UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

PABLO LUIZ MAIA NEPOMUCENO

Geoprocessamento nos mapeamentos de inventário dos Planos de Manejo
de Unidades de Conservação paulistas:
Avaliação dos casos do PETAR e da APA-VRT a partir da revisão
integrada da literatura

São Paulo
2016

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

PABLO LUIZ MAIA NEPOMUCENO

Geoprocessamento nos mapeamentos de inventário dos Planos de Manejo
de Unidades de Conservação paulistas:
Avaliação dos casos do PETAR e da APA-VRT a partir da revisão
integrada da literatura

Tese apresentada ao Programa de Pós-
graduação em Geografia Física da
Faculdade de Filosofia Letras e
Ciências Humanas da Universidade de
São Paulo para obtenção do título de
Doutor em Geografia Física

Orientador: Prof. Dr. Ailton Luchiari

São Paulo

2016

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Catálogo da Publicação
Departamento de Geografia Física
Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo

NEPOMUCENO, Pablo Luiz Maia.

Geoprocessamento nos mapeamentos de inventário dos Planos de Manejo de Unidades de Conservação paulistas: Avaliação dos casos do PETAR e da APA-VRT a partir da revisão integrada da literatura / Pablo Luiz Maia Nepomuceno; Orientador: Prof. Dr. Ailton Luchiari. – São Paulo, 2016.

367 f.

Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo, 2016.

1. Geoprocessamento. 2. Planos de Manejo. 3. Planejamento Ambiental. 4. Mapeamentos Temáticos. 5. Geomorfologia. 6. Topoclimas. 7. Fitofisionomias. 8. Uso da Terra.

NEPOMUCENO, P. L. M. Geoprocessamento nos mapeamentos de inventário dos Planos de Manejo de Unidades de Conservação paulistas: Avaliação dos casos do PETAR e da APA-VRT a partir da revisão integrada da literatura. Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Geografia Física.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____	Instituição: _____
Julgamento: _____	Assinatura: _____
Prof. Dr. _____	Instituição: _____
Julgamento: _____	Assinatura: _____
Prof. Dr. _____	Instituição: _____
Julgamento: _____	Assinatura: _____
Prof. Dr. _____	Instituição: _____
Julgamento: _____	Assinatura: _____
Prof. Dr. _____	Instituição: _____
Julgamento: _____	Assinatura: _____

Dedico ao meu pai e a toda a minha família.

Agradecimentos

Agradeço antes de tudo ao meu orientador, colega e amigo, Ailton Luchiari por toda a dedicação, confiança e paciência que demonstrou ter comigo durante todo o desenvolvimento desta pesquisa. Na mesma medida em que agradeço também ao Professor Alfredo de Pereira Queiroz Filho que se revelou como um verdadeiro co-orientador desde o seu primeiro contato com a pesquisa, que se deu após a sua participação na banca do exame de qualificação.

Agradeço também a todos os Professores e funcionários do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo que contribuíram de alguma maneira para que ela pudesse ser concluída, especialmente aos Professores Jurandyr Luciano Sanches Ross e Reinaldo Paul Pérez Machado, por terem também me encorajado a transformá-la em uma tese de doutorado, ao invés da ideia inicial de uma dissertação de mestrado; assim como ao Professor Luis Antonio Bittar Venturi por estar sempre disposto a esclarecer algumas das questões que ainda se encontravam ligeiramente “turvas” na pesquisa, antes da sua conclusão.

Agradeço ainda à Fundação Florestal por ter cedido uma série de documentos que não se encontram publicados, por consistirem em documentos internos a este órgão, sem os quais o desenvolvimento desta pesquisa não seria possível.

Por fim, agradeço a toda minha família: avós, pai, mãe, irmãos, sobrinhos e sogra, por toda a compreensão e disposição em me ajudar durante essa importante fase da minha vida; e especialmente à minha companheira Cristina Flaieh, que tem me acompanhado e me apoiado no meu desenvolvimento pessoal e profissional há mais de oito anos, antes mesmo da conclusão da minha graduação. Dedico a todos vocês a minha sincera gratidão e espero corresponder a todos, de alguma forma, à mesma altura do que me foi proporcionado. Muito obrigado!

Epígrafe

Se o levantamento de informações geográficas são as bases para as tomadas de decisão no Planejamento territorial, informações geográficas de qualidade são as bases para as decisões mais acertadas.

Pablo Luiz Maia Nepomuceno

NEPOMUCENO, P. L. M. Geoprocessamento nos mapeamentos de inventário dos Planos de Manejo de Unidades de Conservação paulistas: Avaliação dos casos do PETAR e da APA-VRT a partir da revisão integrada da literatura. 2016. 367 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2016.

Resumo: Os mapeamentos de dados de inventário nos Planos de Manejo de Unidades de Conservação consistem em uma das atividades mais importantes da elaboração destes documentos, pois deles derivam as análises de diagnóstico e as decisões que são tomadas para a gestão dessas áreas de relevante interesse ambiental para a sociedade. Desse modo, o uso de dados adequados e a escolha de opções técnicas mais eficientes são fundamentais para proporcionar a obtenção de melhores resultados nesses levantamentos, assim como a execução de procedimentos de aferição e validação dos resultados obtidos, independentemente dos métodos e técnicas envolvidos no processo de levantamento, são fundamentais para garantir a sua confiabilidade durante a realização das análises e das tomadas de decisão. Nessa perspectiva, portanto, esta pesquisa se propôs a avaliar se as opções técnicas mais eficientes de geoprocessamento atualmente disponíveis, conforme evidenciadas pela revisão integrativa da literatura, vêm sendo oportunamente e adequadamente aproveitadas nos Planos de Manejo que vêm sendo produzidos para Unidades de Conservação paulistas, contribuindo não apenas para alertar os órgãos gestores destas Unidades de Conservação sob um possível subaproveitamento dessas técnicas, como também para indicar alternativas que possam ser levadas em consideração durante a elaboração de Planos de Manejo futuros.

Palavras-chave: Geoprocessamento, Planos de Manejo, Planejamento Ambiental, Mapeamentos Temáticos, Geomorfologia, Topoclimas, Fitofisionomias, Uso da Terra.

NEPOMUCENO, P. L. M. Geoprocessing in the inventory data mappings in Areas Management Plans of São Paulo protected areas: Evaluation of PETAR cases and the APA-VRT from an integrated literature review. 2016. 367 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2016.

