

LISÂNEAS ALBERGONI

**CARACTERIZAÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA COMO SUBSÍDIO PARA
ANÁLISE DE PAISAGEM E DE VULNERABILIDADE DE UM FRAGMENTO DE FLORESTA
OMBRÓFILA MISTA**

CURITIBA

2011

LISÂNEAS ALBERGONI

**CARACTERIZAÇÃO DO USO E COBERTURA DA TERRA COMO SUBSÍDIO PARA
ANÁLISE DE PAISAGEM E DE VULNERABILIDADE DE UM FRAGMENTO DE FLORESTA
OMBRÓFILA MISTA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Engenharia Florestal – Área de Concentração Manejo Florestal.

Orientador:

Prof. Dr. Nelson Carlos Rosot

Co-orientadores:

Dra. Maria Augusta Doetzer Rosot

Msc. Marilice Cordeiro Garrastazu

CURITIBA

2011

*Àqueles que acreditaram em mim.
Dedicado especialmente a meu pai
Onofre e minha mãe Terezinha.*

AGRADECIMENTOS

À Deus que criou a floresta a ser estudada e sempre me iluminou.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela bolsa de estudos.

À Embrapa pelo suporte financeiro para o desenvolvimento da pesquisa.

Ao Professor Nelson Carlos Rosot pelo seu trabalho de orientação e pela paciência.

À pesquisadora Maria Augusta Doetzer Rosot pelas valiosas sugestões de aprimoramento deste trabalho.

À pesquisadora Marilice Cordeiro Garrastazu pela boa vontade em ajudar em todas as horas.

Aos técnicos da Embrapa Florestas Arnaldo e Úrio pelo auxílio nos dados de campo.

Aos pesquisadores Yeda e André pelas sugestões e apoio.

À professora Christel Lingnau que me acolheu nos tempos de graduação e iniciou minha formação na área de geoprocessamento.

Ao pesquisador Itamar Bognola que me indicou o estágio na Embrapa.

As pessoas que mais admiro: minha mãe Terezinha e meu pai, que sempre me apoiaram.

As minhas irmãs Josiane, Seila e Leide, por acreditarem em mim.

Aos colegas do Laboratório de Monitoramento da Embrapa, Betina, Juliana, Luziane, Elisiane e Breno pelos momentos de descontração.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABELAS.....	vii
RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
1. APRESENTAÇÃO.....	1
1. INTRODUÇÃO.....	2
2. CAPÍTULO I: CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	5
2.1. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	6
2.1.1. Localização.....	6
2.1.2. Histórico de ocupação.....	7
2.1.3. Hidrografia.....	8
2.1.4. Clima.....	8
2.1.5. Geologia e Solos.....	9
3. CAPÍTULO II: APLICAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETO NO MAPEAMENTO DE USO E COBERTURA DA TERRA COM IMAGEM DO SENSOR AVNIR-2, SATÉLITE ALOS.....	12
3.1. INTRODUÇÃO.....	13
3.2. CLASSIFICAÇÃO DIGITAL.....	13
3.2.1. Lógica <i>Fuzzy</i>	15
3.2.2. O Satélite ALOS.....	16
3.3. CONCEITOS E APLICAÇÕES DA CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETO.....	19
3.3.1. Segmentação de imagens.....	19
3.3.2. Classificação orientada a objetos.....	22
3.3.3. Cálculo de acuracidade.....	26
3.4. Edição vetorial da classificação.....	28
3.5. CONCLUSÕES DO CAPÍTULO.....	31
4. CAPÍTULO III: ANÁLISE DA PAISAGEM UTILIZANDO SIG.....	32
4.1. INTRODUÇÃO.....	33
4.2. ESTUDOS DE ECOLOGIA DA PAISAGEM.....	33
4.2.1. Efeitos da Escala Espacial.....	34

4.3. MÉTRICAS DE PAISAGEM.....	35
4.3.1. Análise de área e densidade.....	37
4.3.2. Análise de Forma.....	42
4.3.3. Análise de efeito de borda e de área-núcleo.....	43
4.4. CONCLUSÕES DO CAPÍTULO.....	46
5. CAPÍTULO IV: ANÁLISE DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL AO ACESSO DE PESSOAS NA RESERVA FLORESTAL EMBRAPA/EPAGRI.....	48
5.1. INTRODUÇÃO.....	49
5.2. ANÁLISE DE VULNERABILIDADE.....	49
5.2.1. Padronização de fatores.....	54
5.2.2. Avaliação multicritério.....	57
5.3. CONCLUSÕES DO CAPÍTULO.....	62
6. CONCLUSÕES GERAIS.....	64
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1: Localização da área de estudo.....	6
FIGURA 2.2: Sub-bacias e rede hidrográfica presentes na área de estudo.....	9
FIGURA 2.3: Mapa de solos da área de estudo.....	10
FIGURA 3.1: Segmentação multiescala com seus níveis hierárquicos.....	21
FIGURA 3.2: Comparação dos descritores entre classes.....	24
FIGURA 3.3: Mapa de uso e cobertura da terra na área de estudo.....	29
FIGURA 4.1: Distribuição dos fragmentos na área de estudo.....	40
FIGURA 4.2: Distribuição das classes de tamanho dos fragmentos em relação: A) número; B) área.....	41
FIGURA 5.1: Uso e cobertura da terra no entorno da RFEE.....	51
FIGURA 5.2: Distância calculada a partir dos usos: A) agropecuária; B) áreas construídas; C) estradas; D) floresta nativa; E) Rede hidrográfica; F) Reflorestamento.....	53
FIGURA 5.3: Função de reescalonamento linear monotônica: A) crescente; B) decrecente.....	55
FIGURA 5.4: Padronização dos fatores distância de áreas com: A) agropecuária; B) áreas construídas; C) estradas; D) floresta nativa; E) rede hidrográfica; F) reflorestamento.....	56
FIGURA 5.5: Imagem de vulnerabilidade de toda a área de estudo.....	59
FIGURA 5.6: Mapa de vulnerabilidade da Reserva Florestal Embrapa/Epagri.....	60
FIGURA 5.7: Sobreposição das classes de uso e cobertura da terra com o mapa de vulnerabilidade: A) agropecuária; B) áreas construídas; C) estradas; D) floresta nativa; E) rede hidrográfica; F) Reflorestamento.....	63

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1: Superfície ocupada – área de estudo por município.....	7
TABELA 2.2: Superfície absoluta e relativa ocupada pelos tipos de solos na área de estudo.....	10
TABELA 3.1: Características dos sensores AVNIR-2 e PRISM.....	18
TABELA 3.2: Classes de uso e cobertura da terra.....	23
TABELA 3.3: Descritores pré-selecionados.....	23
TABELA 3.4: Descritores selecionados para a classificação, por classe de uso.....	26
TABELA 3.5: Matriz de confusão para cálculo de acurácia da classificação.....	27
TABELA 3.6: Erros de omissão e comissão para as classes de uso e cobertura.....	27
TABELA 3.7: Área correspondente ao uso e cobertura da terra.....	30
TABELA 3.8: Uso e cobertura da terra na Reserva Florestal Embrapa/Epagri.....	30
TABELA 4.1: Principais categorias da análise estrutural-espacial de fragmentos.....	36
TABELA 4.2: Valores dos parâmetros métricos de área e densidade.....	39
TABELA 4.3: Frequência dos fragmentos da paisagem por classe de tamanho.....	39
TABELA 4.4: Índices de forma por classe de tamanho dos fragmentos.....	43
TABELA 4.5: Valores dos parâmetros métricos de área e densidade, com efeito de borda.....	45
TABELA 4.6: Índices das áreas-núcleo por classe de tamanho.....	45
TABELA 5.1: Relação de vulnerabilidade com o fator distância de cada uso e cobertura da terra.....	55
TABELA 5.2: Escala de comparação entre fatores.....	58
TABELA 5.3: Matriz de comparação pareada relativa à importância dos fatores.....	58
TABELA 5.4: Pesos calculados para cada fator usado na análise de vulnerabilidade.....	59

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo mapear e analisar a paisagem da área de influência da Reserva Florestal Embrapa/Epagri (RFEE), localizada no Estado de Santa Catarina. A área de estudo possui 33.910 ha e abrange um dos maiores remanescentes contínuos da Floresta Ombrófila Mista (FOM), bioma Mata Atlântica. As etapas do estudo foram: mapeamento do uso e cobertura da terra por meio da classificação orientada a objeto; análise da paisagem a partir de índices da paisagem para caracterização da estrutura espacial dos fragmentos florestais; e por fim, a análise de vulnerabilidade efetuada para a Reserva considerando como fator de risco, o acesso de pessoas estranhas. No mapeamento de uso e cobertura da terra, a cena ALOS-AVNIR-2, foi segmentada e, em seguida, classificada em usos e coberturas básicos (agropecuária, água, floresta nativa, reflorestamento e área urbana). Com a finalidade de aprimorar os resultados do mapeamento foi realizada a edição vetorial dos polígonos gerados pela própria classificação, a reambulação em campo e a edição manual de estradas, sobre uma imagem ALOS-PRISM. O índice Kappa foi igual a 0,61 e a acurácia geral da classificação foi de 67%. O mapeamento demonstrou que o entorno da RFEE é predominantemente antropizado (65% da área). A classe floresta nativa representa 33% da área. No estudo da paisagem, as métricas estudadas foram: área total, tamanho médio e número de fragmentos, porcentagem de fragmentos na área de estudo, representatividade do maior fragmento, em área, índice de forma médio e distribuição da frequência dos fragmentos por classes de tamanho, além da simulação de um cenário com efeito de borda de 50 metros. Os fragmentos florestais ocupam 33% da área, distribuídos em 1.133 manchas, com tamanho médio de 9,9 ha, com índice de forma médio de 2,1 sendo que o maior deles possui área de 1.288 ha. Cerca de 86 % dos fragmentos são menores que 10 ha, porém representam 13% da área total dos fragmentos, e 2% são maiores que 100 ha, ocupando 48% da área florestal. Com o efeito de borda simulado no presente estudo, os fragmentos seriam reduzidos de 48% para 43% da área de estudo, distribuídos em 804 manchas, com 6 ha de tamanho médio. Com este efeito restariam 71% dos fragmentos originais e 43% de sua área em conjunto. A floresta nativa representa 33% da área, porém para maior entendimento da dinâmica da paisagem sugere-se diferenciar os estágios sucessionais dos fragmentos presentes na área. Por fim, efetuou-se a análise de vulnerabilidade ao acesso de estranhos na RFEE, onde os fatores de risco considerados foram as distâncias de: agropecuária, áreas construídas, estradas, floresta nativa, rede hidrográfica e reflorestamento. Nesta fase foi utilizada a lógica fuzzy para padronização da vulnerabilidade. A avaliação multicritério atribuiu pesos aos fatores de risco e gerou o mapa final de vulnerabilidade. Na Reserva, as estradas e os reflorestamentos aumentam a vulnerabilidade ao acesso de pessoas não autorizadas; por outro lado, áreas próximas à rede hidrográfica apresentam menor vulnerabilidade.

Palavras-chave: classificação orientada a objeto; vulnerabilidade; ecologia de paisagem; AVNIR-2

ABSTRACT

This study aimed to map and analyze the landscape of the area of influence of the Embrapa / Epagri Forest Reserve (RFEE), located in Santa Catarina State, Brazil. The study area has 33,910 ha and covers one of the largest remaining continuous patches of the Mixed Ombrophylous Forest, a forest typology of the Atlantic Rainforest (shortened as FOM). The stages of the study were: land use mapping and land cover classification by the object-oriented approach, analysis of the landscape using indexes to characterize the spatial structure of forest fragments and finally, the vulnerability analysis conducted at the Reserve considering the accessibility of unauthorized people, as the risk factor. In the land use and land cover mapping, the scene ALOS-AVNIR-2 was segmented and then classified into primary uses (agriculture, water, forest, reforestation and urban areas). In order to improve the layouts, it was performed a vector editing of polygons generated by the classification, field checking and manual editing of roads, over a ALOS-PRISM imagery. The Kappa index was equal to 0.61 and the classification overall accuracy was 67%. The mapping showed that the area surrounding the RFEE is predominantly anthropized (65% of area). The native forest class represents 33% of the area. The landscape metrics considered in the study were: total area, average size and number of fragments, the percentage of patches in the study area, representativeness of the largest fragment, in hectares, the fragments shape index, the distribution of the frequency of the average fragments by size and, finally, the simulation of a scenario considering a edge effect of 50 meters. The secondary forests occupy 33% of the area, distributed in 1,133 patches, with an average size of 9.9 ha and average shape index of 2.1, the biggest of which having an area of 1288 ha. About 86% of the fragments are smaller than 10 ha, but represent 13% of the fragments total area, and 2% are larger than 100 ha, occupying 48% of forest area. Considering the edge effect simulated in this study, the fragments would be reduced to 43% of the area, distributed in 804 patches, with 6 ha of average size. In the same scenario, it would remain 71% of the original number of fragments and 43% of its area as a whole. The native forest represents 33% of the area, but for greater understanding of the dynamics of the landscape is suggested to differentiate the "succession phases" of fragments present in the area. Finally, it was performed the analysis of vulnerability of the unauthorized access to the RFEE, where the risk factors considered were the distances of: agriculture, infrastructure, roads, forest, hydrography and reforestation. At this stage, a fuzzy logic approach was performed for standardization of vulnerability. The multicriteria evaluation assigned weights to the risk factors and generated the final map of vulnerability. At the Reserve, roads and reforestation increase vulnerability to the access of unauthorized people. On the other hand, areas near the river system are less vulnerable.

Keywords: object-oriented classification; vulnerability; landscape ecology; ALOS-AVNIR-2

1. APRESENTAÇÃO

1. INTRODUÇÃO

A Floresta Ombrófila Mista (FOM) é caracterizada pela abundância de indivíduos de pinheiro-do-paraná (*Araucaria angustifolia* (Bert) O.Ktze) de grandes dimensões e a presença de outras espécies, entre elas o cedro (*Cedrela fissilis* Vellozo), a imbuia (*Ocotea porosa* Ness et Martius ex. Ness) e as canelas, entre elas a canela sassafrás (*Ocotea odorifera* (Vellozo) Rohwer). A tipologia originalmente estava distribuída nos Estados do Paraná (40%), em Santa Catarina (31%), no Rio Grande do Sul (25%), em manchas no sul de São Paulo (3%) e em áreas de altitude no sul de Minas Gerais e Rio de Janeiro (1%) (KLEIN, 1960).

Devido ao desenfreado processo de exploração madeireira, mais acentuado nas décadas de 30 a 60 do século passado e, principalmente, à expansão agropecuária e urbana, atualmente as reservas naturais da Floresta com Araucária são estimadas entre 2 e 4% da área original (GUERRA *et al.*, 2002). Os remanescentes estão bastante fragmentados e localizam-se principalmente em áreas rurais (ANJOS *et al.*, 2004).

O maior impacto da fragmentação florestal são alterações regionais no meio abiótico e biótico. As alterações no microclima, o aumento dos riscos de erosão, o assoreamento dos cursos d'água e a redução gradativa do recurso água são as principais alterações abióticas (BORGES *et al.*, 2004). No meio biótico há perda da biodiversidade microbiológica do solo, fauna e flora, além de alterações na história evolutiva de comunidades naturais, mudando a estrutura e dinâmica de ecossistemas através de alterações nos parâmetros de mortalidade e natalidade das espécies, abrindo espaço para espécies invasoras (BORGES *et al.*, 2004; VIANA & PINHEIRO, 1998).

As mudanças das características naturais de comunidades de espécies e perda de diversidade nos fragmentos, deixando as comunidades vulneráveis à extinção. Assim, o estudo de vulnerabilidade contribui para o planejamento de conservação de espécies, definindo onde, quando e como determinada área será manejada (GASTON *et al.*, 2002).

A vulnerabilidade está associada à exposição do meio aos riscos e representa a maior ou menor susceptibilidade dos ambientes se tornarem vulneráveis. É também, definida por um ponto de vista que torna tolerável ou intolerável uma determinada condição (ACSELRAD, 2006).

A Reserva Florestal Embrapa/Epagri (RFEE), com 1.194 hectares, é um dos maiores remanescentes contínuos de FOM, onde ainda é possível encontrar a fauna característica da tipologia florestal, todos os estratos e espécies de grande valor econômico e ecológico, e de forma marcante, uma população de grandes pinheiros (ROSOT *et. al*, 2007).

Como todos os fragmentos remanescentes, a Reserva sofre pressões internas e externas, de forma isolada ou associada. Alguns dos problemas na área são: a presença excessiva de macacos-prego que derrubam grandes quantidades de pinhões imaturos no solo; presença do porco asselvajado que prejudica a regeneração natural presente em suas rotas de deslocamento, além de atraírem caçadores. Outro problema é a presença de espécies diversas do grupo Bambusoidae (bambus e taquaras) que suprimem o desenvolvimento das espécies arbóreas recém estabelecidas; risco de incêndios florestais, devido ao uso do fogo nas propriedade rurais vizinhas, além da presença de plantios florestais exóticos no entorno, que podem interferir na troca de material genético entre a RFEE e os fragmentos próximos (ROSOT *et al.*, 2007; ROSOT *et al.*, 2008; TORTATO *et al.*, 2009).

Para o entendimento dos fatores que afetam a Reserva é importante fazer uma descrição do padrão espacial da paisagem no seu entorno, analisando a complexidade desse ambiente. A análise da paisagem, através de índices de paisagem, visa avaliar e caracterizar a estrutura, a função e as mudanças de ambientes naturais (CAMPOS, 2005).

A área do entorno da RFEE foi definida segundo a abrangência de projetos, em execução por equipe de pesquisadores da Embrapa Florestas. A delimitação da área de estudo utilizou as divisões geográficas naturais: rios e divisores de águas, formando uma sub-bacia hidrográfica.

O mapeamento de uso e cobertura da terra é a base para estudos de análise espacial da paisagem e análise de vulnerabilidade. O método mais usual de mapeamento é efetuado a partir de imagens de satélites e de programas computacionais de classificação automática.

Para melhor exposição dos métodos empregados e dos resultados obtidos, este trabalho foi dividido em quatro capítulos. O primeiro capítulo descreve a área de estudo; o capítulo dois descreve o método usado no mapeamento de uso e cobertura da terra. No terceiro capítulo é apresentado o estudo de análise da

paisagem envolvendo os fragmentos florestais remanescentes da área. E por fim, o capítulo quatro aborda uma análise de vulnerabilidade efetuada para a Reserva considerando como risco o acesso de pessoas estranhas à área.

**2. CAPÍTULO I:
CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

2. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

2.1. Localização

A área de estudo engloba parte da Bacia do Alto Vale do Rio do Peixe, incluído também a Reserva Florestal Embrapa/Epagri e foi definida segundo a abrangência de projeto, envolvendo Serviços Ambientais, desenvolvido pela Embrapa Florestas. Localiza-se no Planalto Ocidental Catarinense entre as coordenadas geográficas $26^{\circ}43'46,053''$ e $26^{\circ}57'15,757''$ de latitude sul e $50^{\circ}48'6,038''$ e $51^{\circ}4'28,179''$ de longitude oeste, na região centro-oeste do Estado de Santa Catarina (Figura 2.1). Com 33.910 ha, a área inclui parte dos municípios de Caçador, Rio das Antas, Fraiburgo e Lebon Régis (Tabela 2.1).

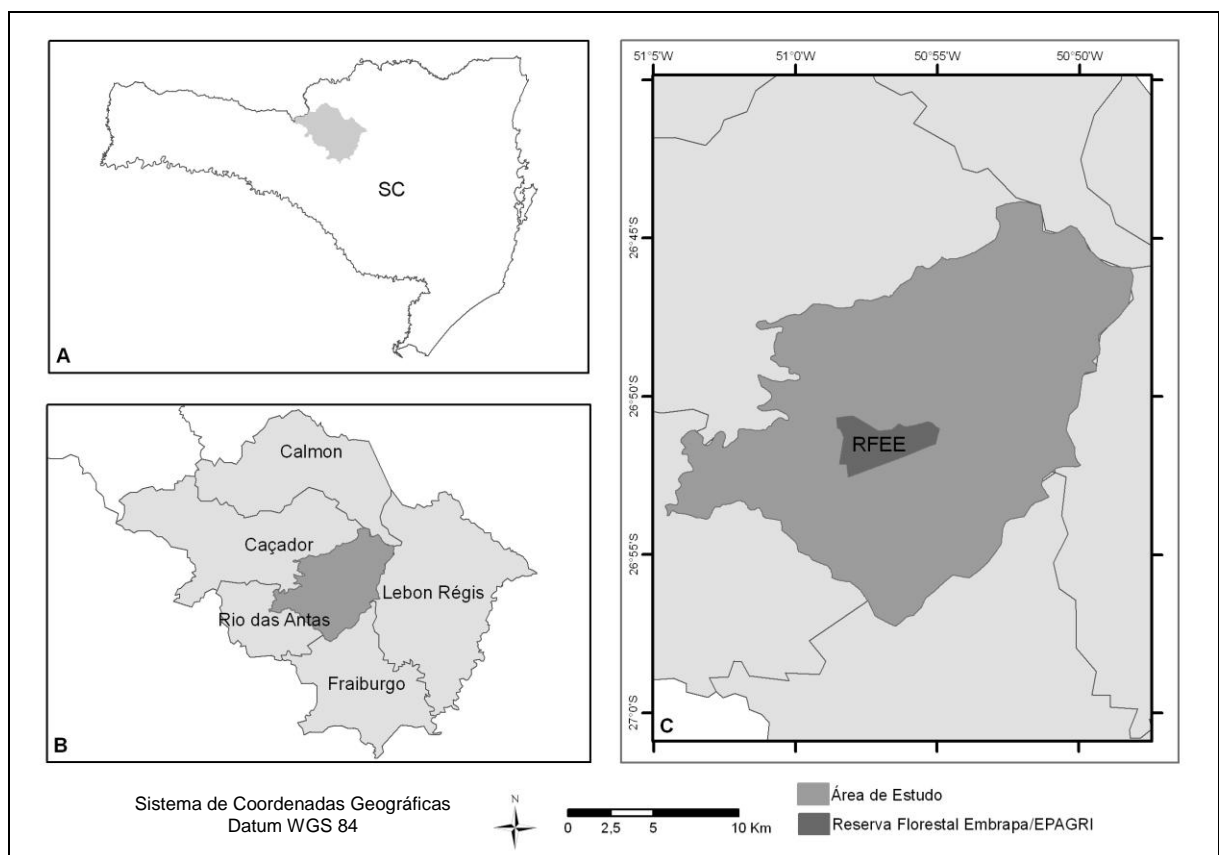


FIGURA 2.1: Localização da área de estudo: A) Região no Estado de Santa Catarina; B) Área de estudo nos Municípios; C) Área de estudo com a RFEE.

