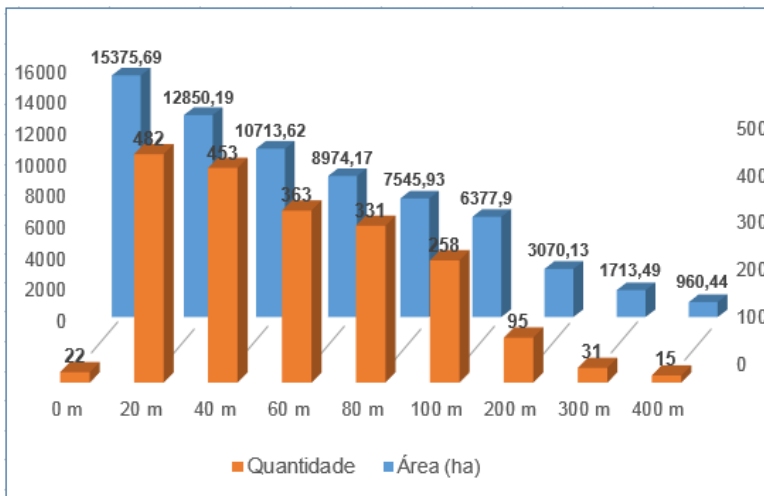
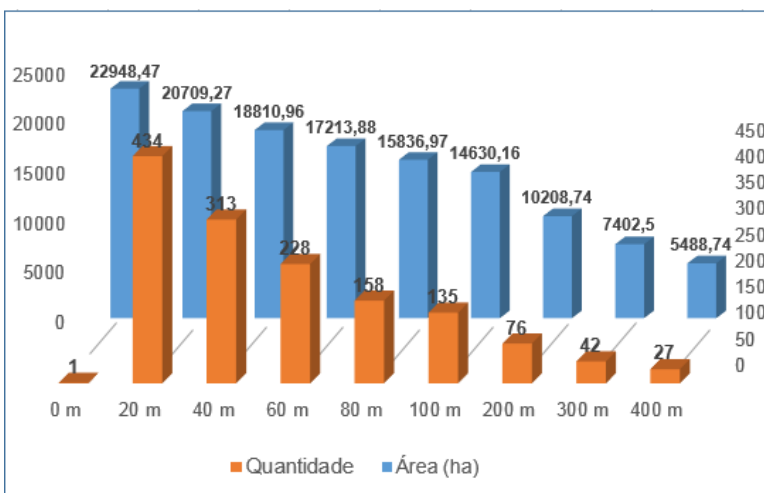


Gráfico 5.8: Classe Muito grande: Área X Quantidade da área núcleo.



As relações entre a quantidade de manchas (área central) e o resultado de área é muito variável e particular para cada uma das classes. O que se pode entender é que quanto menor as classes de área maior a perda de área central de acordo com o aumento das faixas.

5.4 – Conclusões.

Uma primeira conclusão foi que o mapeamento da floresta em escala 1:25.000 permitiu enxergar fragmentos bem pequenos, além de obter maior detalhamento das formas das manchas. Conclui-se que este fato é muito positivo, em especial para a análise da fragmentação, levando em consideração o papel de pequenas manchas, além de poder detalhar a fragmentação de certas regiões específicas dentro da paisagem do município.

Ao analisar o resultado das métricas aplicadas ao mapa de florestas, pôde-se tirar algumas conclusões. A floresta apresenta-se dividida em remanescentes de diferentes tamanhos. A maior quantidade de fragmentos tem pequena área, indicando que houve elevada fragmentação no município, principalmente nas áreas de baixada. No entanto, a maior porcentagem de floresta está em grandes fragmentos contínuos protegidos por Unidades de Conservação e/ou em áreas declivosas.

Analisando a distribuição dos fragmentos, concluiu-se que boa parte das pequenas manchas está associada às áreas mais ao sul do município, onde se sabe que se encontram áreas mais planas. Esta classe de fragmentos também se apresenta em áreas próximas às bordas dos grandes remanescentes, concluindo-se assim, que podem ter surgido a partir da fragmentação destas florestas maiores. Sugere-se aqui que, para encontrar mais evidências, seja feito um estudo de evolução da cobertura florestal com auxílio de mapeamentos com datas anteriores, em escala igual ou maior.