Abstract: The inventory data mappings in Protected Areas Management Plans consist of one of the most important activities of these papers because from them derive the diagnostic analyzes and decisions that are taken to the management of these areas of relevant environmental interest to the society. Thus the use of appropriate data and the choice of more efficient technical options are critical to provide the best results in these surveys as well as the execution of calibration procedures and validate of these results, regardless of the methods and techniques involved in the survey process, are fundamental to ensure its reliability during the time of analysis and decision making. From this perspective, therefore, this research aimed to assess whether the most efficient technical options currently available geoprocessing, as evidenced by the integrative literature review, have been timely and properly utilized in Management Plans that have been produced for São Paulo protected areas, contributing not only to alert the governing bodies of these protected areas under a possible under-utilization of these techniques, but also to indicate alternatives that can be taken into account during the preparation of future Management Plans.

Key-words: Geoprocessing, Management Plans, Environmental Planning, Thematic Mappings, Geomorphology, Topoclims, Phytophysiognomy, Land Use.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVAS	1
2. OBJETIVOS	9
3. HIPÓTESE	10
4. REVISÃO CONCEITUAL	11
4.1. UNIDADES DE CONSERVAÇÃO E PLANOS DE MANEJO	11
4.1.1. AS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NO MUNDO	12
4.1.2. AS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NO BRASIL	15
4.1.3. O SISTEMA NACIONAL DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO – SNUC	18
4.1.4. A IMPORTÂNCIA DAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DO ESTADO DE SÃO PAULO	21
4.1.5. OS PLANOS DE MANEJO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NO BRASIL E NO ESTADO DE SÃO PAULO	29
4.1.6. JUSTIFICATIVAS QUANTO À ESCOLHA DAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO CUJOS PLANOS DE MANEJO FORAM TOMADOS PARA ESTUDOS DE CASO	35
4.1.6.1. O PARQUE ESTADUAL TURÍSTICO ALTO RIBEIRA – PETAR	36
4.1.6.2. A ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL VÁRZEA DO RIO TIETÊ – APA-VRT	38
4.2. O CONCEITO DE GEOPROCESSAMENTO E DAS SUAS RESPECTIVAS TECNOLOGIAS	43
4.2.1. SISTEMAS GLOBAIS DE NAVEGAÇÃO POR SATÉLITES – GNSS	44
4.2.2. SENSORIAMENTO REMOTO	49
4.2.3. PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS	57
4.2.4. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS	65
4.2.5. O GEOPROCESSAMENTO NAS ATIVIDADES DE PLANEJAMENTO E ORDENAMENTO TERRITORIAL	80
5. METODOLOGIA	86
6. PROCEDIMENTOS	91
7. RESULTADOS	98
7.1. TEMAS OBJETOS DE MAPEAMENTO DEMANDADOS PELOS PLANOS DE MANEJO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DO ESTADO DE SÃO PAULO	98
7.2. OPÇÕES TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO QUE PODEM SER APLICADAS NOS MAPEAMENTOS DE INVENTÁRIO SELECIONADOS	114
7.2.1. MAPA GEOMORFOLÓGICO	115
7.2.2. MAPA DOS TIPOS E CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS	140
7.2.3. MAPA DE FITOFISIONOMIAS	162
7.2.4. MAPA DE USO DA TERRA	197
7.2.5. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE MAPEAMENTO TEMÁTICO	239

8. AVALIAÇÃO DAS TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO UTILIZADAS NA PRODUÇÃO DOS MAPEAMENTOS DE INVENTÁRIO DOS PLANOS DE MANEJO DO PETAR E DA APA-VRT	256
8.1. MAPA GEOMORFOLÓGICO DA APA-VRT	259
8.2. MAPA GEOMORFOLÓGICO DO PETAR	268
8.3. MAPA DE TIPOS E CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DA APA-VRT	275
8.4. MAPA DE TIPOS E CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DO PETAR	281
8.5. MAPA DE FITOFISIONOMIAS DA APA-VRT	287
8.6. MAPA DE FITOFISIONOMIAS DO PETAR	292
8.7. MAPA DE USO DA TERRA DA APA-VRT	296
8.8. MAPA DE USO DA TERRA DO PETAR	301
9. SÍNTESE DOS RESULTADOS E CONCLUSÃO	307
10. CONSIDERAÇÕES FINAIS	315
11. REFERÊNCIAS	317

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 – DISTRIBUIÇÃO DAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO FEDERAIS, ESTATUDAIS E MUNICIPAIS NO TERRITÓRIO NACIONAL.	19
FIGURA 2 – EVOLUÇÃO DO DESMATAMENTO DE FLORESTAS ORIGINAIS NO ESTADO DE SÃO PAULO DESDE A SUA SITUAÇÃO PRIMITIVA ATÉ O ANO 2000.	22
FIGURA 3 - RESSURGÊNCIA DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS DO PETAR	37
FIGURA 4 – IMAGEM LANDSAT-8 DA RMSP DE 08/02/2014	39
FIGURA 5 – VISTA AÉREA OBLÍQUA DO PARQUE ECOLÓGICO DO TIETÊ	41
FIGURA 6 – REPRESENTAÇÕES DO MUNDO REAL EM CAMADAS	67
FIGURA 7 – ANÁLISES ESPACIAIS BOOLEANAS	76
FIGURA 8 - DIFERENÇAS ENTRE OS RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO DE DADOS SOB A PERSPECTIVA BOOLEANA E FUZZY	78
FIGURA 9 – FLUXOGRAMA SÍNTESE DOS PROCEDIMENTOS	97
FIGURA 10 – GERAÇÃO DO SOMBREAMENTO IDUZIDO DO RELEVO	124
FIGURA 11 – EXEMPLO DE CLASSIFICAÇÃO HIPSOMÉTRICA DO RELEVO	124
FIGURA 12 – VARREDURA DE JANELAS MÓVEIS (3X3) PARA O CÁLCULO DE VARIAÇÕES CLINOGRÁFICAS NO MDT	125
FIGURA 13 – CÁLCULO DAS VARIAÇÕES CLINOGRÁFICAS DO RELEVO	125
FIGURA 14 – EXEMPLO DE MAPEAMENTO DE ORIENTAÇÃO DE VERTENTES	126
FIGURA 15 – COMBINAÇÃO ENTRE AS CURVATURAS EM PLANTA E EM PERFIL	129
FIGURA 16 – EXEMPLO DE CLASSIFICAÇÃO GEOMORFOLÓGICA POR OBIA	131
FIGURA 17 – EXEMPLO DE CLASSIFICAÇÃO GEOMORFOLÓGICA POR OBIA SOBRE MDE LIDAR	132
FIGURA 18 – ETAPAS PARA A CLASSIFICAÇÃO GEOMORFOLÓGICA ORIENTADA A OBJETOS	135
FIGURA 19 – CÁLCULO DA DIREÇÃO PREFERENCIAL DE FLUXO	137
FIGURA 20 – CONVERSÃO DAS DIREÇÕES DE FLUXOS EM ÁREAS DE CONTRIBUIÇÃO	138