TABELA 2.1: Superfície ocupada - área de estudo por município.

Município	ha	%*
Caçador	24.247	72
Rio das Antas	7.190	21
Fraiburgo	1.986	6
Lebon Régis	489	1

* Percentagem da área de estudo dentro do município.

2.2. Histórico de ocupação

A história de ocupação da região objeto deste estudo é contada por Thomé (1995), segundo o qual, originalmente ocorriam as formações de Floresta Ombrófila Mista (FOM) na maior parte da área e Savana na porção norte. Os povos indígenas mais antigos observados na região eram os *Xokleng*, que viviam na mata densa para escaparem dos ferozes *Kaigang*, que preferiam viver em áreas de campo. O homem branco chegou à região apenas no século XVIII, com a abertura do Caminho do Sul, estrada de tropeiros destinada à condução de muares e de bovinos dos campos do Rio Grande do Sul a São Paulo.

Em 1889, para iniciar a construção da estrada ferroviária ligando São Paulo ao Rio Grande do Sul, foi concedido ao engenheiro responsável o direito de lavrar minas e terras devolutas em uma largura máxima de 15 km de cada lado do eixo da ferrovia. As obras se iniciaram na região em 1907, às margens do Rio do Peixe (THOMÉ, 1995).

Conforme o mesmo autor, neste ínterim as madeiras nativas começaram a ser exploradas para substituir as importadas dos Estados Unidos e Europa, destinadas à construção da ferrovia. A abundância de madeira-de-lei na região instigou a Companhia Ferroviária Lumber a comprar, entre 1909 e 1913, mais terras para exploração madeireira na região e a implantação de colônias imigrantes estrangeiros. Em 1917, inúmeras serrarias foram instaladas ao longo do Rio do Peixe intensificando a exploração madeireira na região, além do aumento na exploração de erva-mate, que anteriormente era realizada em pequena escala pelos caboclos.

Em 1961, quando a disponibilidade do pinheiro começou a declinar, muitos empresários do ramo que possuíam reservas começaram a explorar outros produtos florestais, além da madeira serrada. Outros empresários passaram a investir em novas indústrias. Nesta época também se iniciaram os plantios florestais de pinheiro

e de pinus e, a partir de 1978 foram plantados povoamentos de pinus extensivamente, visando sua posterior comercialização (THOMÉ, 1995).

Atualmente, pelo Zoneamento Agroecológico e Socioeconômico feito pela EPAGRI/CIRAM, a região é classificada como de boa aptidão para o reflorestamento e pastagem (EPAGRI/CIRAM, 2010).

2.3. Hidrografia

Inserida nas vertentes do interior do estado, na Bacia do Rio Uruguai, a área de estudo abrange parte das sub-bacias: do Ribeirão do Índio, Rio do Veado, Ribeirão do Cará, Rio do Peixe, Arroio Tamanduá e Arroio Gervasio. O principal rio na área de estudo é o Rio do Peixe e seus afluentes: Rio Castelhana e Rio do Veado (Figura 2.2).

O Rio do Peixe tem curso que segue a direção geral nordeste e sudoeste, rumo à Bacia do Rio Paraná. Suas nascentes encontram-se no Município de Matos Costa, a 1.100 metros de altitude (THOMÉ, 1978).

2.4. Clima

O clima na região é classificado como sub-tropical úmido sem estação seca. Segundo a classificação de Köppen, o clima é tipo Cfb, ou seja, temperado constantemente úmido, sem estação seca, com verão fresco (EPAGRI/CIRAM, 2010). Os ventos predominantes são de direção norte, secundados pelos de direção nordeste (CALDATO *et al.*, 1999). As informações meteorológicas da região são: temperatura média anual de 15,3°C; temperatura máxima média de 22,2°C; temperatura mínima média de 9,9°C; e precipitação média anual de 1.795 mm (EPAGRI/CIRAM, 2010).

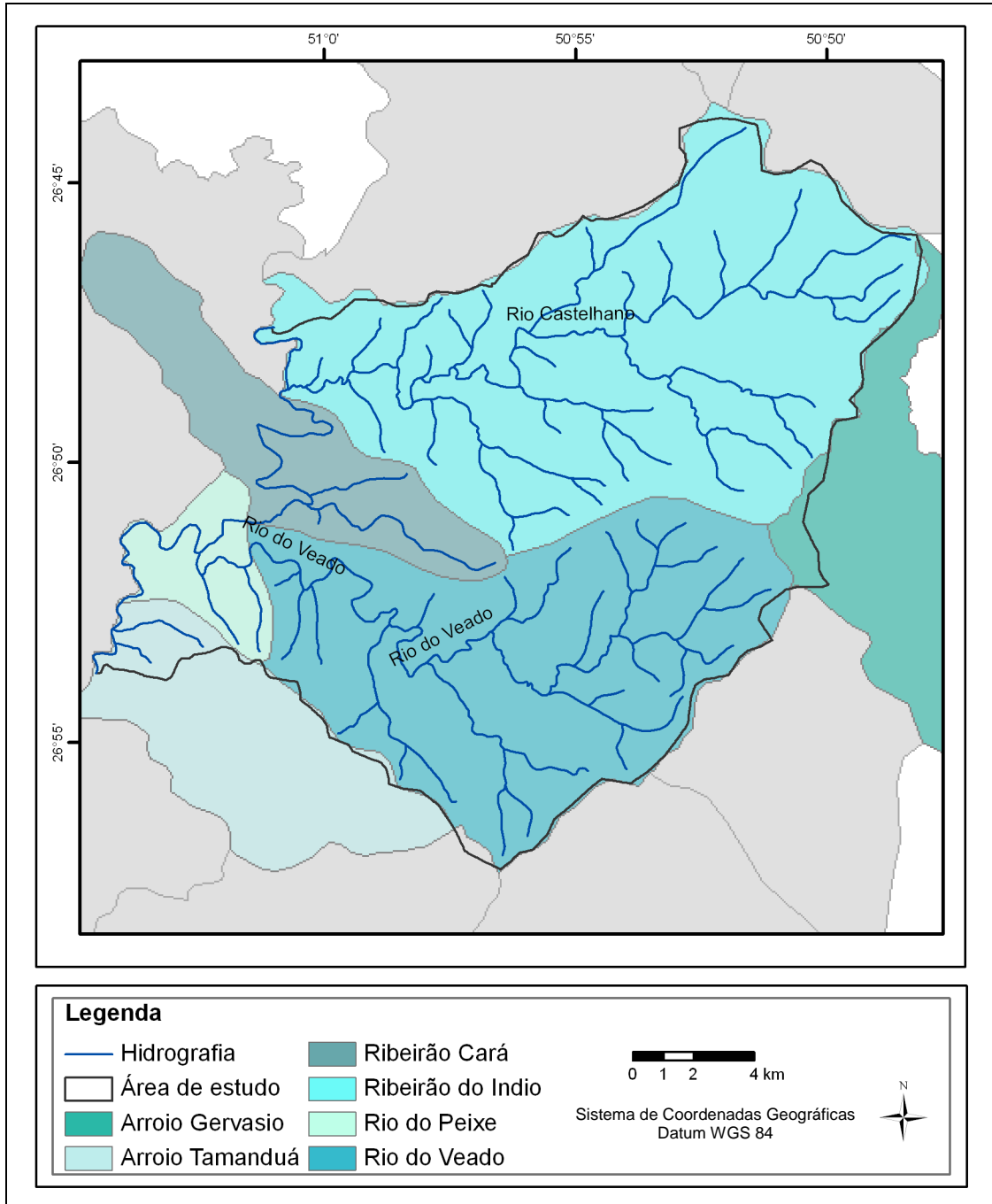


FIGURA 2.2: Sub-bacias e rede hidrográfica presentes na área de estudo.
Fonte: Rede Hidrográfica - IBGE, escala 1:100.000.

2.5. Geologia e Solos

A área está situada na parte oeste da Formação Serra Geral, caracterizada por rochas vulcânicas em derrames basálticos com inclusões efusivas ácidas (EPAGRI/CIRAM, 2010; THOMÉ, 1978).

Segundo o mapa de solos de Santa Catarina, escala 1:250.000, os solos da área (Figura 2.3) são predominantemente Nitossolos Háplicos e Cambissolos Húmicos (Tabela 2.2) (EMBRAPA SOLOS, 2005).

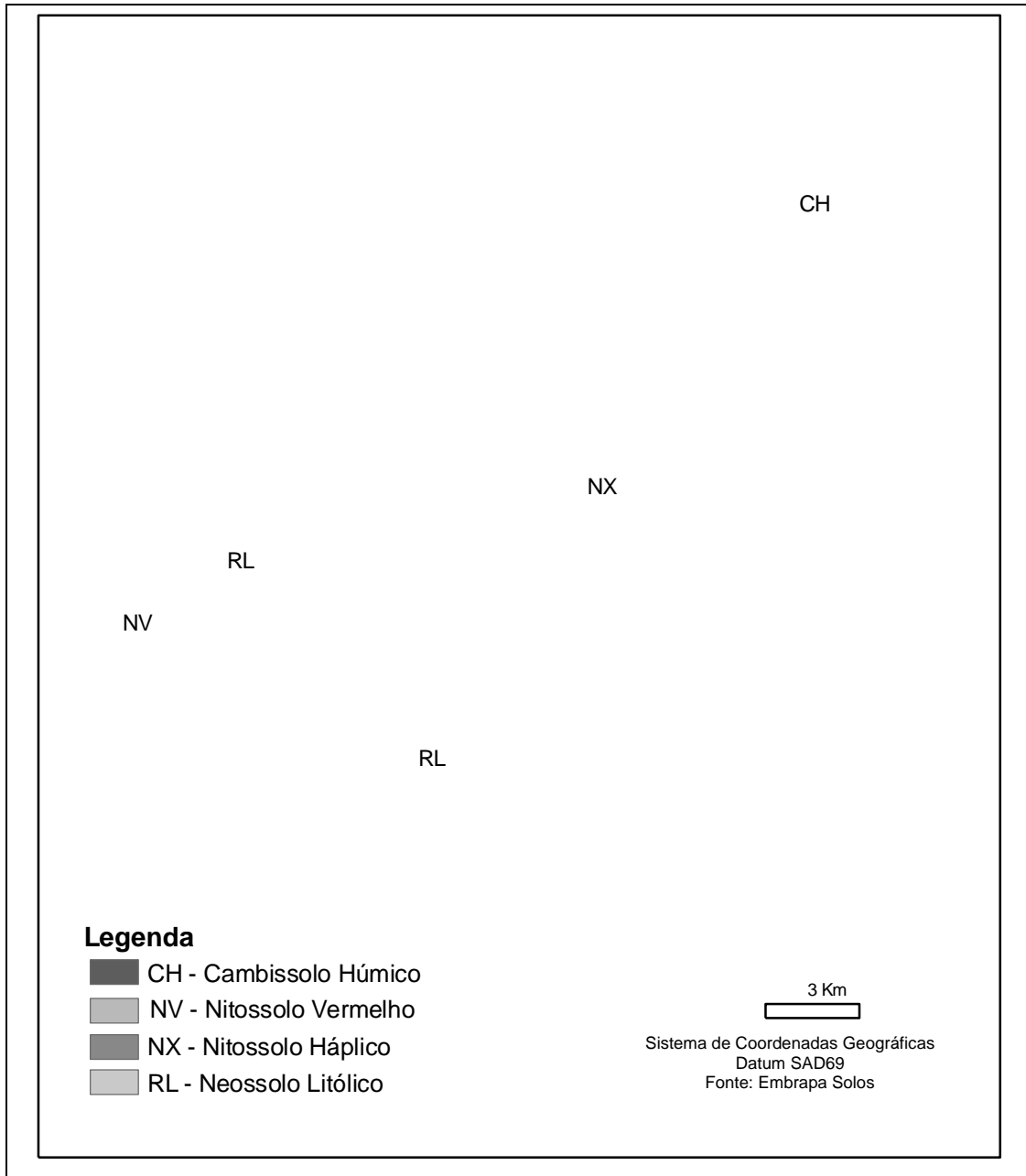


FIGURA 2.3: Mapa de solos da área de estudo.

TABELA 2.2: Superfície absoluta e relativa ocupada pelos tipos de solos na área de estudo.

Sigla	Tipo	Área (ha)	%
NX	Nitossolo Háplico	2.854	75
CH	Cambissolo Húmico	4.331	13
RL	Neossolo Litólico	3.726	11
NV	Nitossolo Vermelho	267	1

Os tipos de solo e as características gerais da área de estudo são:

- a) Cambissolo Húmico: ocorre em geral em relevo suave ondulado a ondulado e tem textura muito argilosa com pedregosidades. São solos moderadamente drenados com profundidade para rocha ou impedimento de 60 a 150 centímetros (EMBRAPA SOLOS, 2005);
- b) Neossolo Litólico: ocorre em relevo montanhoso e tem textura argilosa com pedregosidade. São solos moderadamente drenados com profundidade para rocha ou impedimento de até 60 (EMBRAPA SOLOS, 2005);
- c) Nitossolo Vermelho: ocorre em relevo suave ondulado, tem textura muito argilosa com pedregosidade e seus solos são bem drenados com profundidade para rocha ou impedimento maior que 150 centímetros (EMBRAPA SOLOS, 2005);
- d) Nitossolo Háptico: ocorre em relevo suave ondulado e ondulado, possui textura muito argilosa e apresentam boa drenagem, com profundidade para rocha ou impedimento maior que 150 centímetros (EMBRAPA SOLOS, 2005).

**3. CAPÍTULO II:
APLICAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETO NO MAPEAMENTO
DE USO E COBERTURA DA TERRA COM IMAGEM DO SENSOR AVNIR-2,
SATÉLITE ALOS**

3.1. INTRODUÇÃO

O mapeamento de uso e cobertura da terra é a base para os ramos do conhecimento que tratam do planejamento territorial, do monitoramento de desastres naturais, do levantamento de recursos naturais, de zoneamentos, de pesquisas urbanas e de acidentes ambientais, entre outros.

O método tradicional de mapeamento era o manual, feito a partir de fotografias aéreas por um fotointérprete experiente que delimita e classifica as feições no terreno. Este método é oneroso, desde a aquisição de fotografias até a mão de obra, pois requer bastante tempo para confecção e experiência do intérprete para garantir a qualidade do mapeamento.

Com a disponibilidade de imagens de satélites comerciais, a aquisição de dados para mapeamento ficou mais barata, porém o processo de mapeamento seguiu sendo bastante trabalhoso, embora com boa qualidade.

O avanço da tecnologia computacional trouxe programas automáticos, que orientados pelo usuário, mapeiam uma área em um tempo menor, mas também com menor qualidade em relação ao método anterior.

Para melhorar a qualidade do mapeamento automático, foram desenvolvidos novos programas que procuram imitar a cognição humana no delineamento de feições e sua classificação, surgindo, assim, a classificação orientada a objeto.

O objetivo do presente capítulo é mapear o uso e cobertura da terra na área de estudo e avaliar a classificação orientada a objeto no programa *eCognition*, com imagem do sensor AVNIR-2.

3.2. CLASSIFICAÇÃO DIGITAL

A classificação digital ou automática de imagens associa cada pixel da imagem a um determinado tipo de cobertura do solo, de forma semelhante ao que é feito na interpretação visual. Nesse caso, porém, são usados computadores e programas apropriados, denominados algoritmos classificadores (MOREIRA, 2007). Neste método, os níveis de cinza de cada pixel, definidos pela reflectância espectral dos objetos imageados, são identificados em classes temáticas (CROSTA, 1993). A

associação das classes temáticas com os objetos da superfície é feita através de técnicas matemáticas como reconhecimento de padrões (NOVO, 2008).

A classificação automática pode ser baseada em pixels individuais, dita classificação pixel a pixel, ou baseada em um algoritmo de segmentação de imagem que leva em conta as características espectrais de uma região com pixels similares, denominada classificação por região (JENSEN, 2009; MOREIRA, 2007)

Outra categorização da classificação digital é quanto ao algoritmo utilizado e grau de intervenção do analista no processo, podendo ser dita supervisionada ou não-supervisionada (CROSTA, 1993; NOVO, 2008; MOREIRA, 2007).

A classificação não-supervisionada é indicada para quando não existe qualquer informação prévia sobre as classes de interesse na área de estudo (NOVO, 2008; ROSA 2001). Analisando os níveis de cinza dos pixels, o algoritmo classificador é capaz de identificar agrupamentos espectrais naturais predominantes na imagem (CROSTA, 1993; MOREIRA, 2007; ROSA, 2001). A classe temática à qual cada pixel pertence é determinada *a posteriori*, após confronto do analista com informações de campo ou dados de comportamento espectral dos alvos (NOVO 2008).

A classificação supervisionada, por sua vez, é baseada em um conhecimento prévio da área e no pressuposto de que cada classe temática pode ser descrita a partir de amostras de treinamento fornecidas pelo analista (CROSTA, 1993; NOVO, 2008). Segundo Moreira (2007), nesta abordagem é necessário fazer o treinamento do algoritmo classificador a partir do reconhecimento da resposta espectral de cada uma das classes, sendo que alguns algoritmos utilizam parâmetros estatísticos (média, matriz de covariância, etc.) enquanto outros apenas os valores máximos e mínimos de cinza das amostras de treinamento.

Outra abordagem da classificação supervisionada é a orientada a objetos, que busca simular técnicas de interpretação visual através da modelagem do conhecimento para a identificação de feições, baseada na descrição de padrões identificadores, tais como, cor, textura, métrica e contexto.

Segundo Moreira (2007), os resultados da classificação digital apresentam erros devido às limitações dos algoritmos classificadores e à diversidade de comportamento espectral dos alvos. Para solucionar este problema surgiu a classificação híbrida, que reúne a classificação digital com pós-processamento pelo intérprete, visando melhorar os resultados da classificação.

Kirchner *et al.* (2002), Novo (2008) e Moreira (2007) compararam a fotointerpretação visual com a classificação digital concluindo que a fotointerpretação é superior na qualidade de classificação, no reconhecimento de padrões e formas dos objetos. Por outro lado, a classificação digital tem um processamento mais rápido e cálculos de área mais precisos. Assim, a classificação híbrida, proposta por Moreira (2007), reúne o melhor dos dois métodos: rapidez de processamento, precisão no cálculo de áreas e qualidade do mapeamento.

3.2.1. Lógica *Fuzzy*

A lógica *fuzzy* leva em consideração a natureza heterogênea e imprecisa do mundo real na classificação de um sistema, expressando-o de forma clara e simples (CAMPOS, 2005; CAZES *et al.*, 2007). Segundo Câmara *et al.* (2001) o conjunto *Fuzzy* é uma metodologia de caracterização de classes sem limites rígidos entre si. Ainda, ao contrário da lógica tradicional booleana, que expressa apenas verdadeiro e falso, a lógica *fuzzy* permite a representação de valores intermediários, ou “graus de verdade” (CAZES *et al.*, 2007).

O valor de cinza registrado em um pixel da imagem geralmente corresponde a uma combinação de elementos no terreno, tais como água, solo e vegetação. Dessa forma, o limite entre as classes presentes nesse pixel não é precisa. Assim, com a aplicação da lógica *fuzzy*, ao invés de uma única classe, cada pixel irá ter N valores de graus de participação em todas as classes, cada um associado à sua probabilidade de pertencer às classes de interesse (CAMPOS, 2005).

Em 1965, Zadeh¹ propôs uma função mais ampla de caracterização, sendo que alguns elementos são mais membros de um conjunto que outros elementos, podendo, assim, assumir um número infinito de valores no intervalo [0,1], onde o 0 indica completa exclusão e o 1 completa pertinência (citado por GOMIDE & GUDWIN 1994; STOLLE, 2008). Segundo Belchior (1997) um conjunto é definido como elementos $x \in X$, onde X é o conjunto universo, e cada elemento pode pertencer ou não a um conjunto A , onde $A \subseteq X$, nesse conjunto representado por \tilde{A} em X , cada elemento x pode ter um grau de pertinência, no intervalo real [0, 1], em decorrência de sua função de pertinência.

¹ ZADEH, L. Fuzzy Sets. **Information and control**. v. 8, p. 338-353, 1965.

A lógica *fuzzy* é utilizada nos mais diferentes ramos da ciência, como por exemplo: no apoio à tomada de decisões em negócios empresariais; na avaliação da qualidade de programas computacionais; na identificação de cores para classificação de pixels de imagens; na busca paralela e adaptativa baseada na evolução das espécies; e no zoneamento ambiental de bacias hidrográficas (BISPO, 1998; BELCHIOR, 1997; BONVENTI & COSTA, 2000; PACHECO, 1999; RUHOFF *et al.*, 2005).

Na análise digital de imagens, Campos (2005) cita dois trabalhos como pioneiros de aplicação da lógica *fuzzy*. O primeiro aplicou um algoritmo de classificação supervisionada em imagens Landsat TM, usando lógica *fuzzy* obtendo aumento na acurácia total (Wang², 1990). O outro avaliou a aplicabilidade da técnica de representação da vegetação no Reino Unido, ao longo de um gradiente, utilizando o algoritmo *Fuzzy-C Means*; nos resultados as funções com participação *fuzzy* apresentaram acurácia de 100% (Foody³, 1992).

Segundo Bispo (1998) a técnica de trabalho com aplicação da lógica *fuzzy*, em muitos casos supera os resultados obtidos pelas técnicas estatísticas e probabilísticas convencionais.

3.2.2 O Satélite ALOS

O satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) faz parte do programa Japonês de Observação da Terra, que possui dois focos de estudo: os de observação atmosférica e marinha e os de observação terrestre. Os satélites de observação terrestre, precursores do ALOS, foram o *Japanese Earth Resources Satellite-1* (JERS-1) e o *Advanced Land Observing Satellite* (ADEOS), que foram desenvolvidos para utilização na cartografia, observação regional, monitoramento de desastres e levantamentos de recursos. (JAXA, 2010).