Observou-se que os fragmentos maiores apresentam formas mais irregulares, denotando possibilidade de nova fragmentação, em especial nas regiões com formas de maior irregularidade, por conta do forte efeito de borda, o que deve ser visto com atenção. Por outro lado, os fragmentos muito pequenos apresentam formas mais regulares, o que deve ser considerado na tomada de decisão para a redução de distâncias na definição de corredores florestais.

Em relação ao índice de área central, uma faixa de borda curta (vinte metros) provocou aumento significativo na quantidade de áreas núcleo nas classes, o que é preocupante, pois esse limiar possibilitaria um aumento significativo na fragmentação e o desaparecimento de boa parte dos fragmentos muito pequenos, em caso de desmatamento.

Ainda sobre o índice de áreas centrais conclui-se que o valor de 80 metros de borda é o máximo para se considerar um estudo dos fragmentos desconsiderando

efeito de borda, uma vez que a partir de 100 metros de borda as áreas núcleo dos fragmentos muito pequenos são eliminadas.

Entende-se aqui que os maiores fragmentos apresentam perda de floresta mais acelerada ao aumentar o valor de borda. Isso se dá por conta da forma irregular deste tipo de fragmento na região.

Por fim, conclui-se que o município de Silva Jardim apresenta um total de áreas florestadas elevado, embora seu estado de fragmentação seja alto principalmente nas áreas planas, a exemplo de toda a Mata Atlântica, o que compromete o mosaico de florestas de terras baixas. Apesar disso, essas áreas apresentam grande quantidade de fragmentos pequenos de formas regulares que podem auxiliar na manutenção do ambiente, servindo de trampolins ecológicos para espécies nativas. O município apresenta ainda fragmentos de áreas médias e grandes associados a importantes Unidades de Conservação, o que é altamente relevante para a sua conservação. Os fragmentos maiores, além de parcialmente protegidos por UC, se localizam em compartimentos montanhosos, de menor acessibilidade, o que lhes confere uma menor vulnerabilidade. Ressalta-se apenas, mais uma vez, que se deve estar atento para as formas irregulares destas manchas, que apresentam muitas reentrâncias, o que a longo prazo pode desencadear o aumento da fragmentação.

Capítulo 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS.

As pesquisas que envolvem a identificação de objetos na paisagem e seu comportamento na dinâmica espacial são de grande relevância para o melhor entendimento do espaço geográfico. Esta pesquisa buscou contribuir metodologicamente para parte dessa tarefa. Foi realizado o mapeamento da vegetação através do uso de classificadores baseados em objeto e este objetivo foi contemplado. Fica entendido que este foi um esforço sem aprofundamento que pudesse trazer diretrizes definitivas a todos os futuros trabalhos de mapeamento da vegetação em ambientes rurais. No entanto, não há pretensão de esgotar o assunto, que encontra uma contribuição nesse estudo.

O fato de se decidir por insumo, um conjunto de imagens de alta resolução foi muito positivo e se mostrou interessante no mapeamento de florestas, por possibilitar um estudo da paisagem e da fragmentação com uma escala que permitiu enxergar maiores nuances e menores fragmentos, ocultos em escalas de menor detalhe.

Nesse contexto, acredita-se que foi interessante o uso de apenas quatro bandas e que, somente com estas atingiu-se um resultado interessante, levando em consideração a avaliação da classificação. Não se descarta a possibilidade de comparação com um mapeamento em mesmas condições para uma mesma imagem de oito bandas, não perdendo de horizonte o fato do custo financeiro ser muito menor para uma imagem com as quatro bandas apresentadas.

Fica aqui sugerido também que sejam utilizados outros descritores no processo de classificação, levando em consideração a textura (em especial para diferenciar a presença de eucalipto) e o posicionamento, para melhor identificar os objetos definidos como possíveis regenerações de floresta.