FIGURA 21 – OBTENÇÃO DA REDE DE DRENAGEM INFERIDA A PARTIR DAS DIREÇÕES DE FLUXO E DAS ÁREAS DE CONTRIBUIÇÃO	138
FIGURA 22 – DISTRIBUIÇÃO DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DO DAEE, IAC E INMET, DISPONÍVEIS PARA O ESTADO DE SÃO PAULO	148
FIGURA 23 – DISTRIBUIÇÃO CONTÍNUA DA TEMPERATURA OBTIDA ATRAVÉS DA INTERPOLAÇÃO DOS DADOS DAS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS	148
FIGURA 24 – CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DO ESTADO DE SÃO PAULO PROPOSTA POR MONTERIRO (1973)	153
FIGURA 25 – CLASSIFICAÇÃO TOPOCLIMÁTICA DO MUNICÍPIO DE JASTRZĘBIE ZDRÓ A PARTIR DA MATRIZ DE CORRELACIONAMENTO	160
FIGURA 26 – CLASSIFICAÇÃO TOPOCLIMÁTICA DO PARQUE NACIONAL DE SŁOWIŃSK	161
FIGURA 27 – CLASSIFICAÇÃO DAS FORMAÇÕES FLORESTAIS DO ESTADO DE SÃO PAULO	168
FIGURA 28 - PERFIL ESQUEMÁTICO DAS FORMAÇÕES DE FLORESTAS OMBRÓFILAS DENSA.	169
FIGURA 29 - PERFIL ESQUEMÁTICO DAS FORMAÇÕES DE FLORESTAS OMBRÓFILAS MISTAS.	171
FIGURA 30 - PERFIL ESQUEMÁTICO DASS FORMAÇÕES DE FLORESTAS ESTACIONAIS SEMIDECÍDUAS	172
FIGURA 31 - PERFIL ESQUEMÁTICO DASS FORMAÇÕES DE FLORESTAS ESTACIONAIS DECÍDUAS	173
FIGURA 32 - PERFIL ESQUEMÁTICO DASS FORMAÇÕES DE SAVANAS	174
FIGURA 33 – MAPA PRODUTO DA CLASSIFICAÇÃO FITOFISIONÔMICA DA VEGETAÇÃO POR ÁRVORE DE DECISÃO	193
FIGURA 34 – CLASSIFICAÇÃO FITOFISIONÔMICA DA VEGETAÇÃO DE CABO FRIO-RJ	194
FIGURA 35 – CLASSIFICAÇÃO FITOFISIONÔMICA POR MODELO LINEAR DE MISTURA ESPECTRAL	195
FIGURA 36 – SÍNTESE DAS ETAPAS DE CLASSIFICAÇÃO DIGITAL DE COBERTURAS E USOS DA TERRA PROPOSTA PELO IBGE (2013)	208
FIGURA 37 – SÍNTESE DAS ETAPAS DE CLASSIFICAÇÃO DIGITAL DE COBERTURAS E USOS DA TERRA PROPOSTA POR FONSECA et al. (2009)	209
FIGURA 38 – SÍNTESE DAS ETAPAS DE CLASSIFICAÇÃO DIGITAL DE COBERTURAS E USOS DA TERRA PROPOSTA POR MENESES E ALMEIDA (2012)	210
FIGURA 39 – SEGMENTAÇÃO MULTIRESOLUÇÃO DA ABORDAGEM GEOBIA	217
FIGURA 40 – SISTEMA DE ESTABELECIMENTO DE REGRAS POR ÁRVORES DE DECISÃO INCORPORADOS À ABORDAGEM GEOBIA	219

FIGURA 41 – CLASSIFICAÇÃO DE COBERTURA E USO DA TERRA EM ÁREAS RURAIS E URBANAS POR GEOBIA	225
FIGURA 42 – MAPA FINAL DE COBERTURAS E USOS DA TERRA POR GEOBIA DA PROVÍNCIA DE A PROVÍNCIA DE MALOPOLSKA (POLÔNIA)	226
FIGURA 43 – IMAGEM ALOS/AVNIR-2 DO PARQUE NACIONAL DO ITATIAIA	227
FIGURA 44 – SÍNTESE DOS PROCEDIMENTOS DE APLICAÇÃO DO MÉTODO GEOBIA UTILIZADO NA CLASSIFICAÇÃO DE COBERTURAS DA TERRA DO PARQUE NACIONAL DO ITATIAIA	228
FIGURA 45 – REDE SEMÂNTICA HIERÁRQUICA APLICADA PARA A CLASSIFICAÇÃO FITOFISIONÔMICA DA VEGETAÇÃO DO PARQUE NACIONAL DO ITATIAIA	229
FIGURA 46 – PRODUTO DA CLASSIFICAÇÃO DE FITOFISIONOMIAS DO PARQUE NACIONAL DO ITATIAIA POR GEOBIA	230
FIGURA 47 – PRODUTO DA CLASSIFICAÇÃO DE FITOFISIONOMIAS DO PARQUE NACIONAL DO ITATIAIA POR GEOBIA	232
FIGURA 48 – CLASSIFICAÇÃO MULTITEMPORAL DAS COBERTURAS E USOS DA TERRA DO PARQUE NACIONAL DOS PIRINEUS (SUDOESTE DA FRANÇA) POR GEOBIA	233
FIGURA 49 – IMAGENS LANDSAT UTILIZADAS PARA A CLASSIFICAÇÃO MULTITEMPORAL DE COBERTURAS E USOS DA TERRA OCORRENTES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO JOÃO - RJ	234
FIGURA 50 – PRODUTOS DA CLASSIFICAÇÃO MULTITEMPORAL DE COBERTURAS E USOS DA TERRA OCORRENTES NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO JOÃO – RJ, POR GEOBIA	235
FIGURA 51 – MUDANÇAS NAS COBERTURAS E USOS DA TERRA OCORRENTES DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SÃO JOÃO – RJ	236
FIGURA 52 – DIFERENÇAS ENTRE PRECISÃO E ACURÁCIA	242
FIGURA 53 – EXEMPLO DE MATRIZ DE CONTINGÊNCIA	248