O satélite ALOS foi lançado pela Agência Espacial Japonesa (JAXA) em janeiro de 2006 com a missão de obter imagens de todo o planeta. Com 4 toneladas

² WANG, F. Improving remote sensing image analysis through fuzzy information representation. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v.56, n.8, p.1163-1169, ago. 1990

³ FOODY, G. M. A fuzzy sets approach to the representation of vegetation continua from remotely sensed data: an exemple from lowland heath. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 58, n. 2, p. 221-225, fev. 1992.

o satélite possui órbita circular, heliossíncrona a 691,65 km de altura, com período de revisita de 46 dias e carrega a bordo três sensores, sendo dois ópticos, PRISM (*Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping*) e o AVNIR-2 (*Advanced Visible and Near-Infrared Radiometer – Type 2*), e o microondas PALSAR (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*) (JAXA, 2010).

O sensor PALSAR, radar de abertura sintética, é um sensor microondas ativo que opera na banda L, capturando imagens terrestres independentemente das condições climáticas e de iluminação (JAXA, 2010). As imagens do PALSAR têm resolução espacial variando de 7 a 100 m e largura de faixa de 20 a 350 km. Este sensor possui dois modos de imageamento: o convencional com resolução espacial mais alta e o modo de observação ScanSAR, que permite a aquisição de imagens com largura de faixa de 250 a 350 km e com resolução espacial de 100 m (NOVO, 2008). O desenvolvimento do PALSAR foi um projeto conjunto entre a JAXA e a JAROS - *Japanese Resources Observation System* (JAXA, 2010).

O PRISM (Tabela 3.1) é um radiômetro pancromático, com resolução espacial de 2,5 m no nadir. Possui o modo *triplet* de imageamento, constituído por três sistemas ópticos independentes com visada frontal, no nadir e para trás, permitindo a obtenção de pares estereoscópicos ao longo da faixa de imageamento. Tal característica permite a construção do Modelo Digital de Elevação (DEM) com boa acurácia. O sensor possui uma banda na região do visível, com resolução radiométrica de 8 *bits*, resolução espacial de 2,5 m e largura de faixa entre 35 km no modo *triplet* e 70 km no nadir (JAXA, 2010).

O AVNIR-2 (Tabela 3.1) é um sensor multiespectral que opera com três bandas na região do visível e uma banda no infravermelho; possui resolução espacial de 10 metros, resolução radiométrica de 8 *bits* e faixa de imageamento de 70 km. Foi desenvolvido para mapeamentos temáticos com ênfase em uso e cobertura da terra (EMBRAPA, 2010).

Imagens do sensor AVNIR-2 foram usadas para mapear o uso e a cobertura da terra e análise orientada a objeto para mapeamento dos estágios sucessionais da vegetação em escala 1:25.000 do Bioma Mata Atlântica; a fusão de imagens dos sensores PRISM e AVNIR-2 foi utilizada para a identificação das Áreas de Preservação Permanente; teste de diferentes métodos de classificação digital para mapeamento de vegetação arbórea e outros usos do solo em área de FOM (LUZ, 2009; MORAIS *et al.*, 2009; ROSÁRIO *et al.*, 2009; SOARES *et al.*, 2009).

Devido a um acordo de cooperação científica assinado em outubro de 2006, entre o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e a *Alaska Satellite Facility* (ASF), distribuidor de imagens nas Américas, o IBGE tornou-se responsável pela distribuição das imagens ALOS para os órgãos do governo, instituições de pesquisa e demais usuários não comerciais do Brasil, comercializando as imagens de qualquer um dos três sensores por US\$ 125, a cena (IBGE, 2010).

A previsão era que o satélite ALOS imageasse a Terra somente até 2009, porém devido ao sucesso da operação, o programa terá continuidade. O Ministério do Meio Ambiente do Brasil firmou, em 2008, um acordo de cooperação para utilização de imagens ALOS para combate a crimes ambientais na Amazônia brasileira (ONO, 2010).

TABELA 3.1: Características dos sensores AVNIR-2 e PRISM.

	Comprimento de onda (μm)	Resolução espacial (m)	Resolução radiométrica (<i>bits</i>)	Largura de Faixa (km)
AVNIR-2 - B1	0,42 – 0,50	10	8	70
AVNIR-2 - B2	0,52 – 0,60			
AVNIR-2 - B3	0,61 – 0,69			
AVNIR-2 - B4	0,76 – 0,89			
PRISM Pancromática	0,52 – 0,77	2,5	8	35 (triplet) 70 (nadir)

B1, B2, B3, B4 – bandas 1, 2, 3 e 4 respectivamente.

No presente estudo foram utilizadas as imagens dos sensores: AVNIR-2 e PRISM, imageadas em 2006, em 25 de setembro e 10 de novembro, respectivamente.

Para georreferenciamento das imagens, foram coletados em campo pontos de controle com um GPS topográfico, submétrico por posicionamento relativo utilizando método estático, pós-processado com linha de base de 80 km de distância. Os pontos foram coletados utilizando o sistema de projeção UTM (*Universal Transverse Mercator*), *datum* WGS84. A correção geométrica foi efetuada no programa ENVI 4.5, sendo que, para a imagem AVNIR-2, foram utilizados 33 pontos de controle, distribuídos de maneira uniforme, pela imagem. O Erro Médio Quadrático (RMS) foi de 0,98 pixel (9,8 metros); o recomendado é que o RMS seja inferior a 1 pixel (CROSTA, 1993). Na imagem PRISM, os 29 pontos de controle utilizados resultaram em um RMS de 1,03 pixel (2,57 metros).

Para retificação foi aplicado o polinômio de 3º grau e para a reamostragem foi utilizado o algoritmo vizinho mais próximo. A escolha do grau do polinômio foi em função do relevo acidentado da região.

Segundo Novo (2008) a seleção do grau do polinômio depende do número de pontos de controle disponíveis e sua distribuição espacial. O número mínimo de pontos de controle recomendados para um polinômio de 1º grau é de 6 pontos, para o de 2º grau 10 pontos, e para o de 3º grau 14 pontos (INPE, 2010).

O método de reamostragem pelo vizinho mais próximo garante que o valor escolhido seja um dos valores originais do pixel mais próximo, ou seja, não gera novos valores interpolados (CENTENO, 2009; NOVO, 2008). Segundo Crosta (1993), este método é o mais simples, tendo como vantagens a rapidez de processamento e a preservação dos valores originais de níveis de cinza, o que é o recomendado para imagens que serão submetidas a uma classificação automática.

3.3. CONCEITOS E APLICAÇÕES DA CLASSIFICAÇÃO ORIENTADA A OBJETO

A classificação é dita orientada a objeto por utilizar a segmentação da imagem antes da classificação; assim, cada polígono é considerado um objeto independente (LUZ *et al.*, 2009; RIBEIRO *et al.*, 2002). Este método possibilita o uso convencional da técnica vizinho mais próximo a partir da resposta espectral (definida por amostras de treinamento), além da aplicação de modelos *booleanos* ou *fuzzy* que podem ser traçados em um ambiente interativo (CRUZ *et al.*, 2007).

Na classificação orientada a objeto, além das informações espectrais, podem ser utilizadas outras informações ou atributos adicionais como forma, textura, relacionamento entre objetos e sua vizinhança (RIBEIRO *et al.*, 2002). A análise de dados orientados a objeto de imagens digitais está disponível em vários aplicativos do mercado, entre eles o eCognition (RIBEIRO *et al.*, 2002).

3.3.1 Segmentação de imagens

O algoritmo de classificação do eCognition tem como primeiro passo a segmentação da imagem, para delimitar os objetos à serem classificados.

A segmentação simula o fotointérprete, dividindo a imagem em objetos significativos considerando a cobertura terrestre. Para isso utiliza informação espacial e espectral do pixel e seus vizinhos, gerando polígonos com grupos de pixels semelhantes (CAMPOS, 2005; LUZ *et al.*, 2009; MOREIRA, 2007).

Segundo Moreira (2007) a segmentação pode ser efetuada por crescimento de regiões, por detecção de borda ou pela combinação dos dois métodos.

A segmentação por crescimento de regiões inicia uma região constituída por um pixel ou grupo de pixels. O segmentador vai calculando os atributos espaciais (média, variância e textura) e faz a agregação de regiões adjacentes em função dos critérios de similaridade e de área que são fornecidos pelo analista (MOREIRA, 2007). O critério de similaridade tem como base um teste estatístico que testa a média entre regiões, depois divide a imagem em um conjunto de sub-imagens para, então, fazer a união entre as regiões, segundo um limiar de agregação definido, ou seja, duas regiões só serão agregadas se: forem similares pelo teste das médias; a similaridade satisfizer o limiar estabelecido pelo analista; e estiverem adjacentes uma à outra (INPE, 2010)

A segmentação por detecção de bordas, ou descontinuidade, consiste em subdividir a imagem com base em mudanças bruscas nos níveis de cinza; as principais áreas de interesse são os pontos isolados e localização de linhas e bordas na imagem (CAMPOS, 2005). A detecção de bordas é feita pelo filtro de Sobel, que considera os gradientes de nível de cinza da imagem para gerar uma imagem de intensidade de borda. O algoritmo calcula um limiar para procurar bordas e ao encontrar um pixel com valor maior que o limiar, segue a procura de uma nova borda (INPE, 2010).

O programa eCognition possui a segmentação multirresolução que, baseada nos parâmetros de escala controlam o tamanho dos segmentos, e os critérios de homogeneidade definem as relações cor/forma e compacidade/suavidade dos objetos (KIRCHNER *et al.* 2002; LUZ *et al.*, 2009; MONTEIRO *et al.*, 2007). Tais parâmetros variam de 0 a 1 (LUZ *et al.*, 2009). Segundo Baatz & Schäpe⁴ (2000, citado por MONTEIRO *et al.*, 2007) a cor define a porcentagem dos níveis de cinza

⁴ BAATZ, M.; SCHÄPE, A. **Multiresolution Segmentation – an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation.** In: ANGEWANDTE GEOPGRAPHISCHE INFORMATIONVERARBEITUNG, 12. Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2000, Karlsruhe, Herbert Wichmann Verlag: 12-23. Disponível em: www.definiens-imaging.com/documents. Acesso em: 28 de mar. 2005.

que contribui para o critério de homogeneidade total e a forma – utilizando os parâmetros de suavização e compactação – aumenta a qualidade da segmentação dos objetos através da sua uniformidade.

A segmentação de imagens em multirresoluções, ou multiescalas, tem por objetivo estabelecer um sistema hierárquico de objetos relacionados entre si, em diferentes níveis de segmentação (LANG, 2007). A segmentação é iniciada com pixels-semente que, em etapas subseqüentes, se unem para formar objetos. Objetos pequenos são agrupados para formar objetos maiores e mais simplificados em outro nível hierárquico (PINHEIRO & KUX, 2007). Os objetos da imagem são organizados (Figura 3.1) de forma que cada um conhece sua relação com seus superobjetos (níveis superiores) e seus subobjetos (níveis inferiores de segmentação) (DEFINIENS, 2003). Por exemplo, a classe rasteira conhece seus subobjetos, campo e agricultura, bem como seu superobjeto vegetação.

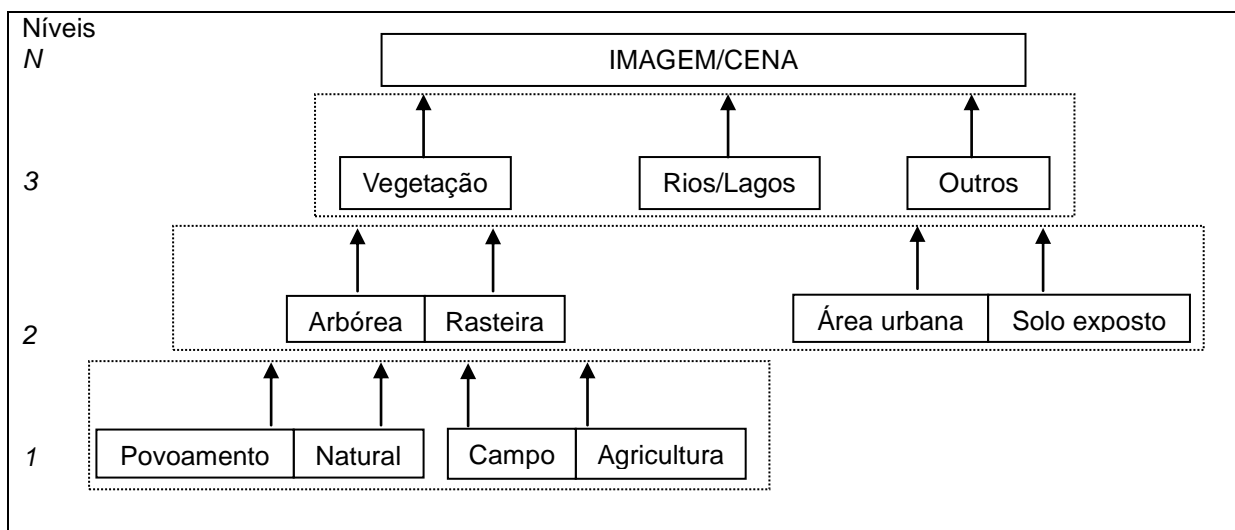


FIGURA 3.1: Segmentação multiescala com seus níveis hierárquicos.
Fonte: Adaptado de ANTUNES, 2003

Segundo Kirchner *et al.* (2002), a segmentação é um processo empírico, pois não existe uma técnica formal; os parâmetros utilizados dependem da aplicação e da imagem utilizada. A segmentação de uma imagem deve ser feita testando-se diferentes parâmetros, até que os objetos de interesse sejam isolados (LUZ *et al.*, 2009; WOODS⁵ *et al.*, 2000 *apud* KIRCHNER *et al.* 2002).

⁵ WOODS, R. E., GONZALEZ, R. C. **Processamento de Imagens Digitais**. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 2000.

Embora o eCognition permita a classificação em diferentes níveis de segmentação, no presente estudo, foi empregado somente um nível de segmentação para a classificação, ou seja, não houve relacionamento contextual entre os segmentos em diferentes níveis de hierarquia.

Foram efetuadas segmentações em níveis de 1 a 5 com alteração no fator de escala de 10, 13, 15, 18 e 20, respectivamente. Os fatores de cor/ forma e compacidade/suavidade foram constantes de 0,5 para todos os níveis.

Os cinco níveis de segmentação foram analisados visualmente para a escolha do que melhor delimitasse objetos na imagem. A avaliação levou em consideração o tamanho e a forma dos objetos resultantes, compatíveis com a escala e os objetivos do mapeamento. O nível 1, por melhor separar as construções rurais de seu entorno, foi o escolhido para a classificação.

3.3.2. Classificação orientada a objetos

Após a escolha do melhor nível de segmentação para a área de estudo, foram definidas as classes de uso e cobertura da terra, com base em conhecimento *a priori* da área de estudo, sendo elas: agropecuária, água, áreas construídas, floresta nativa e reflorestamento, além das classes provisórias nuvem e sombra. A Tabela 3.2 descreve as classes de uso e cobertura da terra com base nas classes do Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA).

Os rios e as estradas somente são diferenciados da vizinhança quando suas dimensões são capturadas em polígonos. As classes nuvem e sombra tiveram suas classes de uso e cobertura definidas na pós-classificação, por contexto/adjacência e reambulação em campo.

Com base na segmentação e no conhecimento prévio da área foi coletado um conjunto de amostras de treinamento para cada classe, onde cada polígono gerado pela segmentação era considerado uma amostra.

TABELA 3.2: Classes de uso e cobertura da terra.

Classe	Descrição
Agropecuária	<ul style="list-style-type: none"> - culturas temporárias de frutíferas arbustivas, verduras, legumes ou cereais; - horticultura, áreas com espécies olerícolas, flores e plantas ornamentais; - áreas com plantios de espécies forrageiras; - pastagens, naturais ou plantadas; - campo nativo, formação campestre natural; - áreas em pousio; - solo exposto; - estradas rurais, não pavimentadas.
Água	<ul style="list-style-type: none"> - lagos naturais; - açudes; - rios.
Áreas construídas	<ul style="list-style-type: none"> - construções rurais; - estradas pavimentadas; - áreas urbanas.
Floresta nativa	- formações nativas de porte arbóreo.
Reflorestamento	<ul style="list-style-type: none"> - plantios homogêneos com espécies arbóreas nativas ou exóticas, com finalidades madeireiras ou não-madeireiras; - reforma de talhões.
Nuvem	- classes definitivas serão atribuídas pós-classificação.
Sombra	- classes definitivas serão atribuídas pós-classificação.

As amostras de treinamento apontam o comportamento espectral das classes em relação a um determinado parâmetro (descriptor). Para análise desses comportamentos foram pré-selecionados (Tabela 3.3) alguns descritores para identificação daqueles com maior potencial de discriminação entre classes.

TABELA 3.3: Descritores pré-selecionados (DEFINIENS, 2003).

Descritor	Detalhamento
Brilho	Soma do valor médio dos níveis de cinza de todas as bandas espectrais, dividido pelo número de bandas espectrais que formam um objeto.
Contraste	Média do valor mínimo de nível de cinza do objeto subtraído da média do seu valor máximo. Para obter o valor máximo e mínimo, para cada objeto é efetuada a comparação de todas as bandas umas com as outras e o resultado é dividido pelo valor do brilho.
Média	Valor médio dos níveis de cinza calculado a partir de todos os pixels em uma determinada banda, dividido pelo somatório dos pixels que formam um polígono.
Razão	Razão de uma banda é o valor médio dos níveis de cinza desta banda, dividido pela soma dos valores médios de todas as bandas espectrais que formam um polígono. Ela descreve a predominância de uma determinada banda em relação às demais.
Diferença média entre vizinhos	Para cada objeto vizinho a um polígono é determinada a diferença média por banda, proporcionalmente ao comprimento limite entre os objetos.

A partir dos descritores pré-selecionados foram gerados gráficos com as funções de pertinências que, são calculadas com base nas amostras de treinamento de cada classe para cada descritor. Todos os descritores pré-selecionados para cada classe tiveram suas funções de pertinência editadas manualmente para modelar melhor as classes. A função de pertinência indica o grau de afinidade de um objeto em determinada classe de uso e cobertura, sendo que esse valor varia de 0 (complete exclusão) a 1 (completa pertinência) (BELCHIOR, 1997).

Após a modelagem das funções de pertinência, cada um dos descritores foi comparado, visualmente, entre pares de classes. Foi avaliada a distribuição das classes nos descritores e o potencial de separabilidade entre as classes, comparando o grau de confusão entre elas (Figura 3.2).

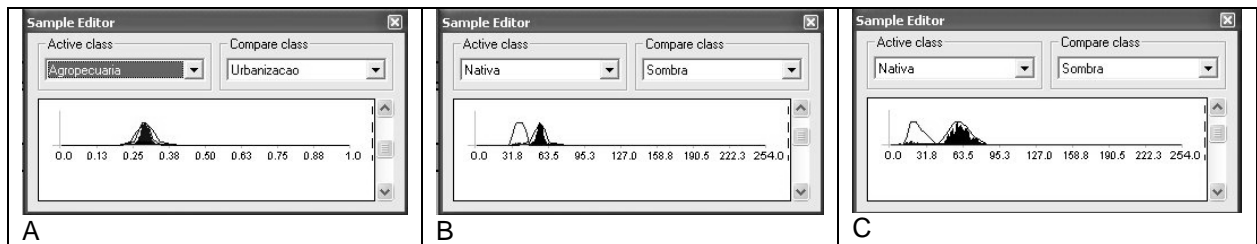


FIGURA 3.2: Exemplo de comparação de descritores entre classes: A) Presença de confusão; B) Confusão rara; C) Ausência de confusão.

A confusão entre classes (Figura 3.2.A) é dita quando duas classes têm os limites da função de pertinência bem próximos, visualmente apresentados pela sobreposição dos histogramas. A confusão é considerada rara (Figura 3.2.B) quando duas classes têm uma pequena sobreposição em um dos limites da função de pertinência. Quando não há nenhuma sobreposição de limites na função de pertinência não há confusão (Figura 3.2.C).

Analisando os descritores por pares de classes, foram selecionados, para cada classe, no mínimo três descritores (Tabela 3.4) que não apresentassem confusão ou apenas confusão rara com outras classes.

Na comparação das funções de pertinência as classes que mais apresentaram confusão entre si foram: floresta nativa e reflorestamento; nuvem e área urbana; e água e sombra.

A confusão entre floresta nativa e reflorestamento pode se explicar pelo fato de que ambos são compostos por espécies arbóreas, adensadas e, geralmente, adultas, tendo assim respostas espectrais semelhantes.

A confusão entre área construída e nuvens é devido à resposta espectral semelhante entre essas classes que nesse caso apresentam alta reflectância.

A água e a sombra de nuvens apresentam valores de reflectância baixos, causando confusões entre as funções de pertinência dos respectivos descritores.

TABELA 3.4: Descritores selecionados para a classificação, por classe de uso.

Classe	*Descritores selecionados	Limiares
Agropecuária	Brilho	35/120
	Média banda 3	35/120
	Razão banda 4	0,13/0,38
Água	Média da diferença entre vizinhos banda 4	-45/5
	Média banda 3	20/110
	Razão banda 1	0,3/0,45
	Razão banda 3	0,15/0,3
	Razão banda 4	0,04/0,25
Floresta nativa	Contraste	0,4/1
	Média banda 3,	25/63
	Razão banda 1	0,24/0,42
	Razão banda 4	0,13/0,40
Nuvem	Média banda 1	110/255
	Média banda 2	90/255
	Média banda 3	75/255
	Média banda 4	70/180
Reflorestamento	Contraste	0,5/1,1
	Média banda 3	20/40
	Razão banda 2	0,19/0,26
Sombra	Brilho	28/46
	Contraste	0,9/1,6
	Média banda 1	59/75
	Média banda 2	27/48
	Média banda 3	14/35
	Média banda 4	10/40
	Razão banda 1	0,39/0,51
Áreas construídas	Brilho	60/255
	Contraste	0/1
	Razão banda 3	80/160
	Média banda 1	55/255
	Média banda 2	0,18/0,38

* Conflito raro ou ausente.

A presença de confusão entre classes dificultou a seleção de descritores, mas ainda foi possível escolher alguns com ausência de confusão, exceto para as classes água e área construída, que tiveram um número maior de descritores selecionados por apresentarem confusão em todas as funções de pertinência.