Sugere-se que sejam feitos testes de classificação com recortes menores ou em computadores de diferentes capacidades, para avaliar o custo de tempo e esforço, este ponto foi tido como crítico neste trabalho.

Ainda se tratando do processo de GEOBIA, muito se tem discutido ultimamente sobre as contribuições do uso da mineração de dados; para esta pesquisa, descritores mais “comuns” com base nas bandas espectrais atenderam bem a expectativa, no entanto, seria interessante avaliar a contribuição desta metodologia para definição de descritores no mapeamento da área de estudos.

A região, assim como muitas outras, apresenta variação significativa de estados de conservação, estágios de sucessão e fisionomias da vegetação, desta forma, acredita-se que uma melhor caracterização dos fragmentos identificados possibilite a definição dos mesmos no contexto de conservação ambiental do município.

É interessante levar em consideração a escala adotada no mapeamento para realização de algumas análises, como a aplicação das métricas. O mapa de fragmento, resultado do mapeamento, detém características pertinentes à escala em que foi mapeado, desta forma, algumas especulações sobre suas características e a própria análise da aplicação das métricas da paisagem tem de ser feitas com cautela.

Um fato que se observou durante a pesquisa foi que os fragmentos menores que cinco hectares (5ha) tiveram posição significativa nas análises das métricas, no entanto deve-se tomar cuidado ao considerar estes fragmentos, principalmente pelo fato de estes fragmentos estarem mais suscetíveis as pressões de entorno, por conta de seu tamanho. As condições específicas de cada fragmento podem ser diversas e na pesquisa ser considerado o mesmo padrão de importância. Ainda sobre esta questão, não foi possível saber o que cada pequeno fragmento representa (regeneração natural, resquício de floresta desmatada, reserva florestal) e por isso, todos foram considerados.

A decisão quanto à aplicação das métricas foi vista como muito importante neste estudo, isso porque muitos índices se encontram disponíveis e possivelmente atendem a necessidades específicas. Contudo, as métricas escolhidas são de simples aplicação e interpretação, além de terem grande significância nos resultados apresentados.

De acordo com os resultados das métricas foi possível observar o município como um ambiente bastante fragmentado, no entanto, como já foi dito, Silva Jardim apresenta uma das melhores condições de conservação e presença de floresta entre municípios do estado e municípios rurais no contexto da Mata Atlântica. Entende-se aqui que é necessário analisar o contexto histórico e social em que o recorte espacial se encontra externamente e internamente para poder avaliar os resultados, por mais que pareçam negativos, poder ser na verdade bem positivos.

A realização deste estudo despertou interesse em desenvolver outras pesquisas no mesmo contexto ou em realidades associadas. Uma destas pesquisas seria a da aplicação de métricas para o recorte de fragmentos como um todo, como já vem sendo desenvolvido através da utilização de softwares livres e outros. Outra possibilidade que chamou a atenção foi a de aprofundar a relação do conceito de escala com os estudos que lidam com fragmentos florestais. Pôde-se observar que

muitos estudos não dão atenção aos limites de escala quando relacionam os insumos utilizados com as análises e resultados.