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – EVOLUÇÃO DA ÁREA OCUPADA PELAS UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NO BRASIL	17
GRÁFICO 2 – INCREMENTO DE NOVAS ÁREAS OCUPADAS POR UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NO BRASIL ENTRE OS ANOS 200 E 2009	17
GRÁFICO 3 – PORCENTAGEM DA ÁREA OCUPADA POR ÁREAS PROTEGIDAS EM RELAÇÃO A ÁREA TERRITORIAL TOTAL DOS PAÍSES QUE POSSUEM MAIS DE 2 MILHÕES DE QUILOMETROS QUADRADOS	20
GRÁFICO 4 - COBERTURA FLORESTAL DO ESTADO DE SP CONFORME DADOS DO INSTITUTO FLORESTAL	23

ÍNDICE DE MAPAS

MAPA 1 – UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DO ESTADO DE SÃO PAULO	28
MAPA 2 – MAPA HIDROGRÁFICO DA APA-VRT	260
MAPA 3 – MORFOLOGIA ORIGINAL DA APA-VRT	262
MAPA 4 – GEOMORFOLOGIA DA APA-VRT	265
MAPA 5 - TIPOS DE TERRENOS DO PETAR	271
MAPA 6 - GEOMORFOLOGIA DO PETAR	273
MAPA 7 - TEMPERATURA MÉDIA ANUAL NA APA-VRT	278
MAPA 8 - PROCIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL NA APA-VRT	279
MAPA 9 – CLASSES DE TIPOS CLIMÁTICOS NO PETAR	282
MAPA 10 – CLASSES DE VEGETAÇÃO NA APA-VRT	289
MAPA 11 – CLASSES DE VEGETAÇÃO NO PETAR	294
MAPA 12 - USO DA TERRA NA APA-VRT	298
MAPA 13 - MUDANÇAS DE USO DA TERRA NA APA-VRT	299
MAPA 14 - USO DA TERRA NO PETAR	305

ÍNDICE DE QUADROS

QUADRO 1 – DIFERENÇAS ENTRE DADOS VETORIAIS E MATRICIAIS	69
QUADRO 2 - ENTIDADES E ELEMENTOS DO NÚCLEO DE METADADOS DO PERFIL MGB SUMARIZADO	70
QUADRO 3 – NOVE POSSIBILIDADES DE COMBINAÇÃO ENTRE AS CURVATURAS EM PLANTA E EM PERFIL	128
QUADRO 4 - EXEMPLO DA APLICAÇÃO DESTE SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE KÖPPEN	152
QUADRO 5 – MATRIZ DE CORRELACIONAMENTO PARA CLASSIFICAÇÃO TOPOCLIMÁTICA	159
QUADRO 6 – ESQUEMA DE CLASSIFICAÇÃO DAS FORMAÇÃO FLORESTAIS	167

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - CLASSIFICAÇÃO DO COMPORTAMENTO HIDROLÓGICO DE SUPERFÍCIE NAS 9 FORMAS POSSÍVEIS	128
TABELA 2 – SISTEMA DE CLASSIFICAÇÃO DE COBERTURAS E USOS DA TERRA PROPOSTO PELO IBGE (2013)	201
TABELA 3 – RELAÇÃO ENTRE ESCALA E NÍVEIS DE DETALHAMENTO DOS MAPEAMENTOS E AS SUAS ESCALAS NOMINAIS	202
TABELA 4 – RELAÇÃO ENTRE ESCALA MÁXIMA DE MAPEAMENTO E RESOLUÇÃO ESPACIAL DE IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO	205
TABELA 5 – SENSORES DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL	206
TABELA 6 – EQUAÇÕES PARA OBTENÇÃO DOS COEFICIENTES DE CONCORDÂNCIA MAIUS UTILIZADOS PARA AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA DE CLASSIFICAÇÃO TEMÁTICA	250
TABELA 7 – CLASSIFICAÇÃO QUALITATIVA DOS MAPEAMENTOS TEMÁTICOS DE ACORDO COM OS VALORES POSSÍVEIS DE SEREM OBTIDOS NO CÁLCULO DO COEFICIENTE DE CONCORDÂNCIA KAPPA	252
TABELA 8 – DADOS SECUNDÁRIOS UTILIZADOS NO MAPEAMENTO GEOMORFOLÓGICO DO PETAR	270

LISTA DE SIGLAS

ANA - Agência Nacional das Águas

APA - Área de Proteção Ambiental

APA-VRT - Área de Proteção Ambiental Várzea do Rio Tietê

APP - Área de Preservação Permanente

ARVI - Índice de Vegetação Resistente à Atmosfera

BDG - Banco de Dados Georreferenciado

CC - Conselho Consultivo

CD - Cartografia Digital

CE – Corredor Ecológico

Cecav - Centro Nacional de Pesquisas e Conservação de Cavernas

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

CG - Conselho Gestor

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

CONCAR – Comissão Nacional de Cartografia

CONSEMA - Conselho Estadual do Meio Ambiente

DAEE - Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo

EACH - Escola de Ciências, Artes e Humanidades

EMPLASA - Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano

EVI - Índice de Vegetação Aprimorado

FF - Fundação Florestal do Estado de São Paulo

FFLCH - Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas

FUSP - Fundação Universidade de São Paulo

GEMI - Índice Global de Monitoramento Ambiental

GNSS - Sistema Global de Navegação via Satélite

GPS - Sistema de Posicionamento Global

IBAMA - Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBDF - Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