Após a seleção dos descritores que apresentaram menor confusão entre classes, aplicou-se a classificação propriamente dita, utilizando o operador de lógica *fuzzy* de média geométrica.

3.3.3. Cálculo de acuracidade

As técnicas utilizadas na classificação orientada a objeto procuram imitar o fotointérprete no processo de mapeamento, utilizando parâmetros como forma, textura e contexto, além da aplicação da lógica *fuzzy*. Entretanto, por ser um método baseado na coleta de amostras de treinamento, ainda ocorrem erros de origem humana e computacional na classificação.

Os erros humanos são inerentes à escolha da escala de segmentação, à coleta de amostras de treinamento, à seleção dos descritores, entre outros. Os erros computacionais ocorrem durante o processo de lançamento de pixels-semente na segmentação, na inflexibilidade para tratamento de dados que sejam exceções, ou com pouca representatividade, entre outros.

Visando quantificar os erros na classificação, para determinar a qualidade do mapeamento, torna-se necessária a avaliação da sua acurácia (MOREIRA, 2007; NOVO, 2008).

Para a análise da acurácia foram coletadas amostras de referência, ou verdade de campo, para todas as classes. Segundo Moreira (2007), para o cálculo de acurácia, a amostra de referência deve conter, no mínimo, 50 unidades de cada classe de uso, distribuídas de forma aleatória.

A matriz de confusão (erros) para a imagem classificada (Tabela 3.5) foi construída com base no número de polígonos amostrados. A acurácia geral, calculada pela razão entre a soma da diagonal principal e o total de amostras coletadas, foi de 66,6%. Antunes (2003) fez a classificação de ambiente ciliar em imagens Ikonos e obteve acurácia geral de 61,2%.

TABELA 3.5: Matriz de confusão para cálculo de acurácia da classificação.

Dados da classificação bruta	Dados do mapa de referência						Total linha	
	Agr.	Águ.	Áre.	Flo.	Nuv.	Ref.		Som.
Agropecuária	42	0	16	2	2	2	0	64
Água	3	38	1	2	0	0	12	56
Área construída	34	10	46	0	7	3	0	100
Floresta nativa	0	0	0	41	0	32	0	73
Nuvem	0	0	8	0	59	0	0	67
Reflorestamento	0	0	0	12	0	35	1	48
Sombra	0	10	0	0	0	0	52	62
Total coluna	79	58	71	57	68	72	65	313

A classe nuvem, no geral, apresentou os menores erros de omissão e comissão, 13,2 e 11,9%, respectivamente (Tabela 3.6). Por outro lado, os maiores erros de omissão e comissão foram, respectivamente, reflorestamento com 51,4 % e agropecuária com 46,8%.

TABELA 3.6: Erros de omissão e comissão para as classes de uso e cobertura.

Classe	Erro (%)	
	Omissão	Comissão
Agropecuária	46,8	34,4
Água	34,5	32,1
Área construída	35,2	54,0
Floresta nativa	28,1	43,8
Nuvem	13,2	11,9
Reflorestamento	51,4	27,1
Sombra	20,0	16,1

As classes água, nuvem e sombra tiveram seus erros de omissão/comissão balanceados, por volta de 33%, 12% e 18%, respectivamente. As outras classes apresentaram valores com discrepância superior a 10%.

O índice Kappa, por levar em consideração todos os elementos da matriz, é o método que melhor qualifica o desempenho do classificador, pois elimina falsas interpretações (MOREIRA, 2007).

Na presente pesquisa o índice Kappa foi de 0,61. Landis & Koch⁶ (1977, citado por MOREIRA, 2007) classificam como muito boa a qualidade do mapa temático proveniente de um valor Kappa entre 0,6 – 0,8.

Na abordagem da classificação orientada a objetos foram encontrados os seguintes valores de Kappa: 0,64, calculado para toda a área de estudo de uma imagem Ikonos classificada para detecção de malha viária (NOBREGA, 2007); 0,97 na classificação de imagens Landsat analisando diferentes tipologias florestais da Floresta Amazônica (CAMPOS, 2005); 0,94 no mapeamento de uso e cobertura da terra com imagens Quickbird (PINHEIRO & KUX, 2007); de 0,502 a 0,759 no mapeamento da cobertura do solo em cinco bairros de São José dos Campos (PINHO *et al.*, 2007).

⁶ LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, v. 33, n. 1, p. 159-74, 1977.

3.4. EDIÇÃO VETORIAL DA CLASSIFICAÇÃO

O mapa proveniente da classificação orientada a objetos, pelo seu índice Kappa, é considerado muito bom, porém analisando visualmente a classificação é possível ver polígonos atribuídos erroneamente a determinadas classes de uso e cobertura. Segundo Moreira (2007), para melhorar a qualidade do mapa final, pode ser aplicada a classificação híbrida, onde, o intérprete edita de forma manual polígonos não-classificados ou incorretos.

No eCognition, o resultado da classificação foi armazenado em formato vetorial. A edição do mapa pós-classificação foi efetuada em duas etapas. A primeira consistiu na edição dos polígonos gerados na segmentação usando o programa ArcGIS tendo a imagem AVNIR-2 ao fundo e o vetor da classificação sobreposto. Assim foi possível efetuar a união de polígonos vizinhos pertencentes à mesma classe, conferir visualmente as classes e quando necessário, corrigi-las. Na segunda etapa o mapa editado foi utilizado para uma reambulação em campo visando a verificação e eventual correção de polígonos cujo uso e cobertura constituíam dúvidas e, principalmente, áreas com nuvens e sombra. Assim obteve-se o mapa híbrido de uso e cobertura da terra.

Na classificação híbrida com a imagem AVNIR-2, poucas estradas foram mapeadas, devido à resolução espacial da imagem. Entretanto pelo importante papel que as estradas desempenham em relação à dinâmica e vulnerabilidade de paisagens seu mapeamento foi efetuado a partir da imagem PRISM, com a edição manual de um vetor tipo linha. Neste vetor foram editadas estradas principais e secundárias e em um campo da tabela de atributos foi registrada a metade da largura média de cada estrada. Para criar um vetor de área, foi aplicado, no arquivo de linhas, um *buffer* com largura definida pelo valor correspondente na respectiva tabela de atributos.

Após a união dos mapas híbrido e de estradas foi possível elaborar um mapa final de uso e cobertura da terra (Figura 3.3). Na área de estudo observa-se o predomínio de atividades antrópicas (65% da área), das quais a classe agropecuária representa 39% de todo o uso e área construída apenas 2%. Floresta nativa, incluindo todos os estágios sucessionais, ocupa 33% da área (Tabela 3.7).

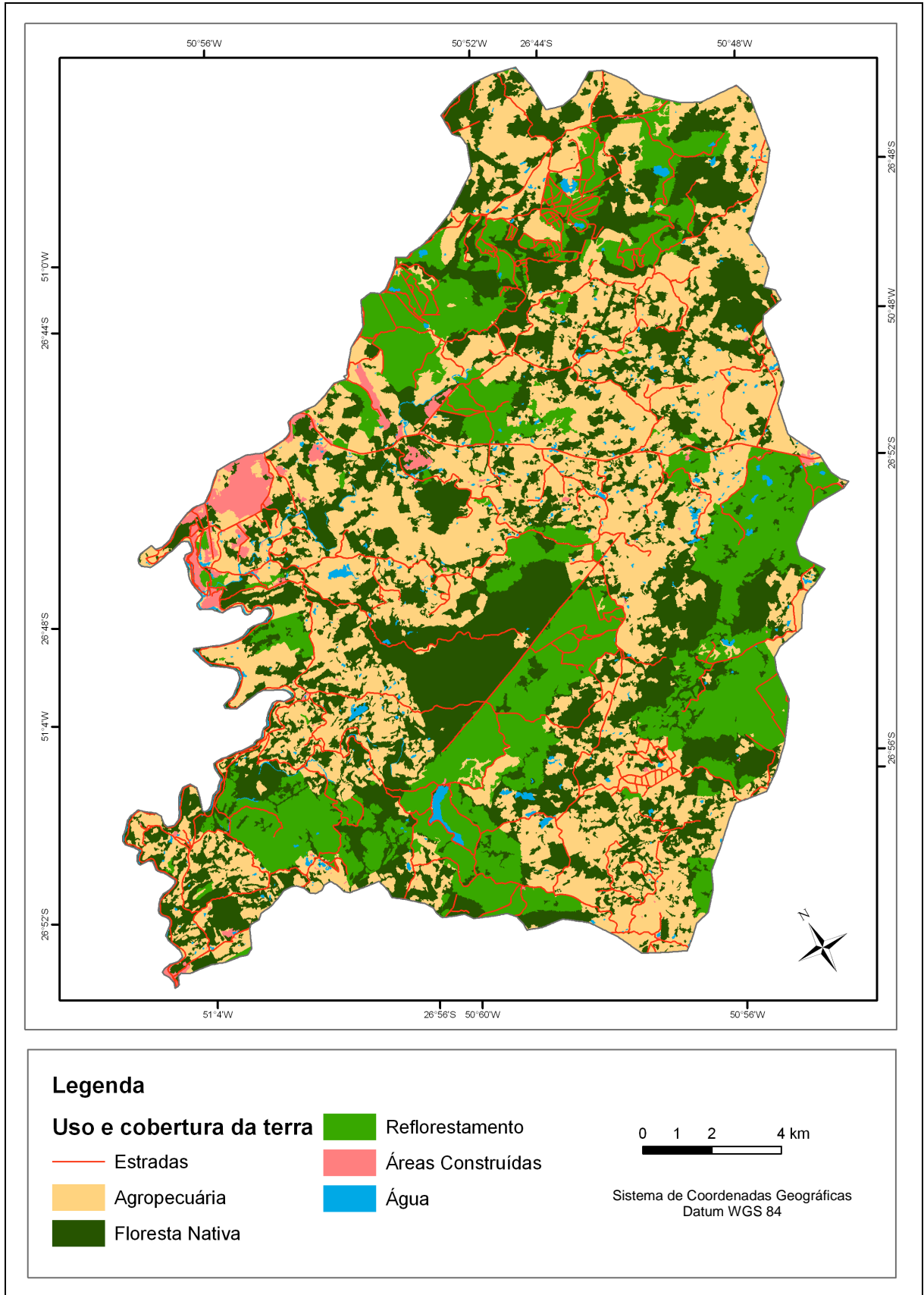


FIGURA 3.3: Mapa de uso e cobertura da terra da área de estudo.

TABELA 3.7: Área correspondente ao uso e cobertura da terra.

Classe	Área (ha)	Área (%)
Agropecuária	13.200	39
Floresta nativa	11.242	33
Reflorestamento	8.058	24
Área construída	614	2
Água	495	1
Estradas	303	1

O uso e cobertura da terra predominantes na área por município são: agropecuária em Caçador e Fraiburgo, floresta nativa em Rio das Antas e reflorestamento em Lebon Régis.

Na Reserva, de acordo com este mapeamento, o uso e cobertura da terra (Tabela 3.8) são representados predominantemente de floresta nativa (96,7%), sendo que essa área florestal ocupa 3,43% da área de estudo.

TABELA 3.8: Uso e cobertura da terra na Reserva Florestal Embrapa/Epagri.

Classe	Área (ha)	Área (%)
Floresta nativa	1.154,8	96,7
Agropecuária	32,2	2,7
Estrada	3,9	0,3
Água	3,7	0,3
TOTAL	1.194,5	100

No mapeamento de uso e cobertura da terra da RFEE, realizado por Dlugosz (2005), floresta nativa representou 97% da área, agropecuária 2,8% e água 0,25. No referido estudo o autor utilizou classificação orientada a objeto em imagens Ikonos (resolução espacial de 4 m), portanto as classes de uso e cobertura eram mais detalhadas.

Kurasz (2005) refinou a classificação efetuada por Dlugosz no mapeamento da Reserva, e obteve 96,7% de área com floresta nativa, 3,1% com agropecuária e 0,25% com água.

A junção da classificação digital com o pós-processamento manual – método híbrido – aprimora e otimiza o mapeamento de uso e cobertura da terra. A otimização é obtida pelo método automático que classifica de 50% a 80% das feições do mapeamento (KIRCHNER *et al*, 2002; MOREIRA, 2007). O aprimoramento é observado em dois níveis: na delimitação dos polígonos para cálculo de áreas e na atribuição de classes aos objetos. O uso da segmentação, pela classificação digital, assegura a não existência de vetores com áreas sobrepostas como ocorre no método manual, por outro lado, a atribuição certa das classes de uso e cobertura para cada polígono é assegurada pela análise visual feita

pelo intérprete via método manual (KIRCHNER *et al*, 2002; MOREIRA, 2007; NOVO, 2008).

3.5. CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

A imagem AVNIR-2 mostrou-se adequada para o mapeamento de uso e cobertura da terra no grau de detalhamento exigido deste trabalho, em função de suas resoluções espectrais e espaciais.

O uso da classificação orientada a objeto neste mapeamento resultou em um mapa qualificado como muito bom pelo índice Kappa, porém algumas classes apresentaram erros maiores que o desejado, sendo necessária a correção por meio de interpretação e edição visual.

A aplicação do método híbrido, classificação orientada a objeto e edição visual, facilitou e melhorou o mapeamento pois, o tempo de delimitação das feições e atribuição de suas respectivas classes foi abreviado pela classificação digital. Por outro lado, a edição pós-classificação assegurou a correta atribuição de classe a cada polígono, melhorando a acurácia do mapeamento.

O uso e a cobertura predominantes na área de estudo são caracterizados por atividades antrópicas, embora as áreas com floresta nativa em todos os estágios sucessionais representem cerca de um terço da área total.

Em um novo mapeamento pela classificação orientada a objetos, sugere-se testar a utilização dos níveis hierárquicos e outros descritores, que considerem, por exemplo, a forma, a textura e o contexto dos objetos.

**4.CAPÍTULO III:
ANÁLISE DA PAISAGEM UTILIZANDO SIG**

4.1. INTRODUÇÃO

Estima-se que as áreas de Floresta Ombrófila Mista representam, hoje, de 2 a 4% de sua área original (GUERRA *et al.*, 2002). A maioria dos fragmentos remanescentes sofreu exploração seletiva de madeira e, por isso não apresentam as características originais da tipologia.

A fragmentação de florestas pode levar à extinção e/ou à perda de variabilidade genética das espécies, como é o caso da *Araucaria angustifolia*, (árvore símbolo da FOM) que está na lista do IBAMA de espécies ameaçadas de extinção.

A principal forma de entender a dinâmica da fragmentação emprega estudos de ecologia da paisagem buscando determinar a relação dos fragmentos com a matriz onde estão inseridos.

Este capítulo tem como objetivo analisar os fragmentos florestais presentes na área de estudo, caracterizando-os quanto ao tamanho, forma, densidade e frequência de distribuição, sem e com o efeito de borda.

4.2. ESTUDOS DE ECOLOGIA DE PAISAGEM

A paisagem é um ambiente aberto, do qual o observador está distante e a forma de perceber, observar e interpretar a paisagem depende da formação científica e cultural do observador, que cria filtros ou lentes (METZGER, 2001). Para Forman & Godron (1986), a paisagem é uma superfície de terreno heterogêneo composto por um conjunto de ecossistemas em interação que se repetem de forma similar.

Pires (1993) definiu paisagem como expressão visual do território e da interação espacial de todos os seus elementos, podendo assumir dimensões estéticas, culturais, geográficas e ecológicas e ser analisada tanto pelo seu caráter de síntese dos fatores de uma determinada porção do espaço, como pela sua condição de variável entre as demais no conjunto dos fatores ambientais.

A paisagem é um mosaico, que tem sua estrutura definida pela área, forma e distribuição espacial de suas unidades, sendo formada por um complexo de

unidades interativas, como ecossistemas, unidades de vegetação e uso e cobertura da terra (FORMAN & GODRON, 1986).

O surgimento do termo “ecologia de paisagem” foi impulsionado por Carl Troll e geógrafos da Europa Oriental e da Alemanha, que reuniram em uma só ciência ecologia e geografia (METZGER, 2001). Para os autores clássicos, Forman & Godron (1986), a ecologia da paisagem é o estudo da estrutura, função e alterações em uma porção heterogênea, composta de ecossistemas interativos. Segundo Metzger (2001) a ecologia de paisagens é uma combinação da análise espacial da geografia com o estudo funcional da ecologia, que dá ênfase às relações horizontais das unidades da paisagem.

As paisagens possuem uma estrutura comum e fundamental, composta pelos elementos ou unidades de paisagem: fragmentos, corredores e matriz (FORMAN & GODRON, 1986)

Os fragmentos, manchas ou *patches* são os menores elementos individuais observáveis que formam a paisagem (LANG & BLASCHKE, 2009). Forman & Godron (1986) definem fragmentos como superfícies não lineares, que diferem do seu entorno, variam em tamanho, forma, heterogeneidade e limites.

Os corredores são faixas de um tipo específico de cobertura, que diferem do seu entorno (CAMPOS, 2005). Segundo Forman & Godron (1986), os corredores podem ser usados como meio de locomoção, proteção, recursos e servem como ligação ou ruptura de fragmentos.

A matriz é a unidade da paisagem mais extensa e mais conectada. Portanto desempenha o papel dominante no funcionamento da paisagem, ou seja, a conectividade, forma e distribuição dos fragmentos e corredores dependem da matriz (FORMAN & GODRON, 1986).

4.2.1 Efeitos da Escala Espacial

O conceito de escala refere-se ao período espacial-temporal no qual são observados um determinado elemento ou evento (LANG & BLASCHKE, 2009). Fenômenos estudados em diferentes escalas podem ser contraditórios, ou seja, uma paisagem pode parecer heterogênea em uma escala e homogênea em outra (LANG & BLASCHKE, 2009; KURASZ *et al.*, 2007).

Segundo Metzger (2001) a escala abordada depende da ação/percepção da espécie/comunidade em estudo. Por exemplo, para um gafanhoto pode existir um mosaico de manchas interativas em uma área de 4km², enquanto para o estudo de mamíferos como a onça-parda, este mosaico pode ser definido em escalas semelhantes às usadas por ocupação humana.

Quando o sensoriamento remoto é usado na análise da paisagem, a resolução espacial da imagem é outro fator que determina a escala a ser utilizada, pois influencia na capacidade de detalhamento do mapa de uso e cobertura da terra, definindo a menor área de um fragmento (LUZ, 2002). Segundo Crosta (1993) para a identificação de um objeto, ele deve ter no mínimo seis pixels.

4.3. MÉTRICAS DE PAISAGEM

Métricas de paisagem são índices utilizados para caracterizar a complexidade das paisagens. Na literatura existem muitas métricas para descrever o padrão espacial de paisagens, porém as medidas primárias para descrever a dinâmica da fragmentação florestal são: tamanho, forma, densidade, tipo de vizinhança e histórico das perturbações (COUTO, 2004; VIANA *et al.*, 1992). Segundo Couto (2004) algumas métricas medem aspectos similares do padrão de paisagens.

Lang & Blaschke (2009) classificam as métricas de fragmentos em categorias principais da análise estrutural-espacial da paisagem (Tabela 4.1).

Algumas métricas da estrutura de paisagens podem ser calculadas com programas de SIG simples, como área e número de fragmentos, por exemplo. Outros índices possuem cálculos mais complexos e requerem a utilização de programas específicos de análise da paisagem, sendo o mais conhecido deles é o *Fragstats*. Outro programa disponível é a extensão V-LATE do programa ArcGIS.

TABELA 4.1: Principais categorias da análise estrutural-espacial de fragmentos.

Categoria	Métrica	Faixa de valores	Unid.	Questionamento ecológico	Observação
Heterogeneidade	Número de fragmentos (NF) (Densidade)	[0-∞[	-	Quantas manchas por classe ou no total?	Indica riqueza estrutural, pode ser um indicativo de fragmentação.
Análise da área	Área ou tamanho (A)	[0-∞[	m ² ou ha	Qual o tamanho do fragmento?	Indicador de qualidade do fragmento.
	Área total da classe (ATC)	[0-∞[	m ² ou há	Qual a área total da classe de interesse?	Idem a A.
	Tamanho médio de fragmento (TMF)	[0-CA]	m ² ou ha	Qual o tamanho médio do fragmento?	-
Análise de formas	Índice médio de forma (IMF)	[1-∞[	-	Quão compactos são os fragmentos com relação a uma circunferência de mesma área?	Valor 1 significa forma circular; valores elevados são indicadores de formas irregulares.
	Razão média do perímetro/área (RMPA)	[0-∞[	m/m ²	Qual é o tamanho do fragmento em relação ao seu perímetro?	Nas escalas usuais é menor que 1.
Análise das bordas	Soma das bordas (SB)	[0-∞[	m ou km	Qual a extensão total das bordas que ocorrem na região?	Indica riqueza da estrutura; também é indicador de fragmentação
	Densidade de bordas (DB)	[0-100]	%	Qual a densidade das bordas?	Idem a TE.
Análise da área-núcleo	Área-núcleo total remanescente (ANTR)	[0-CA]	m ² ou ha	Qual é o tamanho da área efetivamente utilizável para espécies sensíveis à borda?	Borda precisa ser indicada.
	Número de áreas-núcleo remanescente (NANR)	[0-∞[	-	Qual o número de áreas-núcleo por classes da paisagem?	NCA>NP: áreas-núcleo separadas; NCA<NP: existem fragmentos sem área-núcleo.
	Índice de área-núcleo (IAN)	[0-100]	%	Qual o percentual de área-núcleo no fragmento?	Áreas-núcleo separadas são agregadas.

FONTE: Adaptado de LANG & BLASCHKE, 2009.

V-LATE, sigla de *vector-based landscape analysis*, é uma ampliação do ArcGIS 8 e 9, a ser implementada como DLL (*dynamic link library*) externa, que encontra-se disponível na página virtual de ESRI-ArcScripts (LANG & BLASCHKE, 2009). A extensão contém um conjunto de métricas de paisagem mais usadas para estudos de diversidade e estrutura da paisagem, organizadas de acordo com os principais aspectos da análise de padrões estruturais (em sete categorias): área, forma, área-núcleo (*core*), borda, proximidade, diversidade e análise de fragmentação (ESRI, 2010).