Por fim, se avalia que os objetivos foram alcançados, pois dentro do que foi proposto, a floresta no município de Silva Jardim foi identificada e a situação de fragmentação desta floresta foi traduzida, ainda que restritamente através das métricas da paisagem, mas que abrem possibilidade a serem realizados detalhamentos, como os mencionados anteriormente, em estudos futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, M. B. **Mudanças de Cobertura e Uso da Terra no Estado do Rio de Janeiro, entre 1994 e 2007**. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Geografia da UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2010.
- ALBUQUERQUE, C. K. **Avaliação Qualitativa de Fragmentos Florestais com Dados de Sensoriamento Remoto como Subsídio à Formação de Corredores Ecológicos na APA São João**. 2010. 223 p. Dissertação (mestrado em Geografia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2010.
- ALBUQUERQUE, C. K.; CRUZ, C. B. M.; BARROS, R. S de. **Sensibilidade de índices de vegetação para classificação do estado de conservação da cobertura florestal**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR), 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. p. 1652- 1659.
- ALMEIDA, C. G. **Análise espacial dos fragmentos florestais na área do Parque Nacional dos Campos Gerais, Paraná**. Dissertação de Mestrado em Gestão do Território, Programa de Pós Graduação em Geografia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, PR, 2008.
- AMARAL, M. V. F.; SOUZA, A. L.; SOARES, V. P.; SOARES, C. P. B.; LEITE, H. G.; MARTINS, S. V.; FILHO, E. I. F.; LANA, J. M. **Avaliação e comparação de métodos de classificação de imagens de satélites para o mapeamento de estádios de sucessão florestal**. Revista Árvore, Viçosa, MG, v.33, n.3, p.575-582, 2009.
- ANTUNES, A. F. B. **Classificação de ambiente ciliar baseada em orientação a objeto em imagens de alta resolução espacial**. Tese de Doutorado em Ciências Geodésicas, da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2003.
- ANTUNES, A. F. B. & LUZ, N. B. **Classificação orientada a objetos de imagens Spot-5 com a finalidade de mapeamento do uso da terra** In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 2009. p. 909 – 917.
- ARAKI, H. **Fusão de informações espectrais, altimétricas e de dados auxiliares na classificação de imagens de alta resolução espacial**. Tese de Doutorado de Ciências Geodésicas. Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas,

Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2005.

- BAATZ, M.; SCHÄPE, A. **Multiresolution segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation.** In: STROBL, J.; BLASCHKE, T.; GRIESEBNER, G. (Ed.) XII Angewandte Geographische Informationsverarbeitung. Beiträge zum AGIT-Synposium Salzburg 2000, Heidelberg Wichmann-Verlag, 2000. P. 12 – 23.
- BARROS, R. S.; CRUZ, C. B. M.; REIS, R. B.; MENDEL, G. C.; SANTOS, R. H. L.; RABACO, L. M. L. **Avaliação planialtimétrica de um par estereoscópico Cartosat1 Estudo de caso em São Sebastião, SP.** In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011. p. 2460-2467.
- BATISTA, M. H. **Classificação hierárquica orientada a objeto em imagens de alta resolução espacial empregando atributos espaciais e espectrais.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Sensoriamento remoto da UFRGS, Rio Grande do Sul, RS, 2006.
- BENZ, U.; HOFMANN, P.; WILLHAUCK, G.; LINGENFELDER, I.; HEYNEN, M. **Multiresolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information.** In.: ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, v. 58, n. 3-4, p. 239-258, Jan. 2004.
- BEZERRA, C. G. **Estudo da fragmentação florestal e ecologia da Paisagem na sub-bacia do córrego Horizonte, Alegre, ES.** Monografia em Engenharia Florestal, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro, ES, 2010.
- BLÄSCHKE, T. & STROBL, J. **What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS.** 2001. Disponível em: <http://courses.washington.edu/cfr530/GIS200106012.pdf>. Acesso em 10 de maio de 2012.
- CADENA, G. T. **Classificação dos tipos de pavimentos das vias urbanas a partir de imagem de alta resolução espacial por meio de análise orientada a objeto.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Ciências Cartográficas, Universidade Estadual Paulista, UEP, São Paulo, Brasil, 2011.
- CAMARGO, F. F. **Análise orientada a objeto aplicada ao mapeamento de unidades geomorfológicas a partir de dados ASTER/TERRA.** Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, Brasil, 2008.