IF - Instituto Florestal do Estado de São Paulo

IG - Instituto Geológico do Estado de São Paulo

IGC - Instituto Geográfico Cartográfico do Estado de São Paulo

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

ISA - Instituto Socioambiental

IUCN - União Internacional para a Conservação da Natureza

IUPN - União Internacional para a Proteção da Natureza

MDE - Modelo Digital de Elevação

MDT - Modelo Digital de Terreno

MMA - Ministério do Meio Ambiente

MNT - Modelo Numérico de Terreno

NDVI - Índice de Vegetação Diferencial Normalizado

NPM - Núcleo de Planos de Manejo

ONG - Organização Não Governamental

OSCIP - Organização da Sociedade Civil de Interesse Público

PDI - Processamento Digital de Imagens

PE – Parque Estadual

PECO - Parque Ecológico do Tietê

PETAR - Parque Estadual Turístico Alto Ribeira

PI – Proteção Integral

PIB - Produto Interno Bruto

PM - Plano de Manejo

PN - Parque Nacional

PNMA - Programa Nacional de Meio Ambiente

PVI - Índice de Vegetação Perpendicular

RDS - Reserva de Desenvolvimento Sustentável

Resex - Reserva Extrativista

RMSP - Região Metropolitana de São Paulo

RPPN - Reservas Particulares do Patrimônio Natural

SAVI - Índice de Vegetação Ajustado para o Solo

SGBD - Sistema Gerenciador de Banco de Dados

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SMA - Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo

SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação

SP - São Paulo

SR - Sensoriamento Remoto

TCCA - Termo de Compromisso de Compensação Ambiental

TdR - Termos de Referência

UC - Unidade de Conservação

UGRHI - Unidade de Gerenciamento de Recursos Hídricos

UNESCO - Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura

US - Uso Sustentável

USP - Universidade de São Paulo

UTB - Unidades Territoriais Básicas

WWF - Fundo Mundial para a Natureza

ZA - Zona de Amortecimento

ZEE - Zoneamento Ecológico Econômico

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVAS

A criação de áreas protegidas tem sido, em todo o mundo, uma estratégia recorrentemente adotada para a conservação de ecossistemas e recursos naturais ameaçados por atividades antrópicas.

As estratégias contemporâneas de proteção da natureza envolvem basicamente a criação de instrumentos legais voltados para a delimitação de territórios, internacionalmente conhecidos como Áreas Protegidas (*Protected Areas*), onde as dinâmicas de uso e ocupação são legalmente restringidas.

A União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN, 1994, p.7) define as Áreas Protegidas como áreas terrestres (continentais) e/ou marinhas “especialmente dedicadas à proteção e à manutenção da diversidade biológica e dos recursos naturais e culturais associados, que são manejados através de instrumentos legais ou outros instrumentos normativos efetivos”.

Portanto, incluem-se neste conceito diversas categorias de áreas protegidas que possuem diferentes denominações e significados conforme as legislações específicas de cada país. No Brasil, cinco diferentes tipologias de áreas protegidas estão previstas na legislação, são elas:

- a) Áreas de Preservação Permanente (APP);
- b) Áreas de Reconhecimento Internacional;
- c) Reservas Indígenas;
- d) Reservas Legais;
- e) Unidades de Conservação (UC).

Segundo Medeiros (2006) a soma de tais áreas totaliza 296.078.956,45 hectares, o que equivale a aproximadamente 35% do território nacional.

No que se refere às atividades de gestão e planejamento das áreas protegidas no território nacional, vem se destacando a elaboração dos Planos de Manejo de Unidades de Conservação (BRASIL, 2000).

Em linhas gerais, uma Unidade de Conservação (UC) consiste em um espaço territorial, definido por leis, que visa à conservação dos recursos naturais, da biodiversidade e dos aspectos culturais tradicionais existentes em seu interior, ou seja: são porções do território que possuem atributos naturais, culturais e/ou paisagísticos raros ou ambientalmente valiosos e que necessitam de ações específicas de conservação para a manutenção destes mesmos atributos e de todos os seus recursos naturais e ecossistemas associados (BRASIL, 2000).

A fim de estabelecer critérios e normas para a criação, implantação e gestão das Unidades de Conservação no Brasil, foi instituído o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), através da promulgação da Lei Federal nº 9.985, de 18 de julho de 2000.

O SNUC divide as Unidades de Conservação em dois grupos: as UC de Proteção Integral, cujo objetivo principal é o de preservar a natureza, mantendo-a o mais isolada possível da influência antrópica, admitindo apenas o uso indireto dos seus recursos naturais; e as UC de Uso Sustentável, que buscam a compatibilização das ações de conservação da natureza com o uso sustentável dos seus recursos.

Para atingir os objetivos de conservação e de uso sustentável dos recursos naturais, o SNUC determina que todas as UC no território nacional contenham Planos de Manejo, que devem ser revistos, pelo menos, a cada cinco anos (BRASIL, 2000; BRASIL, 2002).

Os Planos de Manejos consistem nos principais instrumentos de gestão das Unidades de Conservação, e é a partir deles que são determinadas as ações de conservação, estruturação, recuperação e fiscalização das Unidades, e são normatizadas as possibilidades de usos do seu território (BRASIL, 2002).

No entanto, esses planos ainda são considerados como práticas recentes na gestão de Unidades de Conservação; tanto no mundo, há pelo menos 75 anos, quanto no Brasil, iniciadas em meados da década de 1980 (SELLARS, 1997).

As práticas de planejamento para a gestão das UC no Brasil foram determinadas a partir da instituição do Decreto nº 840.017 de 1979, que introduziu a exigência de Planos de Manejo e de Zoneamentos para todos os Parques Nacionais brasileiros (QUINTÃO, 1983). Porém, o estabelecimento de diretrizes metodológicas formais, para a elaboração destes documentos, é ainda mais recente, pois tais diretrizes só foram estabelecidas a partir da publicação dos Roteiros Metodológicos (IBAMA, 1996; IBAMA, 2002), provenientes do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – (IBAMA), e dos Termos de Referência (TdR), para Planos de Manejo de Unidades de Conservação sob jurisdição estadual e municipal (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010).

Contudo, diversos autores que vêm se dedicando a realizar pesquisas acerca da consequente capacidade de implantação dos Planos de Manejo recentemente elaborados no Brasil. A conclusão mais comum nestes estudos é a de que eles têm deixado muito a desejar tanto na eficiência dos procedimentos de diagnósticos capazes de refletir os problemas sociais e ambientais reais das UC, quanto nas proposições derivadas destes diagnósticos, que assumem a forma de zoneamentos e programas de gestão (DOUROJEANNI, 2002, 2005a, 2005b; DOUROJEANNI; PÁDUA, 2001; FARIA, 2004; HOROWITZ, 2000; LEE; MIDDLETON, 2003; MILANO, 1997).