A extensão V-LATE é executada dentro do ArcMap e tem como base para as análises espaciais o arquivo vetorial de uso e cobertura da terra. Na presente pesquisa especificou-se como classe de interesse a floresta nativa. O cálculo dos índices de paisagem no programa é automático; o usuário indica apenas a classe de interesse e informa o tamanho de efeito de borda que deve ser aplicado. Em algumas análises, quando as métricas são calculadas para cada fragmento, os resultados são anotados na tabela de atributos do vetor original. Quando os resultados são referentes à toda a classe de uso e cobertura, então eles são apresentados em formato de tabelas ou texto.

O vetor temático de uso e cobertura da terra da área de estudo, construído no capítulo 3, foi utilizado para o cálculo dos índices da paisagem pelo V-LATE.

4.3.1 Análise da área e heterogeneidade

Área ou tamanho é a métrica de estrutura de paisagem mais importante, por ser uma informação de grande valor para a biodiversidade e porque é base para o cálculo de outras métricas de paisagem (COUTO, 2004; FORMAN & GODRON, 1986; LANG & BLASCHKE, 2009).

A teoria de biogeografia de ilhas de MacArthur & Wilson⁷ (1967) relaciona a diversidade de espécies com a área dos fragmentos. A análise da distribuição de classes de tamanho de fragmentos é útil para a definição de estratégias para a conservação da biodiversidade (VIANA & PINHEIRO, 1998).

⁷ MACARTHUR, R. H.; WILSON, E. O. **The theory of island biogeography**. Princeton: Princeton University Press, 1967.

Grandes fragmentos dão suporte a espécies de habitat interior, protegem e servem de habitat para mamíferos de grande porte que estão no topo da cadeia alimentar; servem como fonte de espécies para dispersão, além de servirem de tampão contra a diminuição do número de espécies durante mudanças ambientais (KURASZ *et al.*, 2007; LUZ, 2002).

Segundo Forman (1995) os fragmentos pequenos melhoraram o microclima, servem de habitat e ponto de parada intermediária para dispersores ao longo da matriz, para recolonização após extinção local de espécies. Além disso, fornecem escape de predadores, proteção para as espécies raras ou de distribuição dispersa (FORMAN, 1995). Fragmentos pequenos, em relevos planos e suaves, em solos férteis e bem drenados são pouco frequentes e em muitos casos apresentam pequenas populações ameaçadas de extinção (VIANA & PINHEIRO, 1998). Entretanto, devido ao seu isolamento e suscetibilidade a forças externas, os fragmentos pequenos requerem manejo intensivo, como práticas de monitoramento demográfico e controle de plantas exóticas (KURASZ *et al.*, 2007).

A densidade de fragmentos é uma medida de heterogeneidade espacial, expressa pelo número de fragmentos por unidade de área (km², ha, etc.) (BORGES *et al.*, 2004; LANG & BLASCHKE, 2009). A heterogeneidade, juntamente com o índice tamanho médio dos fragmentos, são considerados os melhores descritores da configuração da paisagem (BORGES *et al.*, 2004; VALENTE, 2001).

A heterogeneidade de fragmentos de um habitat podem determinar o número de sub-populações ou meta-populações em uma população dispersa espacialmente, além de afetar outros processos ecológicos, dependendo do contexto da paisagem (GILPIN & HANSKI⁸, 1991, apud KURASZ, 2005).

Para a área de estudo os parâmetros métricos referentes à análise de área e heterogeneidade são apresentados na Tabela 4.2.

⁸ GILPIN, M. E.; HANSKI, I. **Metapopulation dynamics**. London: Academic Press, 1991.

TABELA 4.2: Valores dos parâmetros métricos de área e densidade.

Métricas de paisagem	
Área total dos fragmentos (ha)	11.242
Porcentagem de área de fragmentos	33
Tamanho médio dos fragmentos (ha)	9,9
Tamanho do maior fragmento (ha)	1.288
Porcentagem do maior fragmento	3,8*
Número de fragmentos	1.133

*A porcentagem da área do maior fragmento é calculada com base na área total da área de estudo.

Analisando a paisagem, tem-se: uma área total dos fragmentos florestais igual a 11.242 ha; 1.133 fragmentos, com tamanho médio de 9,9 ha; uma porcentagem de floresta nativa de 33%.

O maior fragmento, que é constituído pela Reserva e outros fragmentos que a tangenciam, possui 1.288 ha e ocupa 3,8% da área de estudo.

Os fragmentos florestais foram divididos em 5 classes de tamanho, menores que 1 ha, de 1 a 10 ha, de 10 a 25 ha, de 25 a 100 ha, e maiores que 100 ha (Figura 4.1). A freqüência dos fragmentos por classe é apresentada na Tabela 4.3. A paisagem é dominada por fragmentos com áreas menores que 1 ha, com 49% do número de fragmentos. Áreas menores que 10 ha representam 86% dos fragmentos. As classes com área entre 10 e 25 ha e 25 a 100 ha possuem a mesma representatividade, 6 %, cada uma. Apenas 2% dos fragmentos possuem áreas maiores que 100 ha.

TABELA 4.3: Freqüência dos fragmentos da paisagem por classe de tamanho.

Classe	Tamanho	Número	%*	Σ área (ha)
1	Menores que 1 ha	558	49	233
2	De 1 a 10 ha	417	37	1.248
3	De 10 a 25 ha	73	6	1.152
4	De 25 a 100 ha	66	6	3.155
5	Maiores que 100 ha	19	2	5.454
	Total	1133	100,0	11.242

* Porcentagem em relação ao número de fragmentos observados.

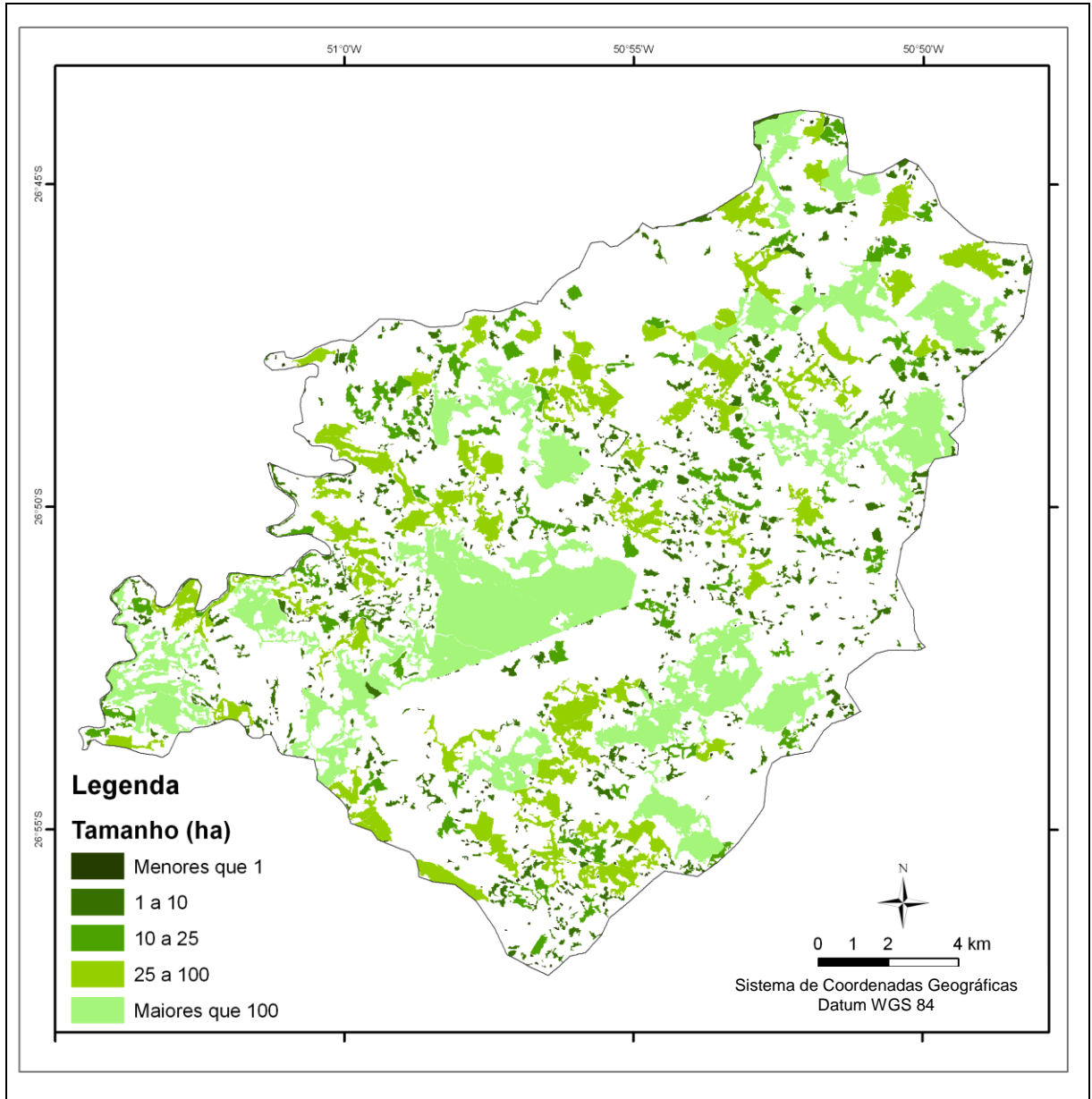


FIGURA 4.1: Distribuição dos fragmentos na área de estudo.

Em termos de área total por classe de tamanho, a distribuição de freqüência (Figura 4.2) é inversa a distribuição em números de fragmentos; ou seja, quanto maior os fragmentos, maiores as áreas totais por classe. Neste caso os fragmentos maiores que 100 ha representam 48% da área de fragmentos; a classe de 25 a 100 ha representa 28 %; 10% da área florestal é representada por fragmentos que possuem de 10 a 25 ha; já os menores que 10 ha representam 13%; e 2% é representado pelos fragmentos menores que 1 ha.

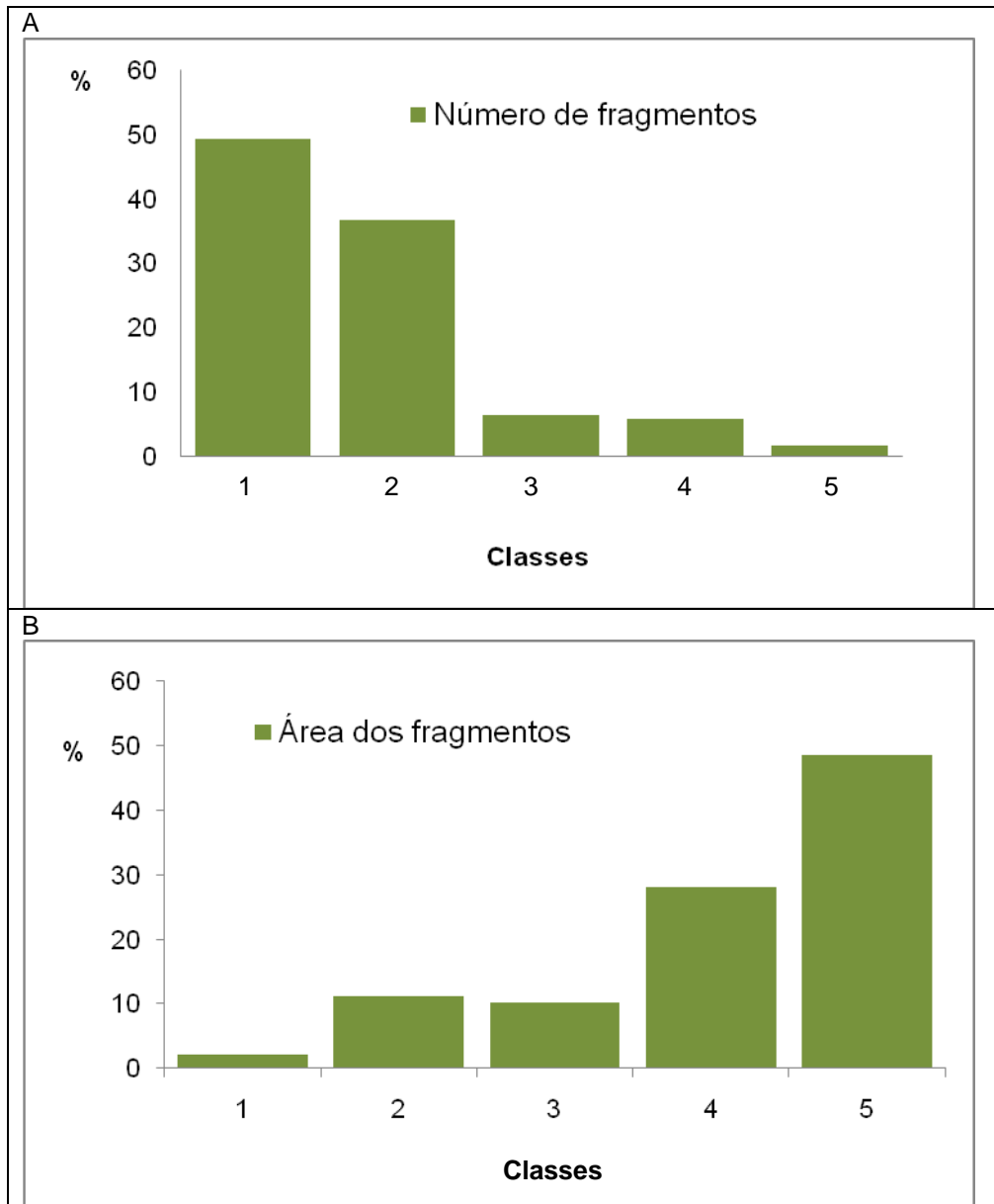


FIGURA 4.2: Distribuição das classes de tamanho dos fragmentos em relação: A) número; B) área.

Em mapeamentos anteriores de fragmentos florestais em áreas de FOM, com o mesmo histórico de ocupação, foram encontrados os seguintes percentuais de coberturas: 33% de floresta nativa no Centro-Sul do Paraná (SERVELLO *et al.*, 2007); 41 % na região de Castro/PR (NIEDERNEIER & MATSUSHITA, 2008); 56 % na bacia do Rio Negrinho/SC (UDA *et al.*, 2010); 29 % no Alto da Bacia do Rio Uruguai/ SC-RS (FREITAS & SANTOS, 2010).

Em estudo de fragmentação do Parque Nacional dos Campos Gerais, no Paraná, floresta nativa representa 56% da área, sendo que, os fragmentos menores que 10 ha representam 94% e ocupam 10% da área florestal. Somente 2% (6

fragmentos) são maiores que 100 ha e representam 79% da área florestal (ALMEIDA, 2008).

A área de estudo apresenta uma boa distribuição dos fragmentos por classes de tamanho. Visto que, 87% das áreas florestais são representadas por fragmentos grandes, que dão suporte para os predadores do topo da cadeia alimentar e servem de tampão contra a extinção de espécies (KURASZ *et al.*, 2007). Por outro lado, os fragmentos pequenos, que em número representam 86%, podem funcionar como ponto de parada intermediária para os dispersores que transitam ao longo da matriz (FORMAN, 1995).

4.3.2. Análise da forma

A forma é tão importante quanto a área de um fragmento (FORMAN & GODRON, 1986).

A métrica de forma mais comum está baseada na relação entre a área e o perímetro de um fragmento (COUTO, 2004; LANG & BLASCHKE, 2009; VIANA & PINHEIRO, 1998). Segundo Lang & Blaschke (2009) a relação pode ser expressa pela razão área/perímetro ou perímetro/área. Na primeira relação, mais comum, quanto maior o valor, mais compacto será o fragmento. Na segunda razão, os valores geralmente se encontram numa faixa de 0 a 1, sendo que quanto mais baixo, maior será a compacidade do fragmento.

Outra métrica muito utilizada para a descrição de forma é o índice de forma, introduzido por Forman e Godron em 1986 (LANG & BLASCHKE, 2009). O índice de forma relaciona o perímetro e a área de um fragmento com uma circunferência de mesma área (VIANA & PINHEIRO, 1998).

De maneira geral, quanto maior for a relação área-perímetro e o índice de forma, mais irregulares são os fragmentos. Forman e Godron (1986) ressaltam que fragmentos alongados estão mais suscetíveis às intervenções da matriz, pois possuem uma área de borda maior que os circulares.

Segundo Forman (1995) as diferentes formas de fragmentos existentes na paisagem podem ser agrupadas em três categorias: a) naturais ou antrópicas (curvilineares ou amebóides, geométricas); b) compactas ou alongadas (razão comprimento/ largura); e arredondadas versus convolutas.

O índice de forma médio dos fragmentos da área estudada foi de 2,1, indicando fragmentos irregulares. A razão perímetro/área foi de 0,075. A Tabela 4.4 mostra os índices por classe de tamanho dos fragmentos.

TABELA 4.4: Índices de forma por classe de tamanho dos fragmentos.

Classe	Tamanho	Forma	Perímetro/Área
1	Menores que 1 ha	1,67	0,108
2	De 1 a 10 ha	2,17	0,050
3	De 10 a 25 ha	2,91	0,026
4	De 25 a 100 ha	3,64	0,019
5	Maiores que 100 ha	5,77	0,014

No que se refere ao índice médio de forma, Viana & Pinheiro (1998) comentam que quanto mais próximo de um (1,0) melhor a forma, pois tende a ser mais circular. Na área de estudo, as classes de menor área (1 e 2) apresentaram as melhores formas; por outro lado, as classes maiores (4 e 5) possuem as piores formas.

Quanto à relação área/perímetro, todas as classes são classificadas com tendo formas muito irregulares, pois são menores que 0,6 (VIANA & PINHEIRO, 1998).

Almeida (2008), em estudo da paisagem no Parque Nacional Campos Gerais encontrou índice de forma variando de 1 a 2,9 nos fragmentos menores que 10 ha e 6,3 na classe de fragmentos maiores que 100 ha.

Os fragmentos da área de estudo, por suas formas irregulares estão muito vulneráveis ao efeito de borda.

4.3.3. Análise da borda e área-núcleo

O microclima no centro e na margem de um fragmento florestal são distintos, pois a luz solar e o vento que vem da matriz penetram uma distância limitada da floresta. Esta margem exterior é conhecida como a borda do fragmento. Nesse ambiente, comparado com o interior do fragmento, a composição e abundância de espécies são diferentes, caracterizando-o como efeito de borda (FORMAN & GODRON, 1986). Tradicionalmente, a transição suave entre dois habitats, ecótonos,

eram ambientes com alta riqueza de espécies; entretanto, atualmente a transição é abrupta entre um fragmento florestal e uma área aberta, que influencia a borda, tornando-a prejudicial a muitos organismos florestais (LANG & BLASCHKE 2009)

A fragmentação florestal aumenta a proporção da borda exposta a outros habitats em relação ao interior da floresta, sendo que em alguns casos, o fragmento passa a ser caracteristicamente dominado pela influência do efeito de borda (KURASZ *et al.*, 2007).

Em fragmentos de Floresta Atlântica, sucessão secundária, observou-se que as mudanças microclimáticas mensuráveis geralmente estão em uma zona de 15 a 60 m de borda, porém alguns fenômenos físicos podem influenciar até 100 m (VIANA⁹ *et al.*, 1997, citado por KURASZ, 2005). Tabanez *et al.* (1997) constataram um efeito de borda de 80 a 100 metros dentro de um fragmento de 9,5 ha de floresta mesófila semidecídua em Piracicaba. Em fragmentos na Amazônia Central observou-se que, pela umidade do solo houve a evapotranspiração na borda da floresta e de 40 a 80 metros da borda (KAPOS¹⁰ *et al.*, 1997, *apud* BORGES *et al.*, 2004).

A área-núcleo, ou área-nuclear é o registro de espaços interiores de habitats ecologicamente efetivos para espécies sensíveis às bordas, ou seja, é definida como a área do fragmento excluindo sua área de borda (LANG & BLASCHKE, 2009). A delimitação da área-núcleo é feita pelo cálculo de uma área de borda (*buffer*) negativa, direcionada para dentro do fragmento.

Na área de estudo o efeito de borda considerado foi de 50 metros a partir da borda dos fragmentos. Os índices de paisagem obtidos para os fragmentos sob o efeito de borda são apresentados na Tabela 4.5.

⁹ VIANA, V. M.; TABANEZ, A. J. A.; BATISTA, J. L. F. Dynamics and restoration of Forest fragments in the brazilian atlantic moist forest. In: LAURECE, W. F.; BIERREGAARD, R. O. (eds). **Tropical forest remnants: ecology, management and conservation of fragmented communities**. London: The University of Chicago Press, 1997.

¹⁰ KAPOS, V.; WANDERLLI, E.; CAMARGOS, J. L. C.; DANDE, G. Edge related changes in environment and plant response due to forest fragmentation in Central Amazonia. In.: LAURANCE, W. F.; BIERREGAARD, R. O. **Tropical forest remnants: ecology, management and conservation of fragmented communities**. Chicago: The University of Chicago Press, 1997. p. 45-54.

TABELA 4.5: Valores dos parâmetros métricos de área e densidade, com efeito de borda.

Métrica de paisagem	Resultados
Área-núcleo total remanescente (ha)	4.850
Porcentagem de área-núcleo remanescente	43
Índice de área-núcleo (%)	43,14
Número de áreas-núcleo	804
Soma de bordas - SB (Km)	2.274
Densidade de bordas - DB (m ² /ha)	202,30
Comprimento médio da borda – CMB (Km)	2

A densidade de bordas foi de 202 m²/ha. A área-núcleo remanescente foi igual a 4.850 ha, o que representa uma perda de 67 % da área de floresta nativa sem o efeito de borda. O índice das áreas-núcleo significa o quanto elas representam em relação à área original de cobertura e, por isso, igual à porcentagem de área-núcleo remanescente: 43%. Em número de fragmentos a perda foi relativamente pequena (29%), porém deve-se levar em consideração que alguns fragmentos grandes são separados gerando novos fragmentos.

Para os fragmentos classificados anteriormente, sem o efeito de borda, são apresentados na Tabela 4.6 os índices com efeito de borda para as áreas-núcleo maiores que 0.1 ha.

TABELA 4.6: Índices das áreas-núcleo por classe de tamanho.

Classe	Nº	%*	Área (ha)	IAN	SB (km)	CMB (Km)
1 (< 1 ha)	0	0	0	0	206	0,4
2 (1 a 10 ha)	89	21	67	5,6	543	1,3
3 (10 a 25 ha)	111	152	253	22,1	299	4,1
4 (25 a 100 ha)	149	226	1.225	38,9	595	9,0
5 (> 100 ha)	104	547	3.298	60,5	629	33,0
SOMA	453	-	4.843	-	-	-

IAN: Índice de área-núcleo; SB: Soma de bordas; CMB: Comprimento médio da borda.