- CARIS, E. A. P., KURTZ, B. C., CRUZ, C. B. M., SCARANO, F. R. **As perspectivas de uso de imagens de alta resolução em estudos ecológicos – um estudo de caso para o Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, RJ.** In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Natal, RN, Brasil, 2009. p. 2637 – 2644.
- CARVALHO, M. V. A. **Classificação da cobertura e uso do solo com imagens WorldView-2 utilizando mineração de dados e análise baseada em objetos.** Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE, Brasil, 2011.
- CASTILLA, G. & HAY, G. J. **Image objects and geographic objects.** In: BLASCHKE, T., LANG, S., HAY, G. J. (eds.) Object Based Image Analysis - Spatial concepts for knowledge-driven remote sensing applications. Springer-Verlag, Berlin, 2008. Capítulo 1.5. p. 97 – 112.
- COMPERJ - Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro. **Agenda 21 do município de Silva Jardim.** 2012 Disponível em <http://www.agenda21comperj.com.br/noticias/silva-jardim-lidera-novamente-ranking-do-icms-verde-no-estado>. Acessado em 12/10/2013.
- COSTA, M. P.; CARVALHO, L. M. T.; OLIVEIRA, L. T.; NETTO, G. J. S.; ARMANDO, D. M. S. **Delimitação de Fitofisionomias em áreas do Parque Estadual Verde Grande e da Área de Proteção Ambiental do Lajedão (MG) e entorno, com o uso de imagens Ikonos de alta resolução e classificação orientada a objeto.** In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Natal, RN, Brasil, 2009. p. 2669 – 2674.
- CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. **Geologia do Estado do Rio de Janeiro.** Orgs. Silva, L.C. & Cunha, H.C.S. Brasília, 2001.
- CRUZ, C. B. M.; VINCENS, R. S.; SEABRA, V. S.; REIS, R. B.; FABER, O. A.; RICHTER, M.; ARNAUT, P. K. E.; ARAUJO, M. **Classificação orientada a objetos no mapeamento dos remanescentes da cobertura vegetal do bioma Mata Atlântica, na escala 1:250.000.** In: Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Florianópolis, SC, Brasil, 2007. p. 5691 – 5698.
- CUNHA, S. B. & FREITAS, M. W. B. **Geossistemas e Gestão Ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio São João-RJ.** Revista *GEOgraphia* - Ano. 6 - Nº 12 - 2004.

- DEFINIENS. **Definiens Developer 7 – User Guide**. 2007. Disponível em: <http://www.definiens.com>. Acesso em 15 de maio de 2012.
- DIGITALGLOBE. **First digitalglobe 8-band research challenge attracts 500+ entries from scientists worldwide**. Outubro, 2010. Disponível em: <http://media.digitalglobe.com/manual-releases/First-DigitalGlobe-8-Band-Research-Challenge-Attra>. Acessado em 10 de maio de 2012.
- _____. **Feature Classification: WorldView-2**. Longmont. 2010a. Disponível em: <http://www.digitalglobe.com/downloads/spacecraft/FeatureClassification-DS-FEAT.pdf>.> Acesso em 31 de maio de 2012.
- _____. **WorldView-3**. 2012. Disponível em: <http://www.digitalglobe.com/content/worldview3/> Acesso em: 10 de maio de 2012.
- DOMINGOS, P. L. H., FONSECA, L. M. G., MONTEIRO, A. M. V. **Extração de vegetação intra-urbana de imagens de alta resolução**. In: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Goiânia, GO, Brasil, 2005. p. 3739 – 3746.
- DUARTE, L.; GUIOMAR, N.; NEVES, N. **Modelação geográfica de métricas da paisagem: efeito de escala e efeito de contexto**. In: Cadernos de Geografia, n. 26/27, 2007/08, 2008
- EHLERS, M. Sensoriamento Remoto para usuários de SIG – sistemas sensores e métodos: entre as exigências do usuário e a realidade. In: BLASCHKE, T.; KUX, H. J. H. (ed.) **Sensoriamento Remoto e SIG Avançados**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. Cap. 2, p.19 – 32.
- EMBRAPA, **Sistemas orbitais de monitoramento e gestão territorial**. Disponível em: <http://www.sat.cnpm.embrapa.br/> Acesso em 03 de maio de 2012.
- FAABORG, J; BRITTINGHAM, M.; DONOVAN, T.; BLAKE, J. **Habitat fragmentation in the temperate zone: A perspective for managers**. In: MARTIN, T. E. & FINCH, D. M. Ecology and management of neotropical migratory birds. New York, Oxford University Press. 1995.
- FERRAZ, R. F. B. **Agenda 21 Silva Jardim**. 2011. Disponível em: <http://www.agenda21comperj.com.br/municipios/silva-jardim/agenda-21-local>. Acesso em 12 de dezembro de 2012.
- FORERO-MEDINA, G.; VIEIRA, M. V. **Conectividade funcional e a importância da interação organismo-paisagem**. Oecologia Brasiliensis, v. 11, n. 4, p. 493 – 502, 2007.
- FORMAN, R. T. T. & GODRON, M. **Landscape ecology**. John Wiley & Sons, New York, 1986. 620 pp.