O planejamento das UC deve constituir-se em um estudo sistemático das alternativas de manejo aplicáveis em determinada área, para que estas cumpram com suas funções e objetivos de conservação (BRASIL, 2002). No entanto, pesquisas recentes têm apontado que as informações sobre as UC e seus atributos, assim como sobre as suas dinâmicas ecológicas, geralmente são escassas e muitas se baseiam em medidas indiretas que, quando existem, frequentemente são de difíceis aplicações práticas (DOUROJEANNI, 2002, 2005a, 2005b; DOUROJEANNI; PÁDUA, 2001; FIDALGO, 2003; ZELLER 2008).

Os Roteiros Metodológicos do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA), publicados nas décadas de 1990 e 2000, procuram estabelecer diretrizes metodológicas para a elaboração de Planos de Manejo de UC federais. Da mesma maneira, as diversas Unidades da Federação (estados) do território nacional também passaram a formular os seus próprios documentos para a aplicação em Planos de Manejo das UC sob a administração pública estadual.

No caso das Unidades de Conservação administradas pelo governo do estado de São Paulo, a metodologia de elaboração dos Planos de Manejo foi estabelecida pelo Núcleo de Planos de Manejo (NPM), órgão vinculado à Fundação para a Conservação e Produção Florestal do Estado de São Paulo – Fundação Florestal, por meio da elaboração do Termo de Referência (TdR) que orienta a produção dos Planos de Manejo de Unidades de Conservação de Proteção Integral do estado (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a).

Através de uma análise prévia destes documentos, foi possível identificar que todos eles preveem que sejam realizados levantamentos e análises de diagnósticos socioambientais da área da UC e do seu entorno, sob os diversos aspectos físicos, bióticos e antrópicos, para subsidiar o planejamento das UC na proposição de zoneamentos, programas e linhas de ação. Para tanto, tais documentos sugerem que sejam utilizadas técnicas de geoprocessamento, desde a aquisição dos dados necessários às análises, que se dão a partir do uso de técnicas de Sensoriamento Remoto e do Sistema Global de Navegação via Satélite (GNSS), até nos procedimentos de integração destes dados em Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Sendo esta última a técnica mais requerida e que permeia todo o processo de elaboração destes documentos, desde a compilação e o processamento dos dados, até a geração de análises espaciais orientadas para subsidiar as tomadas de decisão, que são realizadas durante as etapas de planejamento das UC (IBAMA, 1996; 2002; FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a).

Apesar do estabelecimento destes documentos (IBAMA, 1996; 2002; FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a) e da explicitação da necessidade do uso de técnicas de geoprocessamento no processo de elaboração dos Planos de Manejo, Fidalgo (2003) salienta o fato de que eles ainda carecem de definições claras e formalizadas acerca das bases teóricas, metodológicas e técnicas que podem, ou que devem ser adotadas para a realização dos levantamentos necessários às análises socioambientais.

Nesse mesmo sentido, diversos autores têm observado que a recorrência de tais omissões na maioria das atividades de planejamento ambiental e territorial desenvolvidos no Brasil (CARVALHO-FILHO, 1993; CASTILHO-da-COSTA; XAVIER-da-SILVA, 2004; SANTOS, 2009; XAVEIR-DA-SILVA) e no mundo (STROBL, 1992; LANG; BLASCHKE, 2009), têm se manifestado como lacunas conceituais que comprometem a capacidade de padronização e sistematização metodológica destas atividades, inclusive dos Planos de Manejo de UC, dada a margem de interpretação e a diversidade de enfoque teórico-

metodológico que são passíveis de serem empregados nos diversos tipos de temas (inventário dos recursos naturais e análises socioambientais específicas) que são requeridos por esses instrumentos de ordenamento territorial (CASTILHO-DA-COSTA; XAVIER-DA-SILVA, 2004; LANG; BLASCHKE, 2009; SANTOS, 2009; STROBL, 1992).

À vista disso, Fidalgo (2003), Lang e Blaschke (2009), Santos (2009) e Strobl (1992) atentam para o fato de que muitos dos problemas encontrados nesses documentos, como os apontados por Dourojeanni (2002), (2005a), (2005b), Dourojeanni e Pádua (2001), Faria (2004), Horowitz (2000), Lee e Middleton (2003), Milano (1997), Morsello (2001) e Zeller (2008); possam estar sendo gerados ou potencializados pela aplicação inadequada, ou ineficiente, dos métodos e técnicas, inclusive de geoprocessamento, na geração das análises necessárias.

Nesse sentido, Santos (2009) observa que apesar de a concepção de planejamento ambiental no Brasil, assim como na maioria dos outros países, ser baseada em um elevado grau de interdisciplinaridade e integração de informações, quase sempre, as diretrizes, os planos, os programas e os projetos derivados destas práticas não possuem de fato tal abordagem. Segundo a autora (2009, p. 29):

[...] na realidade em muitos planejamentos, o resultado é somente uma soma, como a geração de uma metadisciplina, mas não uma interação de fato. Os profissionais de cada área não relativizam seus conhecimentos e continuam usando métodos particularizados de abordagem, com grandes dificuldades no estabelecimento de uma escala única de decisão. Não há uma proposta efetiva da construção de um novo método, somente ajustes para a interpretação dos dados.

E conclui constatando que os produtos provenientes das práticas de planejamento ambiental brasileiras: “não representam de forma eficiente a realidade, nem atingem o ideário a que se propõem”; dessa maneira a autora sugere, portanto, que: “o momento é de reflexão sobre a eficiência do discurso teórico, bem como sobre a construção da teoria e do método. Esses são, na atualidade, os grandes entraves e os maiores desafios para estas práticas no Brasil” (SANTOS, 2009, p. 29).