* Percentagem do número de áreas-núcleo remanescentes (maiores que 0,1 ha) em relação ao número original.

O número de áreas-núcleo remanescentes foi de 804, entretanto apenas 453 (56%) possuem áreas maiores que 0,1 ha. A classe de fragmentos menores que 1 ha, não apresentou nenhuma área-núcleo remanescente.

Considerando somente áreas-núcleos maiores que 0,1 ha, para a classe de fragmentos de 1 a 10 ha restaram apenas 21% (89 áreas-núcleo), ou seja, 79% dos fragmentos não possuem áreas de habitat interior.

As classes de fragmentos com áreas maiores que 10 ha apresentaram um número maior de áreas-núcleo do que os fragmentos originais, ou seja, devido ao efeito da borda um fragmento grande foi separado em várias áreas-núcleo.

A classe dos fragmentos, com áreas maiores que 100 ha, apresentou novas áreas de habitat interior em 547% em relação ao número original. Percebe-se que conforme aumenta a classe de tamanho dos fragmentos o índice de área-núcleo e o comprimento médio de borda também aumentam.

Em estudo, no Parque Nacional dos Campos Gerais, 14,5% da área dos fragmentos representavam efeito de borda (ALMEIDA, 2008).

A perda de áreas de habitat interior nas classes de fragmentos de menores áreas e o aumento expressivo nas classes com maiores áreas está associada ao baixo índice de circularidade dos fragmentos, que por suas formas alongadas e irregulares estão suscetíveis aos efeitos dos ventos e luminosidade provenientes da matriz.

4.4. CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

Os fragmentos florestais representam 33% da área total considerada no estudo, divididos em 1133 manchas, com tamanho médio de 9,9 ha e tamanho máximo de 1.288 ha.

Fragmentos menores que 10 ha representam 86% do número de fragmentos e 13% da área, enquanto os fragmentos maiores que 100 ha representam 2% em número e 48% em área. Essa relação inversa entre o número de fragmentos com a soma de áreas faz com que haja uma boa distribuição dos fragmentos, pois os fragmentos grandes funcionam como habitat e os pequenos como pontos de parada para os dispersores.

A forma média dos fragmentos é irregular, caracterizando-os como irregulares, o que faz com que sofram fortes pressões das bordas.

Considerando a simulação do efeito de borda, restariam 40% do número de fragmentos maiores que 0,1 ha, em relação ao número original, e 43% em área. Os

fragmentos maiores que 100 ha aumentariam 547% em número, porém a soma de suas áreas representaria 60% da área originalmente coberta por floresta nativa.

A paisagem da área de estudo, encontra-se prejudicada em relação à qualidade do hábitat, pois 67% da vegetação natural é constituída de ambiente de borda, o que compromete a sustentabilidade do ecossistema.

Para maior entendimento da dinâmica da paisagem, como continuidade do trabalho, sugere-se diferenciar os estágios sucessionais dos fragmentos presentes na área.

**5. CAPÍTULO IV:
ANÁLISE DE VULNERABILIDADE AMBIENTAL AO ACESSO DE PESSOAS NA
RESERVA FLORESTAL EMBRAPA/EPAGRI**

5.1. INTRODUÇÃO

Uma das maiores ameaças à conservação da RFEE é a entrada de pessoas estranhas para caçar e coletar material vegetal. O principal foco da caça é o porco asselvajado, cruzamento do porco doméstico com o javali; entretanto constata-se, também, a caça de outros animais nativos. As armadilhas deixadas pelos caçadores para capturar o porco frequentemente aprisionam e/ou ferem outros animais.

Estranhos entram na Reserva para coletar materiais vegetais, tais como plantas, frutos, sementes, e em menor escala, material lenhoso, com finalidade de serraria ou energia. A coleta mais marcante é a de pinhões, que junto com outros fatores, compromete a regeneração natural de araucária na RFEE (KELLERMANN, 2011).

O simples fato de essas pessoas caminharem pela floresta já representa um fator de risco devido ao pisoteio de plântulas e ameaça de incêndios florestais devido a fogueiras e pontas de cigarro.

A caça parece ser um hábito profundamente arraigado na população da região, pois são frequentes os relatos sobre a descoberta de locais de cova para os animais e de presença de armadilhas, extremamente perigosas para qualquer pessoa que circule pela Reserva.

Nesse sentido, este capítulo tem como objetivo gerar um mapa de vulnerabilidade da Reserva com relação ao acesso de pessoas, analisando os fatores que potencialmente influenciam essa situação.

5.2. ANÁLISE DE VULNERABILIDADE

A vulnerabilidade é relativa por estar associada à exposição aos riscos e designa a maior ou menor susceptibilidade de pessoas ou ambientes se tornarem vulneráveis. É também subjetiva por ser definida por um ponto de vista que torna tolerável ou intolerável uma determinada condição (ACSELRAD, 2006).

Segundo Marondola & Hogan (2005) vulnerabilidade, comumente, aparece no contexto dos estudos relacionados ao risco ambiental. Entretanto pode ser entendida a partir de três componentes: a) a existência de um risco interno ou externo; b) incapacidade de responder à situação; c) incapacidade de adaptação à

situação gerada pelo risco (CEPAL¹¹, 2002 citado por MARONDOLA & HOGAN, 2005).

O planejamento e gestão de conservação da biodiversidade são indispensáveis para resolver problemas de vulnerabilidade, pois as características naturais de populações, espécies e diversidade entre uma área protegida e seu entorno diferem em padrão espacial e temporal e em risco de perda. Assim, o estudo de vulnerabilidade contribui para o planejamento de conservação de espécies, definindo onde, quando e como determinada área será manejada (GASTON *et al.*, 2002).

A análise de vulnerabilidade ambiental compreende um estudo sobre o risco ambiental ao qual determinada área está sujeita. As técnicas de análise espacial introduzidas com o geoprocessamento facilitam essa tarefa, permitindo a integração de um grande número de variáveis e a espacialização dos resultados em forma de mapas (HASENACK *et al.*, 1998). A confecção de mapas de vulnerabilidade é feita empregando métodos estatísticos de múltiplos critérios, atribuindo-se pesos aos fatores envolvidos na análise (ROSOT *et al.*, 2000). O mapa de vulnerabilidade é obtido somando a multiplicação de cada fator por seu respectivos peso, permitindo assim, definir o grau de vulnerabilidade de cada pixel da área de estudo (DONHA *et al.*, 2005; ROSOT *et al.*, 2000).

Na presente pesquisa, para a análise de vulnerabilidade da Reserva, foram utilizados recortes (Figura 5.1) dos vetores de uso e cobertura da terra e de hidrografia, em uma faixa média de 3 km do perímetro da Reserva.

¹¹ COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE – CEPAL. **Sociodemographic vulnerability: old and new risks for communities, households and individuals**. Brasília: UNA, 2002.

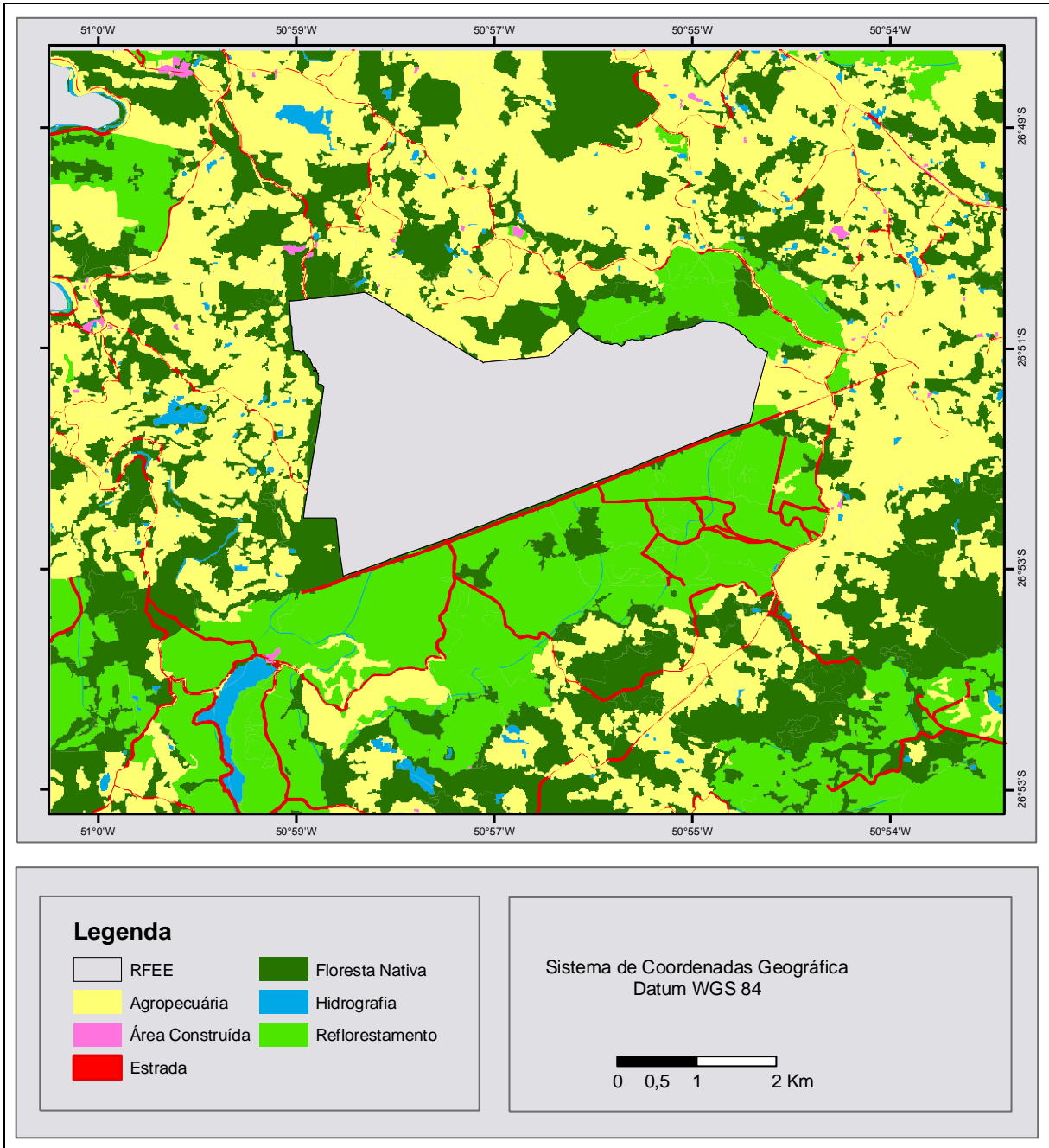


FIGURA 5.1: Uso e cobertura da terra no entorno da RFEE.

Para análise de vulnerabilidade ao acesso foram definidos como fatores as distâncias dos seguintes usos:

- A) Agropecuária: embora seja propriedade particular, a classe agropecuária é um fator que facilita o acesso à Reserva, pois são áreas extensas e pouco habitadas, podendo ser transposta de forma oculta. Assim, quanto menor a distância dos polígonos dessa classe, maior será a vulnerabilidade;

- B) Áreas construídas: as edificações próximas à RFEE pertencem a mesma e possuem a movimentação de pessoas conhecidas, como guardas, pesquisadores e funcionários da Epagri. Isso dificultando o acesso furtivo de pessoas a RFEE, então, quanto menor a distância dessas áreas menor será a vulnerabilidade ao acesso;
- C) Estradas: são, por definição, locais de trânsito e acesso e por isso, quanto menor a distância dessa classe maior será a vulnerabilidade;
- D) Floresta nativa: são áreas extensas que facilitam o acesso, pois serve de abrigo às pessoas, portanto quando existe floresta a vulnerabilidade é maior;
- E) Hidrografia: a rede hidrográfica representa uma barreira ao acesso, pois terá de ser obrigatoriamente contornada, sendo assim, quanto menor a distância da rede hidrográfica menor é a vulnerabilidade;
- F) Reflorestamento: são áreas extensas, com aceiros e estradas no seu interior, além de fornecerem abrigo a pessoas estranhas a RFEE, devido ao porte das árvores. Assim, quanto menor a distância dos reflorestamentos maior será a vulnerabilidade.

O vetor de uso e cobertura da terra é resultado do Capítulo 3 e o de hidrografia foi disponibilizado em escala 1:100.000 pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

O recorte do *shapefile* de uso e cobertura da terra foi segmentado em seis novos vetores: um para cada fator. Essa operação foi efetuada no ambiente ArcGIS 9.1, usando a ferramenta de seleção por atributo e exportação da seleção.

Com a extensão *Spatial Analyst* os vetores das classes foram convertidos para formato matricial (raster), sendo que para cada pixel dentro de um polígono era atribuído o valor 1 e zero para os demais; a resolução espacial definida foi de 5 metros, devido à largura das estradas e rios.

Os fatores “distância de” área construída, agropecuária, água, estrada, floresta nativa e reflorestamento afetam a vulnerabilidade da Reserva ao acesso de estranhos e foram obtidos pelo cálculo de distâncias lineares. Para cada fator (Figura 5.2) foi calculada individualmente a distância euclidiana de cada pixel ao seu mais próximo num conjunto de pixels pré-especificados (pixels iguais a um). Essa operação foi feita com a ferramenta *Distance* da extensão *Spatial Analyst*.

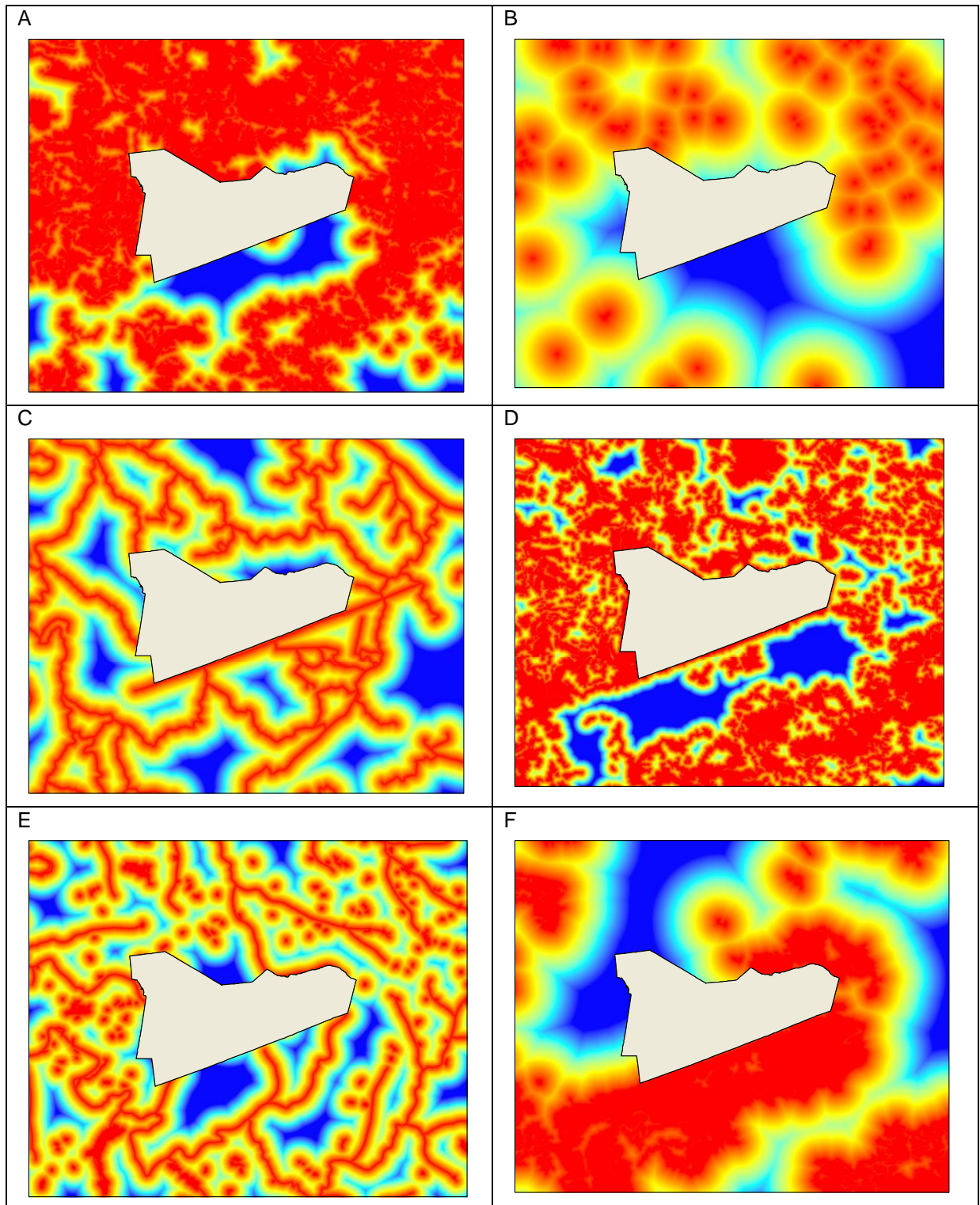


FIGURA 5.2: Distância calculada a partir dos usos: A) agropecuária; B) áreas construídas; C) estradas; D) floresta nativa; E) Rede hidrográfica; F) Reflorestamento.

Nas imagens, os tons azuis representam maiores distâncias e os tons vermelhos menores distâncias. Embora a paleta de cores seja a mesma, não há padronização na escala de distâncias, ou seja, não há como fazer comparações.

Para padronização é necessário utilizar a lógica *fuzzy* para reescalonar as distâncias a partir de uma função de pertinência

5.2.1. Padronização de fatores (*fuzzy*)

O procedimento de padronização dos fatores utilizando a lógica *fuzzy* é mais complexo do que os que utilizam a lógica booleana, pois os fatores não são apenas reclassificados em 0 e 1, mas reescalonados de acordo com alguma função de continuidade para um intervalo comum (EASTMAN, 1998). Geralmente o intervalo utilizado é o de um *byte*, ou seja, os valores oscilam entre 0 e 255 (EASTMAN, 1998; HASENACK *et al.*, 1998; ROSOT *et al.*, 2000; SARTORI Neto *et al.*, 2001)

Em um conjunto cada elemento pode ter um grau de pertinência, no intervalo real de 0 a 1, em decorrência de sua função de pertinência (EASTMAN, 2003; BELCHIOR, 1997).

As funções de pertinência *fuzzy* podem ser divididas basicamente em três grupos: sigmoidal, J-invertido e linear (EASTMAN, 2003). A sigmoidal é a função mais usada em conjuntos *fuzzy*, e é produzida usando uma função de cosseno, requer-se a posição de 4 pontos de inflexão que delimitam a curva. A função do j-invertido é bastante comum, e se caracteriza por se aproximar de 0, embora tenda ao infinito. Já a função linear é amplamente utilizada devido à sua simplicidade. Ainda, quando nenhuma das relações acima atende à necessidade do usuário, é possível construir uma função de pertinência com um número ilimitado de pontos de controle para definir a curva (EASTMAN, 2003). A escolha da função de pertinência a ser usada depende de qual é a mais adequada à situação em questão (NÓBREGA, 2007).

Na padronização das distâncias da área de estudo foram utilizadas somente funções de pertinência linear monotônicas (Figura 5.3), crescentes ou decrescentes. Os fatores foram padronizados para uma escala contínua de vulnerabilidade de 0 (menos vulnerável) até 255 (mais vulnerável). Nesta etapa foi utilizada a ferramenta *Reclassify* da extensão *Spatial Analyst* no ArcGIS 9.1. A seleção da função crescente ou decrescente deu-se de acordo com a relação que a distância de cada fator com a vulnerabilidade de acesso na Reserva (Tabela 5.1).

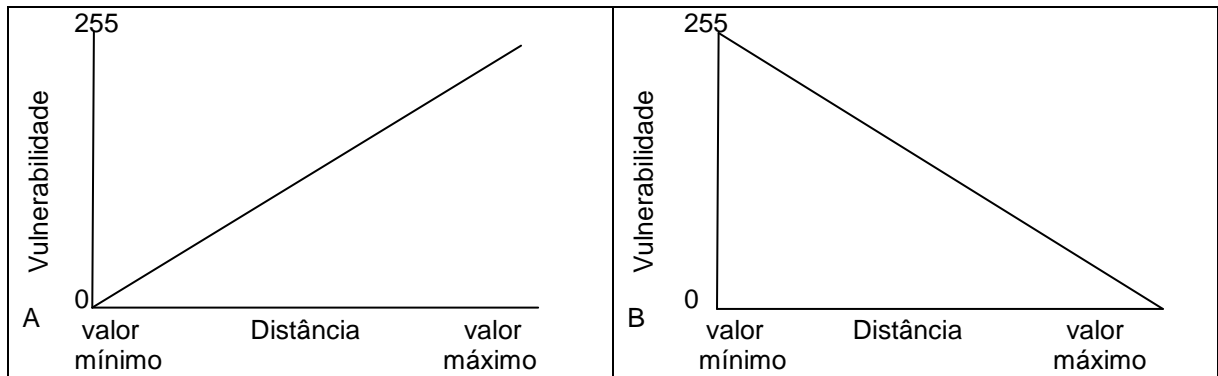


FIGURA 5.3: Função de reescalonamento linear monotônica: A) crescente; B) decrescente.

TABELA 5.1: Relação de vulnerabilidade com o fator distância de cada uso e cobertura da terra.

Distância de	Vulnerabilidade		Função
	Presença	Maior distância	
Agropecuária	255	0	Decrescente
Estradas	255	0	Decrescente
Floresta nativa	255	0	Decrescente
Reflorestamento	255	0	Decrescente
Áreas construídas	0	255	Crescente
Rede hidrográfica	0	255	Crescente

A ferramenta *Reclassify* calcula apenas a função linear monotônica crescente. Para o cálculo das funções decrescentes, foi efetuada uma inversão da função usando-se a ferramenta *Raster Calculate* para a seguinte operação:

$$\text{funções decrescentes} = \sqrt{(\text{raster}(f. \text{ crescente}) - 255)^2}$$

onde: raster= função crescente.

As imagens resultantes do reescalonamento podem ser observadas na Figuras 5.4. Neste caso, as áreas em azul representam áreas menos vulneráveis e as vermelhas mais vulneráveis.