- FORMAN, R. T. T. **Land mosaics: the ecology of landscape and regions.** Cambridge: Cambridge University Press. 1995. Pág.: 412-415.
- FRANCISCO, C. N.; ALMEIDA, C. M. **Avaliação de desempenho de atributos estatísticos e texturais em uma classificação de cobertura da terra baseada em objeto.** In: Boletim de Ciências Geodésicas, 2012, v. 18, nº 2, p. 302-326.
- GOODWIN, B. J. **Is landscape connectivity a dependent or independent variable?** In: Landscape Ecology, n. 18: p. 687–699, 2003.
- HAPP, P. N., FERREIRA, R. S., BENTES, C., COSTA, G. A. O. P., FEITOSA, R. Q. **Segmentação multiresolução: uma abordagem paralela para segmentação de imagens de alta resolução em arquiteturas de múltiplos núcleos.** In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 2009. p. 6935 - 6942.
- HAY, G. J., & CASTILLA, G. **Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA).** In: Blaschke, T.; Lang, S.; Hay, G. J. (Eds.), Object-based image analysis – Spatial concepts for knowledge-driven remote sensing applications. Springer-Verlag, Berlin, p.77–92, 2008.
- IBGE, **Downloads no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Disponível em: <http://downloads.ibge.gov.br/> Acessado em: 14 de outubro de 2013.
- JACOBSEN, K. **High resolution imagery for mapping and landscape monitoring.** In: Anais do IX Seminário de Atualização em Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas Aplicados à Engenharia Florestal, Curitiba, PR. 2010.
- JENSEN, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** Tradução Epiphany J.C.N. (coordenador)... [et. al.]. – São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.
- KÖRTING, T. S. **Classificação de imagens por regiões.** 2006. Disponível em : <http://www.dpi.inpe.br/~tkorting/projects/isoseg/material.pdf>. Acesso em: 10 de maio de 2012.
- LANG, S.; BLASCHKE, T. (Org.) **Análise da paisagem com SIG.** Tradução Hermann Kux. Oficina de Textos, São Paulo, 2009. 283 p.
- LANGANKE, T., ROSSNER, G., VRSCAJ, B., LANG, S., MITCHLEY, J. **Selection and application of spatial indicators for nature conservation at different institutional levels.** In: Journal for Nature Conservation, 2005 v. 13 p. 101 – 114.

- LAURANCE W. F. **Habitat destruction: death by a thousand cuts**. In.: SODHI, N. S. & EHRLICH, P. R. **Conservation biology for all**. Oxford University Press. Cap. 4. Pág. 73 – 87. 2010.
- LIU, W. T. H. **Aplicações do Sensoriamento Remoto**. Campo Grande: Ed. UNIDERP, 2007.
- MCGARIGAL, K., MARKS, B. J. **Fragstats. Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure**. Version 2.0. Corvallis: Forest science department, Oregon State university. 1994.
- MCGARIGAL, K. **Landscape pattern metrics**. In: A. H. El-Shaarawi & W. W. Piegorsch (Eds.), *Encyclopedia of environmentrics* (pp. 1135–1142). 2002.
- MONICO, J. F. G.; PÓZ, A. P. D.; GALO, M.; SANTOS, M. C.; OLIVEIRA, L. C. **Acurácia e Precisão: revendo os conceitos de forma acurada**. In: *Boletim de Ciências Geodésicas, Seção Comunicações*, Curitiba, v. 15, no 3, p.469-483, jul-set, 2009.
- MOREIRA, T. C. L., FILHO, D. F. S., POLIZEL, J. L. **Extração de cobertura arbórea intra-urbana de imagens de alta resolução** In: *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Florianópolis, SC, Brasil, 2007. p. 5403 – 5409.
- MYERS, N., MITTERMEIER, R. A., MITTERMEIER, C. G., FONSECA, G. A. B., KENTS. J. **Biodiversity hotspots for conservation priorities**. *Nature*, v. 403, p. 853 – 858, 2000.
- NEUBERT, M. & MEINEL, G. **Análise de dados do satélite Ikonos baseada em segmentação – utilização do software de análise de dados eCognition para diferentes áreas testes**. In: BLASCHKE, T., KUX, H. *Sensoriamento remoto e SIG avançados*. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. p.115-124.
- NOVACK, T.; RIBEIRO, B. M. G.; KUX, H. J. H. **Análise dos dados do satélite WorldView-2 para a discriminação de alvos urbanos semelhantes com base em algoritmos de seleção de atributos**. In: *Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, Curitiba, PR, Brasil, 2011. p. 7815 – 7821.
- NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 3. ed. São Paulo: Adgard Blucher, 2008.
- OMAR, H. **Commercial timber tree species identification using multispectral worldview 2 data**. In: *8Bands Research Challenge*, Digital Globe, 2010, p. 2-13.