Nesse mesmo sentido, Lang e Blaschke (2009, p. 324) relatam que há um possível descompasso entre os métodos, técnicas e procedimentos que são aplicados nos meios acadêmico e científicos, para o desenvolvimento de suas pesquisas, e os que são realmente utilizados pelas entidades de planejamento durante a elaboração de planos de gestão

territorial. Segundo os autores, na maioria dos casos, a utilização dos SIG nas atividades de planejamento de áreas protegidas em todo o mundo “se limita à produção de análises fundamentais baseadas em seleção, recortes simples, e apresentações”, funções básicas encontradas em qualquer aplicativo de cartografia digital, e afirmam ainda que:

[...] mesmo onde a análise deveria estar em primeiro plano, como em exames de compatibilidade com o meio ambiente, avaliação de variantes ou planejamentos de medidas, por motivos de tempo e custos, só raramente se origina nova informação, por meio da combinação direcionada pelas teorias (LANG; BLASCHKE, 2009, p. 324).

Ainda segundo os autores, apesar da insistência no discurso de que o uso dos SIG seja indispensável em função da sua capacidade de integração de informações, modelagem de sistemas ambientais e simulação de fenômenos e de cenários, na prática “o centro de gravidade da indispensabilidade do seu uso encontra-se, principalmente, na sua funcionalidade como meio para o armazenamento e a organização de grandes volumes de dados, ou seja, como simples instrumento de questionamento” (LANG; BLASCHKE, 2009 p. 323); e relatam ainda que:

[...] quando o SIG é utilizado dessa forma, inicialmente, então, nada “é feito errado”. Muitas opções do SIG, porém, que se referem a características específicas derivadas de relações espaciais, não são utilizadas. Trata-se daquela capacidade decisiva da aplicação do SIG, como instrumento de análise, capaz de gerar novas informações para um objetivo de análise, com base em informações disponíveis.

E concluem descrevendo então uma “crônica subutilização do SIG” (BLASCHKE, 1997; LANG; BLASCHKE, 2009; STROBL, 1992).

Segundo Câmara et al. (2002), as técnicas de geoprocessamento vêm avançando significativamente tanto na capacidade quanto na eficiência do levantamento de dados e informações ambientais, principalmente por meio da evolução das técnicas de Sensoriamento Remoto Orbital e dos Sistemas Globais de Navegação por Satélites; bem como no aprimoramento da eficiência de tratamento desses dados nos Sistemas de Informação Geográficas, o que vêm ampliando as possibilidades de realização de análises espaciais acerca de fenômenos e fatos que se manifestam na superfície terrestre, mediante o uso combinado destas técnicas.

Christofoletti (1999) complementa destacando que a evolução do geoprocessamento seguiu paralelamente com a evolução da informática presenciada nas últimas quatro décadas, o que aliada ao desenvolvimento e ampliação da abordagem sistêmica da ciência frente aos processos de fenômenos ambientais e sociais, permitiu a criação e a aplicação de modelos analíticos, descritivos, prescritivos e de simulação de fenômenos diversos, além de permitirem a adoção de uma abordagem holística em relação à funcionalidade dos sistemas ambientais.

Além da evolução técnica e científica, a crescente disseminação de informações proporcionada pela popularização da internet, desde ao menos o início da década de 1990, vêm permitindo a ampliação do compartilhamento global de dados e informações dos mais diversos tipos, incluindo-se os que possuem a componente espacial, ou seja: que possuem ou podem possuir localização georreferenciada na superfície terrestre, e que consistem nos objetivos e funções primordiais do geoprocessamento; assim como o desenvolvimento compartilhado de novas possibilidades técnicas e metodológicas e de maior facilidade de acesso e de disseminação delas (CÂMARA et al. 2001).

Desta maneira, o recente e rápido desenvolvimento da tecnologia tem contribuído para a evolução das próprias ciências da terra e ambientais, ao mesmo tempo em que facilitam a inter-relação entre elas. Pois, conforme ressalta Baker (1992), em qualquer ciência o surgimento de novas técnicas não é importante em si mesmo, mas sim por permitir novas descobertas que estimulam o progresso científico.

Francisco Filho (1999) sintetiza que o desenvolvimento tecnológico tem provido à sociedade moderna uma série de recursos destinados ao “bem-estar” do homem e à conservação ambiental. A ciência da informação é, por excelência, o grande pilar onde se apoiam os tomadores de decisão. O advento e o desenvolvimento dos computadores vêm fornecendo uma poderosa ferramenta para que uma vasta massa de dados possa ser tratada de forma sistemática, combinando informações provenientes de diferentes níveis e dando uma expressão geográfica a esses, corrigindo possíveis erros, minimizando os impactos indesejáveis e maximizando os recursos disponíveis.

Ainda de acordo com o mesmo autor, essa metodologia de trabalho, sem dúvida, permite ao gestor tomadas de decisão coerentes, seguras e objetivas, resultando em benefícios que se distribuem para toda a sociedade. No entanto, o seu uso deve ser adequado e responsável sob os pontos de vista técnicos e metodológicos, o que exige recursos que nem

sempre estão disponíveis para o administrador, ora pelos entraves financeiros, ora pelo desconhecimento das suas potencialidades (FRANCISCO-FILHO, 1999).

Diversos autores, que têm proposto concepções sistematizadas das etapas do planejamento territorial mediante o uso das técnicas de geoprocessamento, enfatizam que o levantamento dos dados de inventário consiste em uma das etapas mais importantes, pois são deles que derivam todas as análises e avaliações ambientais que dão suporte às tomadas de decisão (BECKER; EGLER, 1996; CASTILHO-DA-COSTA; LANG; BLASCHKE, 2009; MENDONÇA, 2008; SALINAS, 1991; SALINAS; QUINTELA, 2001; XAVIER-da-SILVA, 1997; XAVIER-da-SILVA, 2004).

Preocupados com a qualidade dos dados de inventário utilizados nas análises e nas decisões que são tomadas por esses instrumentos de planejamento, Antunes e Lingnau (1997), assim como Felgueiras (2001), chamam a atenção para a necessidade de execução de procedimentos de aferição da qualidade destes mapeamentos, de maneira que possa garantir a sua confiabilidade. Porém, segundo esses mesmos autores, a execução desses procedimentos vem sendo frequentemente negligenciada, o que tem comprometido a garantia da qualidade das análises que são efetuadas nos planos de gestão, assim como as decisões que são neles tomadas (ANTUNES; LINGNAU, 1997; FELGUEIRAS, 2001).