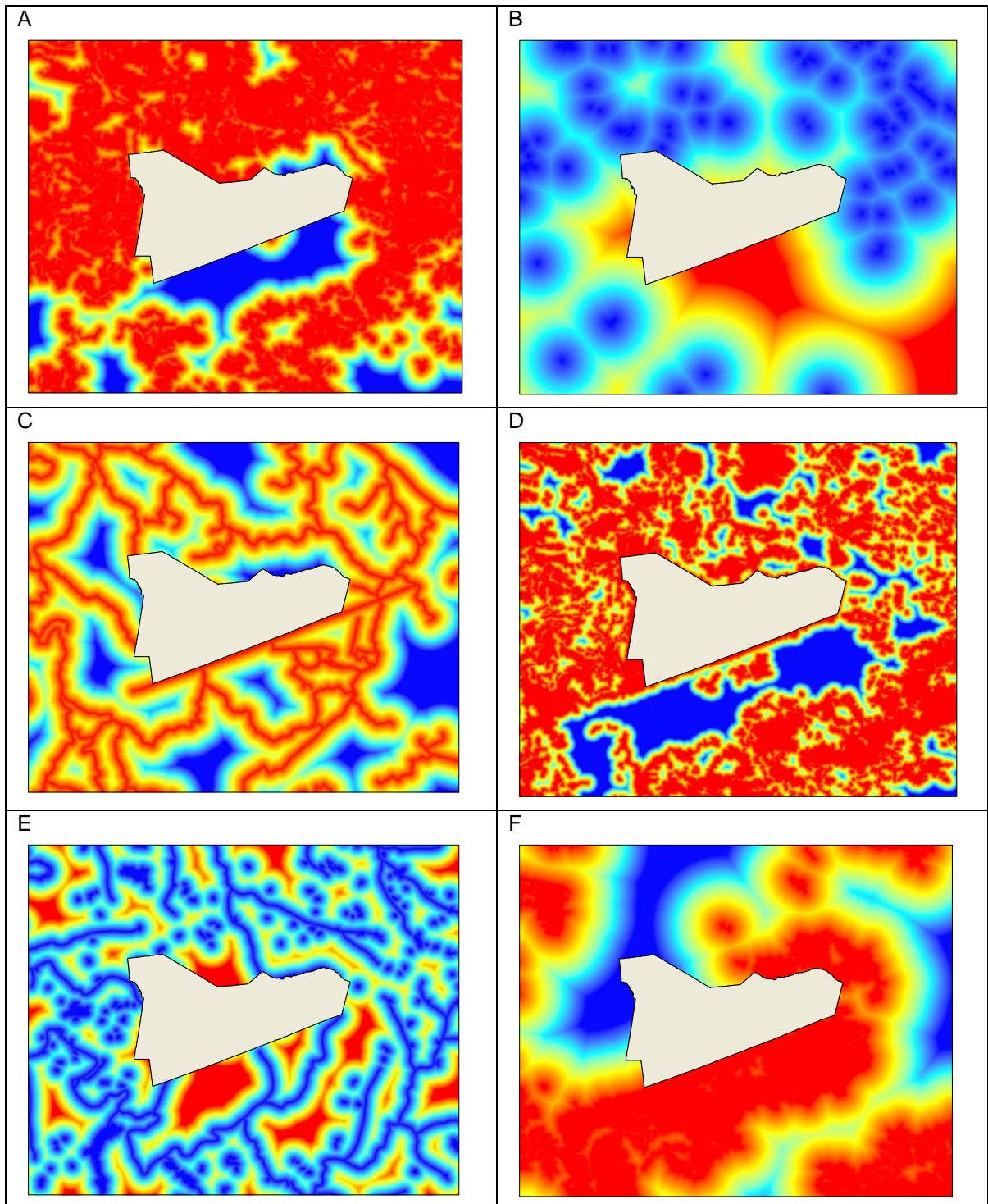


FIGURA 5.4: Padronização dos fatores distância de áreas com: A) agropecuária; B) áreas construídas; C) estradas; D) floresta nativa; E) rede hidrográfica; F) reflorestamento.

A vulnerabilidade é definida pela soma da ação de todos os fatores, por isso é necessário aplicar um método de agregação para chegar ao mapa final de vulnerabilidade. Então, após a padronização dos fatores foi utilizada a avaliação multicritério para agregar todos os fatores.

5.2.2 Avaliação multicritério

A avaliação multicritério (*Multi Criteria Evaluation* - MCE) é uma técnica de tomada de decisão bastante utilizada para avaliar e agregar muitos critérios em apenas um processo de decisão (EASTMAN, 1998). Existem basicamente dois grupos fundamentais de MCE: os baseados em operações matemáticas booleanas e os baseados na combinação linear ponderada, que utilizam a lógica fuzzy (MALCZEWSKI¹², 1991 apud por VALENTE & VETTORAZZI, 2009).

O método Hierárquico Analítico (*Analytical Hierarchy Process* – AHP) é um modelo de combinação linear ponderada desenvolvido por Saaty¹³ (1977, citado por SARTORI Neto *et al.*, 2001). Neste processo é possível atribuir a cada fator um peso que indica a sua importância no processo de agregação dos dados, através da comparação pareada (EASTMAN, 1998).

Na comparação pareada é indicado qual fator é o mais importante e quanto ele é mais importante que cada um dos demais fatores com os quais está sendo comparado, formando uma matriz simétrica (HASENACK *et al.*, 1998; ROSOT, 2000). Com a matriz completa é possível calcular os pesos de cada fator com base na análise de componentes principais (SATECS¹⁴, 2002, apud MARANDOLA & HOGAN, 2005).

Para a avaliação multicritério da área de estudo foi utilizada a extensão gratuita AHP-OWA do programa ArcGIS 9.1. Para comparação dos fatores foi utilizada a escala (Tabela 5.2) criada por Saaty que estabelece as relações quantitativas entre os fatores (citado por ROSOT, 2000; EASTMAN, 2003; HASENACK *et al.*, 1998). No módulo o usuário indica os arquivos matriciais padronizados que serão usados e dentro da ferramenta constrói a matriz de comparação pareada (Tabela 5.3).

A intensidade de importância entre os fatores foram definidas em discussão com os pesquisadores da Embrapa a partir de observações em campo.

¹² MALCZEWSKI, J.; RINNER, C. Exploring multicriteria decision strategies in GIS with linguistic quantifiers: a case study of residential quality evaluation. **Journal of Geographical System**, Norman, v.7, n.2, p.49–268, 2005.

¹³ SAATY, T. L. A scaling method for priorities in hierarchical structures **Journal of Mathematical Psychology** n.15, p.234-281, 1977.

¹⁴ Comisión Económica para América Latina y el Caribe – CEPAL. Sociodemographic vulnerability: old and new risks for communities, households and individuals. **Summary and conclusions**. Brasília: UNA, 2002.

TABELA 5.2: Escala de comparação entre fatores.

Intensidade de importância	Descrição
1/9	Extremamente menos importante que
1/7	Muito fortemente menos importante que
1/5	Fortemente menos importante que
1/3	Moderadamente menos importante que
1	Igualmente importante a
3	Moderadamente mais importante que
5	Fortemente mais importante que
7	Muito fortemente mais importante que
9	Extremamente mais importante que

Fonte: Escala de Saaty citado por Eastman, 2003.

TABELA 5.3: Matriz de comparação pareada relativa à importância dos fatores.

	Área cons.	Hidrog.	Floresta	Agrop.	Reflor.	Estrada
Área cons.	1	1	1/3	1/5	1/7	1/9
Hidrog.	1	1	1/3	1/5	1/7	1/9
Floresta	3	3	1	1/3	1/5	1/7
Agrop.	5	5	3	1	1/3	1/5
Reflor.	7	7	5	3	1	1/3
Estrada	9	9	7	5	3	1

Cada elemento da matriz indica quanto o fator da coluna esquerda é mais importante em relação a cada fator correspondente na linha superior, por exemplo, o fator distância de estradas é 9 importante para o acesso do que a distância da rede hidrográfica. Em função da natureza de cada fator foram definidos os valores de importância, considerando que as áreas construídas e hidrografia afetam a Reserva em iguais proporções, mas que estes fatores têm menor importância que os outros, e que o fator que mais influencia ao acesso é a estrada.

Após o preenchimento da matriz de comparação pareada o módulo AHP—OWA calcula os pesos de cada fator (Tabela 5.4) e a Razão de Consistência (CR), que foi de 0,0448. A CR avalia a consistência da matriz para geração de pesos, quanto mais próximo de zero a razão, mais consistente estará a matriz, esse valor deve ser menor que 0,10 (COSTA *et al.*, 2005; SAATY¹⁵, 1980 citado por VALENTE & VETTORAZZI, 2009). Uma matriz pode ser inconsistente se ocorrer falhas em sua montagem, ou na incorporação dos resultados, ou por acúmulo de erros de precisão, dentre outras formas de inconsistência (COSTA *et al.*; 2005).

¹⁵ SAATY, T. **The analytic hierarchy process**. New York: McGraw-Hill, 1980.

TABELA 5.4: Pesos calculados para cada fator usado na análise de vulnerabilidade.

Fator	Peso
Estrada	0,4750
Reflorestamento	0,2573
Agropecuária	0,1346
Floresta Nativa	0,0681
Hidrografia	0,0325
Área construída	0,0325

Com os pesos calculados e a razão de consistência dentro do limite aceitável, a extensão AHP-OWA multiplica cada fator padronizado pelo seu peso correspondente e faz a soma das multiplicações. O mapa de vulnerabilidade resultante (FIGURA 5.5) possui a mesma amplitude das imagens padronizadas, pois a soma dos pesos é igual a 1 (ROSOT *et al.*, 2000).

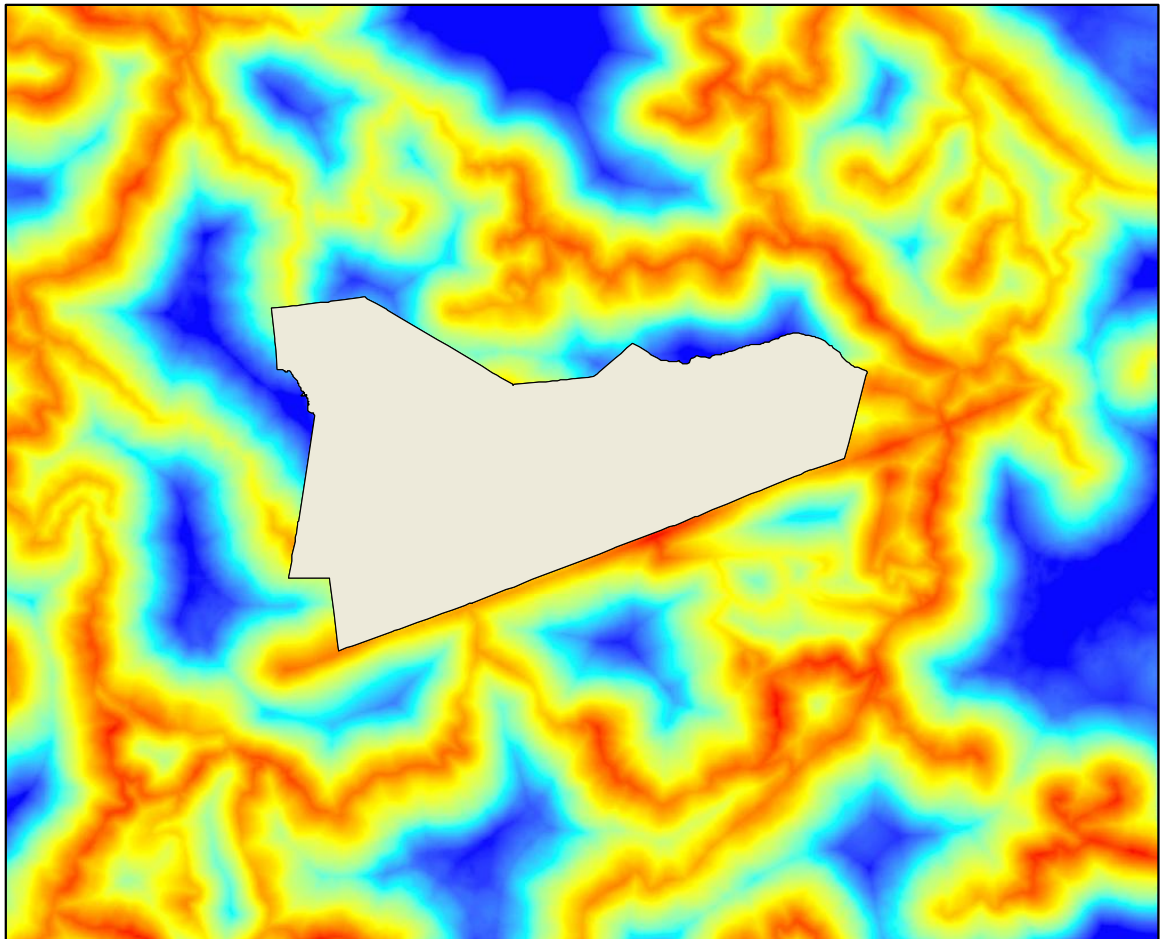


FIGURA 5.5: Imagem de vulnerabilidade de toda a área de estudo (áreas vermelhas - maior vulnerabilidade).

O vetor do limite da RFEE foi convertido em formato matricial, onde os pixels dentro do polígono receberam o valor 1 e os outros 0, gerando uma máscara. Com a

ferramenta *Raster Calculate* efetuou-se a multiplicação da imagem de vulnerabilidade da área de estudo com a imagem do limite da Reserva para obtenção do mapa (Figura 5.6) com uma distribuição contínua de vulnerabilidade da RFEE ao acesso de pessoas.

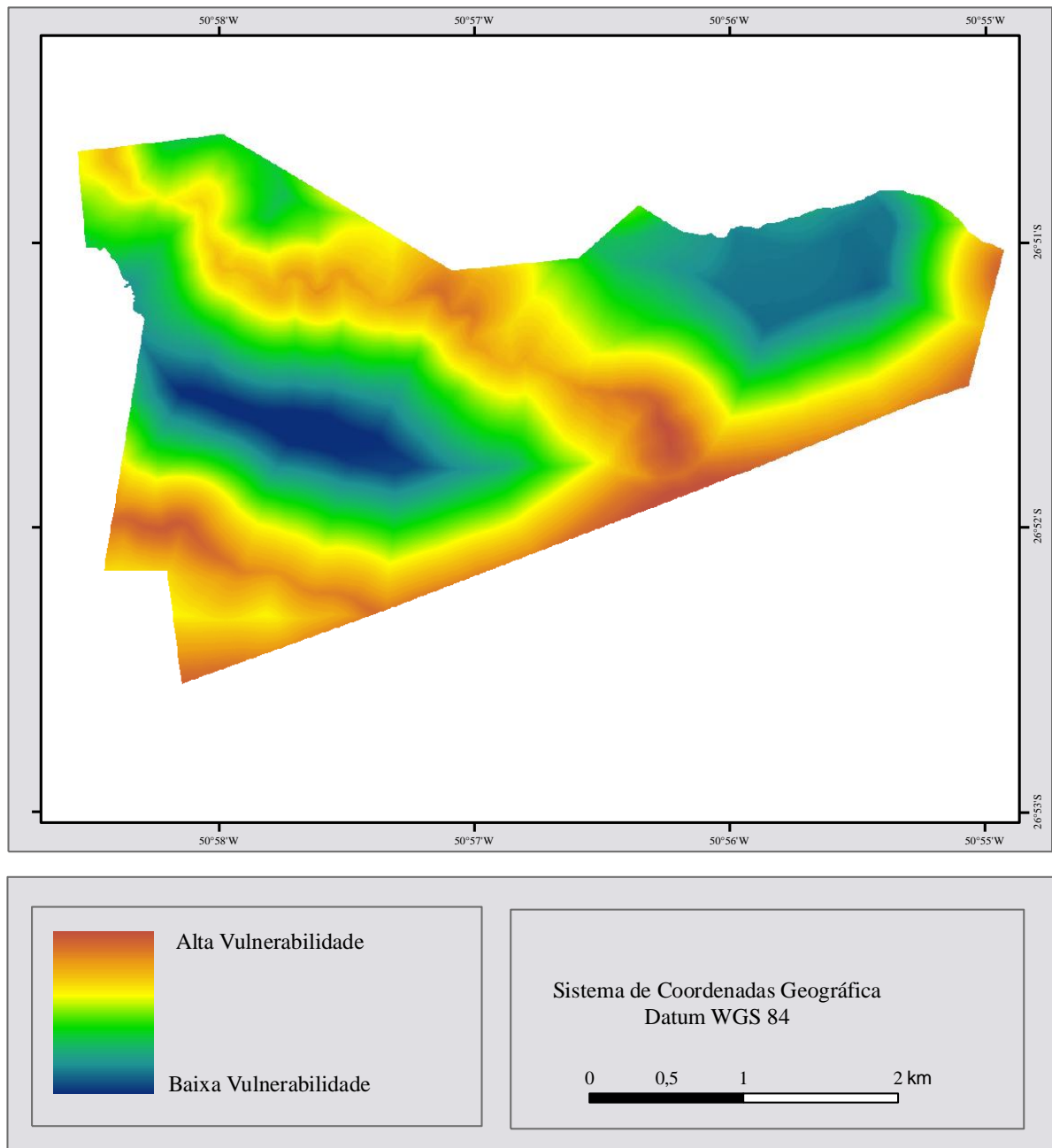


FIGURA 5.6: Mapa de vulnerabilidade da Reserva Florestal Embrapa/Epagri.

Para melhor interpretação do mapa de vulnerabilidade é necessário inseri-lo no contexto das áreas que circundam a Reserva e que, portanto, têm efeito sobre

ela. Para isso, foi efetuada uma comparação visual das classes de uso e cobertura com o mapa de vulnerabilidade, através da sobreposição desses mapas (Figura 5.7).

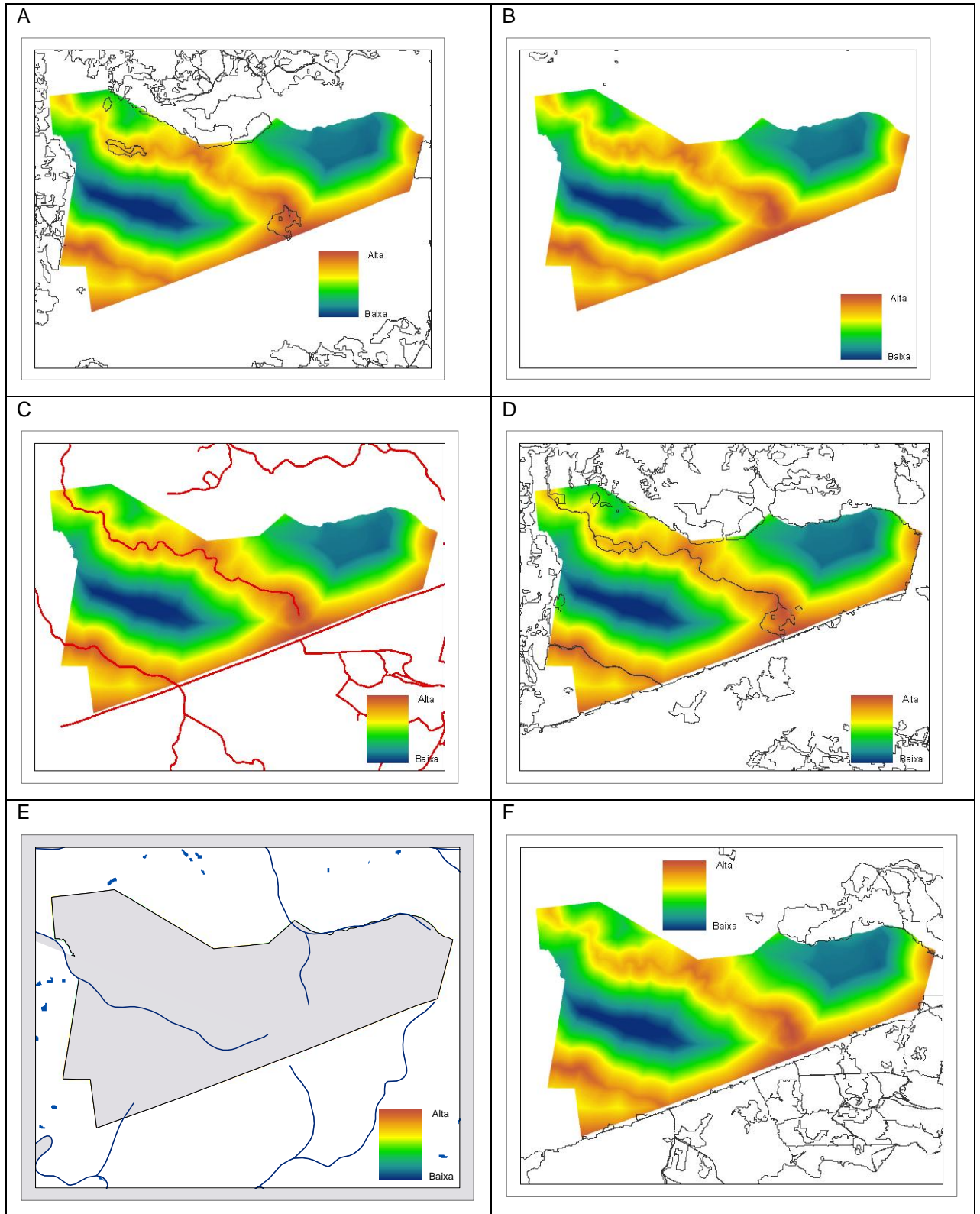


FIGURA 5.7: Sobreposição das classes de uso e cobertura da terra com o mapa de vulnerabilidade: A) agropecuária; B) áreas construídas; C) estradas; D) floresta nativa; E) rede hidrográfica; F) Reflorestamento.

Analisando a figura, percebe-se que a agropecuária e a floresta nativa não apresentaram nenhuma tendência em relação a vulnerabilidade, ou seja estão próximas às áreas com alta e baixa vulnerabilidade (Figura 5.7 A e D). Próximo a rede hidrográfica estão as áreas de menor vulnerabilidade (Figura 5.7 E). Devido à grande distância que as áreas construídas se encontram da RFEE, estas tiveram influência na baixa vulnerabilidade da apenas na porção norte da Reserva (Figura 5.7 B). As estradas estão nas áreas mais vulneráveis (Figura 5.7 C). Os reflorestamentos também são responsáveis pela vulnerabilidade alta, exceto onde há a presença da rede hidrográfica, que minimiza o seu efeito (Figura 5.7 F).