- PAHL, M. **Arquitetura de um sistema baseado em conhecimento para interpretação de dados de sensoriamento remoto de múltiplos sensores.** 95 p. (INPE-15211-TAE/71). PhD Thesis – Universidade de Hannover, São José dos Campos. 2008. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m17@80/2008/03.07.18.31>>. Acesso em 31 de maio de 2012.
- PEREIRA, L. D., LINGNAU, C., ANTUNES, A. F. B. **Uma proposta de classificação da vegetação utilizando perfilamento a laser e imagens alta resolução espacial** In: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Goiânia, GO, Brasil, 2005. p. 745 – 747.
- PILZ, H., STROBL, J. **Análise de impermeabilização com base em ortofotografias aéreas coloridas digitais através de processamento de imagens orientadas a objetos.** In: Kux, H., Blaschke, T. Sensoriamento remoto e SIG avançados. São Paulo: Oficina de Textos; 2005.
- PINHO, C.M.D.; ALMEIDA, C.M.; KUX, H.J.H.; RENNÓ, C.D.; FONSECA, L.M.G. **Classificação de cobertura do solo de ambientes intra-urbanos utilizando imagens de alta resolução espacial e classificação orientada a objetos.** In: ALMEIDA, C.M.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M.V. Geoinformação em urbanismo: cidades real X cidade virtual. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. Cap. 8, p.171 – 192.
- PINHO, C.M.D. **Elaboração de rede semântica para classificação de cobertura do solo de ambientes intra-urbanos: o Caso de São José dos Campos – SP.** In: Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, SC, Brasil. 2007, p. 637-644.
- PIROVANI, D. B., **Fragmentação florestal, dinâmica e ecologia da paisagem na bacia hidrográfica do rio Itapemirim, ES.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Ciências Florestais do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, ES, 2010.
- POWERS, R. P., HAY, G. J., CHEN, G. **How wetland type and area differ through scale: A GEOBIA case study in Alberta's Boreal Plains.** Remote Sensing of Environment, v. 117, p. 135 – 145, 2012.
- RAMBALDI, D. M. & OLIVEIRA, D. A. S. **Fragmentação de ecossistemas: causas, efeitos sobre a biodiversidade e recomendações de políticas públicas.** MMA/ SBF, Brasília, 2005. 510p.
- REIS, R.B. **Mapeamento das Áreas de Preservação Permanentes (APP) como subsídio à elaboração de estratégias de conservação e recuperação - estudo de caso na APA do Rio São João/ Mico-Leão Dourado (RJ).**

- Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Geografia – PPGG, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2008.
- RIBEIRO, B.M.G.; FONSECA, L.M.G.; KUX, H.J.H. **Avaliação das imagens WorldView-II para o mapeamento da cobertura do solo urbano utilizando o sistema InterIMAGE.** In: Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil. 2011. p.0722
- RIITTERS, K.H.; O'NEIL, R.V.; HUNSAKER, C.T.; WICKHAM, J.D.; YANKEE, D.H. TIMMINS, S.P. **A factor analysis of landscape pattern and structure metrics.** In.: Landscape Ecology, v.10, n.1, p. 23-39. 1995.
- SANTOS, J. R., MALDONADO, F. D., GRAÇA, P. M. L. A. **Integração de imagens Landsat/ETM+ e CBERS-2/CCD para detecção de mudanças em área da Amazônia sob domínio da floresta de transição.** In: Revista Brasileira de Cartografia., v.57, p.15 - 27, 2005.
- SANTOS, M. 2002. **A natureza do espaço.** Técnica e Tempo, Razão e Emoção. 6ª edição. Editora da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP.
- SEABRA, V. S. **Análise da paisagem em apoio aos estudos de favorabilidade à recuperação florestal na bacia hidrográfica do rio São João.** Tese de Doutorado em Geografia. Programa de Pós Graduação em Geografia – PPGG, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2012.
- SHIBA, M. & ITAYA, A. Using eCognition for Improved Forest Management and Monitoring Systems. In: **Precision Forestry.** Field Science Education and Research Center, Kyoto University, Japan, Graduate School of Bioagricultural Sciences, Nagoya University, Japan, 2006.
- SILVA, R. R. **Aplicação de imagens orbitais de alta resolução no cadastro técnico rural multifinalitário.** Dissertação de Mestrado, Programa de Pós Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, RS, 2007.
- SIMINSKI, A. & FANTINI, A.C. **A Mata Atlântica cede lugar a outros usos da terra em Santa Catarina, Brasil.** In: Biotemas. 2010. Número 23 (2), p. 51-59.
- SOUZA, K. R.; VIEIRA, T. G. C.; ALVES, H. M. R.; VOLPATO, M. L.; ANJOS, L. A. P.; SOUZA, C. G.; ANDRADE, L. N. **Classificação automática de imagem do satélite RapidEye para o mapeamento de áreas cafeeiras em Carmo de Minas, MG.** In: Anais do VII Simpósio de Pesquisa dos Cafés do Brasil, Araxá, MG. 2011.
- SOUZA, U. D. V., ALFAYA, F. A. V. S., KUX, H. J. H. **Contribuição das novas bandas espectrais do satélite Worldview-II para a classificação de**

- tipos vegetais em habitats costeiros: resultados iniciais.** In: Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 2011. p. 9040 - 9047.
- TELLES, R. C. M.; MACHADO, D. C. S.; SANTOS, R. H. L., RICHTER, M. CRUZ, C. B. M. **Estudo das aplicações de imagens do sensor WorldView II na análise espectral da vegetação.** In: Anais da 1ª Jornada de Geotecnologias do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2011.
- TRABAQUINI, K.; MIGLIORANZA, E.; FRANÇA, V.; VIEIRA, A. O. S.; **Análise espacial de fragmentos florestais com ocorrência de Jaracatiá.** Revista RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise. 2007. Vol. 17, pág. 193 – 203
- VIANA, V. M.; PINHEIRO, L. A. F. V. **Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais.** In: Conservação da Biodiversidade. v. 12, número 32, p. 25 – 42, 1998
- VIANA, V. M.; TABANEZ, A. J. A.; MARTINEZ, J. L. A. **Restauração e Manejo de fragmentos florestais.** In: Anais do 2º Congresso Nacional sobre Essências Nativas, 1992, São Paulo, 1992.
- WILCOVE, D. S.; MCLELLAN, C. H.; DOBSON, A. P. **Habitat fragmentation in temperate zone.** In: SOULÉ, M. E. Conservation biology: the science of scarcity and diversity. Sunderland: Sinauer. 1986. Pág.: 237-256.
- ZHONG, C.; ZHONGMIN, Z.; DONGMEI, Y.; RENXI, C. **Multi-scale segmentation of the high resolution remote sensing image,** 2005. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/iel5/10226/32599/01526648.pdf?arnumber=1526648>> Acesso em 02 de junho de 2012.