De maneira geral as áreas mais vulneráveis estão próximas de estradas e dos reflorestamentos. E as áreas menos vulneráveis localizam-se próximas a rede hidrográfica.

O mapa final de vulnerabilidade refere-se apenas ao acesso de pessoas estranhas na Reserva. Se forem avaliados outros riscos os fatores e seus respectivos pesos devem ser redefinidos, com base em estudo de campo e discussão com estudiosos do risco.

5.3 CONCLUSÕES DO CAPÍTULO

A análise utilizada mostrou-se adequada aos objetivos propostos, resultando em um mapa das áreas mais vulneráveis ao acesso de estranhos.

O método, embora envolva várias fases de processamento, revela-se promissor em função dos resultados fornecidos.

As principais áreas com maior vulnerabilidade são as próximas a reflorestamento e estradas, por outro lado, as com menor vulnerabilidade são as próximas à rede hidrográfica.

A metodologia descrita ainda pode ser aplicada a análises de outros focos de vulnerabilidade da Reserva, desde que modificados os critérios e fatores.

O mapa das áreas de maior vulnerabilidade é uma ferramenta importante para o planejamento de medidas a serem tomadas, visando a fiscalização e redução da entrada de pessoas na Reserva.

Para trabalhos futuros é recomendável aprofundar as análises com a utilização de outros fatores e utilizando novas funções de pertinência, ampliando o mapa de vulnerabilidade da RFEE.

6.CONCLUSÕES GERAIS

6. CONCLUSÕES GERAIS

O uso da classificação orientada a objeto neste mapeamento resultou em um mapa qualificado como muito bom pelo índice Kappa, porém algumas classes apresentaram erros maiores que o desejado, sendo necessária a correção por meio de interpretação e edição visual.

A aplicação do método híbrido, classificação orientada a objeto e edição visual, facilitou e melhorou o mapeamento, pois o tempo de delimitação das feições e atribuição de suas respectivas classes foi abreviado pela classificação digital. Por outro lado, a edição pós-classificação assegurou a correta atribuição de classe a cada polígono, melhorando a acurácia do mapeamento.

O uso e a cobertura predominantes na área de estudo são caracterizados por atividades antrópicas.

Os fragmentos florestais representam 33% da área de estudo, divididos em 1133 manchas, com tamanho médio de 9,9 ha e tamanho máximo de 1.288 ha.

Fragmentos menores que 10 ha representam 86% do número de fragmentos e 13% da área, enquanto os fragmentos maiores que 100 ha representam 2% em número e 48% em área. Essa relação inversa entre o número de fragmentos e a soma de áreas sugere que há uma boa distribuição dos fragmentos, pois os fragmentos grandes funcionam como habitat e os pequenos como pontos de parada para os dispersores.

Pelo fator de forma, os fragmentos são caracterizados como irregulares, o que faz com que sofram fortes pressões das bordas.

Considerando a simulação do efeito de borda, restariam 40% do número de fragmentos maiores que 0,1 ha, em relação ao número original, e 43% em área. Os fragmentos maiores que 100 ha aumentariam 547% em número, porém a soma de suas áreas representaria 60% da área originalmente coberta por floresta nativa.

A paisagem da área de estudo, encontra-se prejudicada em relação à qualidade do habitat, pois 67% da vegetação natural são constituídos de ambiente de borda, o que compromete a sustentabilidade do ecossistema.

A análise de vulnerabilidade utilizada mostrou-se adequada aos objetivos propostos, resultando em um mapa das áreas mais vulneráveis ao acesso de estranhos.

As principais áreas com maior vulnerabilidade são as próximas a reflorestamento e estradas; por outro lado, as com menor vulnerabilidade são as próximas à rede hidrográfica.

A metodologia descrita ainda pode ser aplicada a análises de outros focos de vulnerabilidade da Reserva, desde que modificados os critérios e fatores.

O mapa das áreas de maior vulnerabilidade é uma ferramenta importante para o planejamento de medidas a serem tomadas, visando à fiscalização e redução da entrada de pessoas na Reserva.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

ACSELRAD, H. Vulnerabilidade ambiental, processos e relações. In: ENCONTRO NACIONAL DE PRODUTORES E USUÁRIOS DE INFORMAÇÕES SOCIAIS, ECONÔMICAS E TERRITORIAIS, 2, 2006. Rio de Janeiro. **Comunicação**. Rio de Janeiro: IBGE, 2006.

ALMEIDA, C. G. da. **Análise espacial dos fragmentos florestais na área do Parque Nacional dos Campos Gerais, Paraná**. 72f. Dissertação (Mestrado em Geociências) Setor de Ciências Exatas e Naturais, Universidade de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2008.

ALMEIDA, C. M. de. (E.d). **Geomática: Modelos e Aplicações Ambientais**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 56-103, 2007.

ANJOS, A.; MAZZA, M. C. M.; SANTOS, A. C. M. C.; DELFINI, L. T. Análise do padrão de distribuição espacial da araucária (*Araucaria angustifolia*) em algumas áreas no Estado do Paraná, utilizando a função K de Ripley. **Scientia Forestalis**, n. 66, p. 38-45, 2004.

ANTUNES, A. F. B. **Classificação de ambiente ciliar baseada em orientação a objeto em imagens de alta resolução espacial**. 147f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.

BELCHIOR, A. D. **Um modelo fuzzy para avaliação da qualidade de software**. 185f. Tese (Doutorado em Engenharia) – Departamento de Ciências em Engenharia de Sistemas e Computação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.

BISPO, C. A. F. **Uma análise da nova geração de sistemas de apoio à decisão**. 143p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

BONVENTI, W.; COSTA, A. H. R. Comparação entre métodos de definição de conjuntos nebulosos de cores para a classificação de pixels. In: WORKSHOP ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND COMPUTER VISION, 1, 2000. Atibaia. **Anais...** Atibaia: IBERAMIA, p. 105-110, 2000.

BORGES, L. F. R.; SCOLFORO, J. R.; OLIVEIRA, A. D. de; MELLO, J. M. de; ACERBI, F. W.; FREITAS, G. D. de. Inventário de fragmentos florestais nativos e propostas para seu manejo e o da paisagem. **Revista Cerne**, v. 10, n. 1. Lavras, p. 22-38, 2004.

CALDATO, S.; LONGHI, S.J.; FLOSS, P.A. Estrutura populacional de *Ocotea porosa* (Lauraceae) em uma Floresta Ombrófila Mista, Caçador, SC. **Ciência Florestal**. v.9, n.1, p. 89-101, 1999.

CÂMARA, G.; BARBOSA, C.; FREITAS, U.M. de. Operações de análise geográfica. In: MEDEIROS, J.S.de. CÂMARA, G. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. São José dos Campos: INPE, 2001.

CAMPOS, M. A. A. **Padrão e dinâmica de floresta tropical, através de classificação orientada a objeto e da análise da paisagem com imagens**

LANDSAT. 105f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

CAZES, T. B.; FEITOSA, R. Q.; REGO, L. F. G. Incorporação de conhecimento do especialista através de regras para a classificação de imagens de sensores remotos de alta resolução. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, p. 5659-5666, 2007.

CENTENO, J. S. **Sensoriamento remoto e processamento de imagens digitais.** Curitiba: Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, 2009.

COSTA, J. F. da S.; WANDERLEY, A. J.M.; COSENZA, C. A. N. Utilização de algoritmos genéticos em metodologia multicritério: uma solução para inconsistência matricial. **Revista Gestão Industrial**, v. 1, n. 4. Ponta Grossa, p. 519-527, 2005.

COUTO, P. Análise factorial aplicada a métricas da paisagem definidas em FRAGSTATS. **Revista de Investigação Operacional**, Lisboa, v. 24, p. 109-137, 2004.

CROSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto.** Ed. Revisada. Campinas: UNICAMP, 1993.

CRUZ, C. B. M.; VICENS, R. S.; SEABRA, V. da 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: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, p. 5691-5698, 2007.

DEFINIENS IMAGING GMBH. **eCognition's User Guide 3.** Munich, 2003.

DLUGOSZ, F. L.. **Classificação orientada a regiões na discriminação de tipologias da Floresta Ombrófila Mista usando imagens orbitais Ikonos.** 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

DONHA, A. G.; SOUZA, L. C. de P.; SUGAMOSTO, M. L. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 175-181, 2005.

EASTMAN, J. R. **IDRISI - manual do usuário: introdução e exercícios tutoriais.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1998.

EASTMAN, J. R. **IDRISI Kilimanjaro: guide to GIS and image processing.** Worcester: Clark Labs, 2003.

EMBRAPA Monitoramento por Satélite. **ALOS - Advanced Land Observing Satellite.** Disponível em:< <http://www.sat.cnpm.embrapa.br/conteudo/alos.htm>>. Acesso em: 16/06/10.

EMBRAPA Solos. **Vetor do levantamento de reconhecimento de solos do Estado de Santa Catarina 2005 – Solos**. Disponível em: < <http://mapoteca.cnps.embrapa.br/>>. Acesso em: 26/01/11.

EPAGRI/CIRAM. **Zoneamento agroecológico e socioeconômico do Estado de Santa Catarina**. Disponível em: < <http://ciram.epagri.sc.gov.br/portal/website/index.jsp?url=jsp/agricultura/zoneAgroecologico.jsp&tipo=agricultura> >. Acesso em: 25/01/11.

ESRI. **V-LATE 1.1 (for ArcGIS 9)**. Disponível em: <<http://arcscripts.esri.com/details.asp?dbid=13898>>. Acesso em: 28/10/10.

FORMAN, R. T. T. GODRON, M. **Landscape ecology**. New York: John Wiley & Sons, 1986.

FORMAN, T. T. **Land mosaics: the ecology of landscapes and regions**. New York: Cambridge University, 632 p. 1995.

FREITAS, M. W. D. de; SANTOS, J. R. Classificação multitemporal orientada a objetos aplicada às mudanças de uso e cobertura da terra. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 9, 2010. Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, p. 499-506, 2010.

GASTON, K. J.; PRESSEY, R. L.; MARGULES, C. R. Persistence and vulnerability: retaining biodiversity in the landscape and in protected areas. **Journal of Biosciences**, v. 27, n. 4. Bangalore, p. 361-384, 2002.

GOMIDE, F. A. C.; GUDWIN, R. R.; Modelagem, controle, sistemas e lógica fuzzy. **Revista da Sociedade Brasileira de Automática**. Porto Alegre, v. 4, n. 3, p.97-115, 1994.

GUERRA, M. P.; SILVEIRA, V.; REIS, M. S.; SCHNEIDER, L. Exploração, manejo e conservação da araucária (*Araucaria angustifolia*). In: SIMÕES, L. L.; LINO, C. F. (Org.) **Sustentável Mata Atlântica: a exploração de seus recursos florestais**. São Paulo: Senac, 2002. P. 85-102.

HASENACK, H. WEBER, E., VALDAMERI, R. Análise de vulnerabilidade de um parque urbano através de módulos de apoio a decisão em Sistemas de Informação Geográfica. In: Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento, 4, **Anais...** Curitiba/PR, 1998

IBGE. **Imagens do Satélite ALOS**. Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/alos/>>. Acesso em: 18/06/10.

INPE. **Segmentação de imagens**. 2010. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/segmentacao.htm> >. Acesso em 24/11/10.

JAXA. **ALOS Advanced Land Observing Satellite**. Disponível em: < http://www.eorc.jaxa.jp/en/hatoyama/satellite/satdata/alos_e.html>. Acesso em: 21/06/2010.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São Jose dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

KELLERMANN, B. **Monitoramento da regeneração natural em fragmentos de Floresta Ombrófila Mista e Morfoanatomia de Plântulas e Tirodendros de Piptocarpha Angustifolia Dusén Ex Malme (Asteraceae)**. 140f. Dissertação (Mestrado em Botânica) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

KIRCHNER, F. F.; RODERJAN, C. V.; ACCO, M.; ACCIOLY, P.; ALVES, M. O uso da técnica de segmentação de imagens na caracterização de diferentes fases sucessionais da vegetação, pôr meio de fotografias aéreas coloridas verticais. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 5, 2002. Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, p. 101-107, 2002.

KLEIN, R. M. O aspecto dinâmico do pinheiro brasileiro. **Sellowia**, 12 (12): 17-44, 1960.

KURASZ, G. **Sistema de Informações Geográficas aplicado ao zoneamento ambiental da Reserva Florestal EMBRAPA/EPAGRI, Caçador/SC**. 140f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

KURASZ, G.; OLIVEIRA, Y. M. M. de; ROSOT, M. A. R. Geotecnologias e ecologia da paisagem: subsídio para a gestão ambiental. In: GEBLER, L.; PALHARES, J. C. P. **Gestão Ambiental na Agropecuária**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 32-60, 2007.

LANG, S. A utilização do conceito de totalidade (holismo) na geração de planos de segmentação regionalizados em conjuntos de imagens de altíssima resolução. In: BLASCHKE, T.; KUX, H. **Sensoriamento remoto e SIG avançados: novos sistemas sensores, métodos inovadores**. São Paulo: Oficina de textos, p.39-46, 2007.

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

LUZ, J. **Imagens ALOS para o mapeamento da vegetação arbórea e outros usos do solo em área de Floresta Ombrófila Mista**. 121f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, 2009.

LUZ, N. B. da. **Análise espacial como subsídio à recuperação de ecossistemas apoiada na ecologia de paisagens e imagens Ikonos**. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias , Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

LUZ, N. B. da; SANTOS, D. J. dos; ANTUNES, A. F. B. Segmentação de imagens e classificação baseada em regras de conhecimento como novas abordagens para o mapeamento do uso da terra no Estado do Paraná. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009. Natal. **Anais...** Natal: INPE, p. 989-996, 2009.

MARONDOLA, E. Jr; HOGAN, D. J. Vulnerabilidades e riscos: entre geografia e demografia. **Revista Brasileira de Estudos de População**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 29-53, 2005.

METZER, J. P. O que é ecologia de paisagens? **Biota Neotrópica**, Campinas. v. 1, n. 12, 2001.

MONTEIRO, A.; LINGNAU, C.; SOUZA JR, C. Classificação orientada a objetos para detecção da exploração seletiva de madeira na Amazônia. **Revista Brasileira de Cartografia**. Rio de Janeiro, v. 3, n. 59, p. 225-234, 2007.

MORAIS, R. P.; MIRANDA, C. S.; LIMA, D. L.; ANACHE, J. A. A.; STANIESKI, J.; PARANHOS Filho, A. C. Uso dos Sensores AVNIR2 e PRISM do ALOS na identificação das Áreas de Preservação Permanente. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009. Natal. **Anais...** Natal: INPE, p. 5315-5320, 2009.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3.ed. São José dos Campos:INPE, 2007.

NIEDERNEIER, F. R.; MATSUSHITA, M. S. Uso do geoprocessamento para identificação e quantificação de áreas de florestas disponíveis para obtenção de crédito de carbono. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 8, 2008. Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, p. 133-142, 2008.

NOBREGA, R. A. de A. **Deteção da malha viária na periferia urbana de São Paulo utilizando imagens de alta resolução espacial e classificação orientada a objetos**. 166f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

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

ONO, M. **Report on 1st year activities by JICA experts**. Trabalho apresentado no 2º Seminário de Contribuição ao monitoramento da Amazônia com dados do satélite ALOS, Brasília, 2010.

PACHECO, M. A. C. **Algoritmos genéticos: princípios e aplicações**, 1999. Disponível em: < <http://www.ica.ele.puc-rio.br/Downloads/38/CE-Apostila-Comp-Evol.pdf>>. Acesso em 24/11/2010.

PINHEIRO, E. S.; KUX, H. J. H. Imagens Quickbird aplicadas ao mapeamento do uso e cobertura da terra do Centro de Pesquisas e Conservação da Natureza Pró-Mata. In: BLASCHKE, T.; KUX, H. **Sensoriamento remoto e SIG avançados: novos sistemas sensores, métodos inovadores**. São Paulo: Oficina de textos. p. 269-287, 2007.

PINHO, C. M. D.; KUX, H. J. H.; ALMEIDA, C. M. Influência de diferentes padrões de ocupação do solo urbano na qualidade de mapeamentos de coberturado solo em imagens de alta resolução espacial: estudo de caso São José dos Campos. In:

BLASCHKE, T.; KUX, H. **Sensoriamento remoto e SIG avançados**: novos sistemas sensores, métodos inovadores. São Paulo: Oficina de textos. p.198-208, 2007.

PIRES, P. S. **Avaliação da qualidade visual da paisagem na região carbonífera de Criciúma - SC**. Curitiba. 71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 1993.

RIBEIRO, S. R. A.; SANTOS, D. R. dos; CENTENO, J. S. Aplicação da metodologia de dados orientado a objeto na classificação de uma área urbanizada, utilizando uma imagem digital obtida por meio da tecnologia do laser scanner. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOMÁTICA, 2002. Presidente Prudente. **Anais...** Presidente Prudente, p.144-149, 2002.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 4.ed. Uberlândia: Edufu, 2001.

ROSARIO, L. S.; CRUZ, C. B. M.; TEMPONI, L. M.; SANTOS, P. R. A. dos. Análise Orientada a Objeto no Mapeamento dos Estágios Sucessionais da Vegetação na Escala 1:25.000 – um Estudo de Caso da Rebio União, RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009. Natal. **Anais...** Natal: INPE, p. 7119-7126, 2009.

ROSOT, M. A. D.; BARCZAK, C. L.; COSTA, D. M. B. **Análise da vulnerabilidade do manguezal do Itacorubi à ações antrópicas utilizando imagens de satélite e técnicas de geoprocessamento**. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, 4. Florianópolis, 2000. Disponível em: <<http://www.geodesia.ufsc.br>>. Acesso em: 05/09/10.

ROSOT, M. A. D.; MATTOS, P.P.; GARRASTAZU, M.C.; SHIMIZU, J.Y. Monitoramento na Reserva Florestal da Embrapa/Epagri (RFEE) em Caçador, SC. **Série Documentos Embrapa Florestas**, 158, 35p, 2007.

ROSOT, M. A.; OLIVEIRA, Y.M.M.; CRUZ, P.; MATTOS, P.P. Modelo de plano de manejo en la reserva forestal Embrapa/EPAGRI (Caçador): un reto para la conservación y uso del bosque de Araucaria en Brasil. In: Congreso Iberoamericano de Bosques Modelo, 1, 2008. Soria. **Resúmenes de Comunicaciones**, Soria, 2008. p. 95.

RUHOFF, A. L.; SOUZA, B. S. P.; GIOTTO, E.; PEREIRA, R. S. Lógica Fuzzy e Zoneamento ambiental da Bacia do Arroio Grande. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005. Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, p. 2355-2362, 2005.

SARTORI Neto, A.; BRITES, R. S.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, J. C. Subsídios para Elaboração do Plano de Manejo do Parque *Grande Sertão Veredas* por meio de um Sistema de Informações Geográficas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 10. Foz do Iguaçu, 2001. **Anais...**p. 493-502. 2001.

SERVELLO, E. L.; DISPERATI, A. A.; LOPES, A. L. de B.; SANTOS, J. R.; OLIVEIRA Filho, P. C. de. Mapeamento de uso da terra na região Centro-Sul do Paraná com imagem CBERS a partir da técnica de modelo linear de mistura espectral. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: INPE, p. 1125-1132, 2007.

SOARES, V. P.; SANTOS, A. L. F.; RIBEIRO, C. A. A. S.; PEREIRA, L. S. Mapeamento do uso e cobertura da terra na bacia do Rio Piancó-GO, utilizando-se de imagens do sensor AVNIR-2/ ALOS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009. Natal. **Anais...** Natal: INPE, p. 7167-7172, 2009.

STOLLE, L. **Simulação e espacialização de fragilidade ambiental em relação às atividades florestais**. 78f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

TABANEZ, A. A. J.; VIANA, V. M.; DIAS, A. D. S. Consequências da fragmentação e do efeito de borda sobre a estrutura, diversidade e sustentabilidade de um fragmento de floresta de planalto de Piracicaba, SP. **Revista Brasileira de Biologia**, v 57, n.1, p.47-60. 1997

THOMÉ, N. **Ciclo da madeira: história da devastação da Floresta da Araucária e do desenvolvimento da indústria da madeira em Caçador e na Região do Contestado no século XX**. Caçador: Universal, 1995.

THOMÉ, N. **Isto é Caçador. Estudo geográfico do município**. Caçador: Imprensa Universal. 1ª ed. 177p. 1978.

TORTATO, M. A.; OLIVEIRA, Y. M. M; MATTOS, P. P.; GARRASTAZU, M. C.; LACERDA, A. E. B. Mamíferos silvestres y su relación con la dinámica de un Bosque de Araucaria en el sur de Brasil. In: CONGRESO FORESTAL MUNDIAL, 13, 2009, Buenos Aires. **Desarrollo forestal: equilibrio vital**, Buenos Aires, 2009.

UDA, P. K.; CORSEUIL, C. W.; AGUIAR Neto, A. de O.; BORTOLOTTI, N. L. Análise da evapotranspiração potencial distribuída por meio de imagens ndvi, na Bacia do Rio Negrinho - Sc. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 9, 2010. Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, p. 288-295, 2010.

VALENTE, R. de O. A. **ANÁLISE DA ESTRUTURA DA PAISAGEM NA BACIA DO RIO CORUMBATAÍ, SP**. 144 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Setor Ciências Agrárias, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiros, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2001.

VALENTE, R. de O. A.; VETTORAZZI, C. A. Comparação entre métodos de análise de sensibilidade, empregados na tomada de decisão com a avaliação multicriterial. In: Revista Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 37, n. 82, p. 197-211, 2009.

VIANA, V. M.; PINHEIRO, L. A. F. V. Conservação da biodiversidade em fragmentos florestais. Série Técnica IPEF, Piracicaba, v. 12, n. 32, p. 25-42, 1998.

VIANA, V. M.; TABANEZ, A. J. A.; MARTINEZ, J. L. A. Restauração e manejo de fragmentos florestais. **Revista do Instituto Florestal de São Paulo**, v. 4. P. 86-94, 1992.