Nestas perspectivas, portanto, a avaliação de como as técnicas de geoprocessamento vêm sendo empregadas na elaboração dos mapeamentos de inventário dos Planos de Manejo de Unidades de Conservação paulistas, ou seja, se as opções técnicas mais eficientes vêm sendo oportuna e adequadamente aproveitadas na realização destes levantamentos; se apresenta como sendo de significativa importância, tanto para alertar aos órgãos gestores destas áreas de relevante interesse ambiental para a sociedade, sobre um possível subaproveitamento, ou mesmo o emprego inadequado destas técnicas, como também para indicar alternativas que possam ser levadas em consideração durante a elaboração de Planos de Manejo futuros.

2. OBJETIVOS

O objetivo desta pesquisa é avaliar como as técnicas de geoprocessamento vêm sendo empregadas nos mapeamentos de inventário dos Planos de Manejo recentemente produzidos para Unidades de Conservação paulistas, sobre três enfoques: se os dados utilizados são adequados às análises realizadas, se as técnicas mais eficientes de tratamento e classificação destes dados estão sendo aproveitadas e se os produtos obtidos estão sendo devidamente aferidos e validados. Entendendo-se por mais eficientes as opções técnicas e metodológicas capazes de fornecer resultados mais acurados, de acordo com as indicações evidenciadas pela literatura disponível sobre os temas avaliados.

Entretanto, para atingir tais objetivos, que podem ser entendidos como objetivos gerais da pesquisa, foi necessário atingir preliminarmente três objetivos específicos, a saber:

- 1) Identificar quais os tipos de mapeamentos de inventário requeridos para a elaboração de Planos de Manejo de Unidades de Conservação no Estado de São Paulo, bem como as recomendações de ordens teórico-metodológicas e técnicas, estabelecidas pelo Termo de Referência da Fundação Florestal (2010a);
- 2) Identificar quais são as opções técnicas de geoprocessamento mais eficientes que podem ser aplicadas para a produção destes mapeamentos, e quais os métodos que podem ser utilizados para as suas aferições e validações; ambos, com base na revisão integrativa da literatura (SANDELOWSKI; BARROSO, 2006; 2007);
- 3) Identificar como as técnicas de geoprocessamento vêm sendo empregadas na produção dos mapeamentos de inventário nos Planos de Manejo de Unidades de Conservação paulistas, com base nos casos dos Planos de Manejo do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira – (PETAR) e da Área de Proteção Ambiental da Várzea do Rio Tietê (APA-VRT).

3. HIPÓTESE

Tendo em vista os problemas apontados por Blaschke (1997), Lang e Blaschke (2009), Santos (2009) e Strobl (1992), relacionados à “subutilização”, ou subaproveitamento das técnicas de geoprocessamento nas atividades de Planejamento Ambiental em diferentes países do mundo; assim como os problemas apontados por Antunes e Lingnau (1997) e Felgueiras (2001), relacionados à negligência de procedimentos de aferição e validação dos mapeamentos de inventário nestas mesmas atividades, a hipótese que norteou o desenvolvimento desta pesquisa é de que os mapeamentos de inventário realizados durante a elaboração dos Planos de Manejo de Unidades de Conservação do estado de São Paulo não estão alheios a estes fatos, ou seja: o subaproveitamento das técnicas de geoprocessamento, assim como a não execução dos procedimentos de aferição e validação desses levantamentos, também ocorrem nos Planos de Manejo que vêm sendo produzidos para Unidades de Conservação paulistas.

4. REVISÃO CONCEITUAL

Este capítulo está estruturado em duas partes a fim de melhor definir e caracterizar teórica e conceitualmente os dois temas fundamentais e complementares para o desenvolvimento desta pesquisa: os Planos de Manejo de Unidades de Conservação (item 4.1) e as técnicas de Geoprocessamento (item 4.2).

4.1 – Unidades de Conservação e Planos de Manejo

Neste ítem são brevemente discutidas a evolução dos conceitos de Unidades de Conservação no mundo (subitem 4.1.1) e no Brasil (subitem 4.1.2), os novos conceitos estabelecidos pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação brasileiro e o quadro atual da distribuição das Unidades de Conservação no território nacional (subitem 4.1.3), assim como a importância das Unidades de Conservação do estado de São Paulo (subitem 4.1.4) e as principais características dos Planos de Manejo de Unidades de Conservação (subitem (4.1.5). Por último, são justificadas as escolhas das duas Unidades de Conservação tomadas como estudo de caso para o desenvolvimento dessa pesquisa (subitem 4.1.6) e as suas respectivas características (subitens 4.1.6.1 e 4.1.6.2).

4.1.1 As Unidades de Conservação no Mundo

As UC consistem em uma das categorias do que é internacionalmente conhecido como Áreas Protegidas (*Protected Areas*), que é conceituada pela IUCN (*International Union Conservation of Nature*) como uma área da superfície terrestre e/ou do mar, especialmente dedicada à proteção e manutenção da diversidade biológica e de seus recursos naturais e culturais associados, a qual é manejada através de instrumentos legais ou outros meios efetivos (IUCN, 1994).

O principal objetivo da criação de UC no mundo é a manutenção de áreas naturais na forma menos alterada possível. Dessa maneira, as unidades são componentes vitais de qualquer estratégia para a conservação da biodiversidade; servem como refúgio para as espécies que não podem sobreviver em áreas onde haja interferência humana nos processos ecológicos; e são elementos importantes para a continuidade da evolução natural e, em muitas partes do mundo, para uma futura restauração ecológica (CAREY et al., 2000).

Segundo Miller (1980), o nascimento do conceito de Unidades de Conservação está atrelado à criação do Parque Nacional de Yellowstone, em março de 1872. É a partir das leis de criação do parque e posteriormente do Serviço Nacional de Parques dos Estados Unidos, em 1916, que se consolidaram as bases conceituais para a criação e o manejo de parques nacionais, e que tiveram forte influência no mundo inteiro.

Durante o final do século XIX e início do século XX defrontavam-se os pensamentos preservacionistas, que defendiam uma postura de natureza intocável para as UC norte-americanas, e conservacionistas, que defendiam que as UC deveriam ser submetidas a determinados tipos de uso dos seus recursos de forma racional e controlada, como para atividade de recreação, turismo, pesquisas científicas e mesmo no fornecimento de matérias-primas. Estas duas linhas de pensamento vieram a refletir, mais tarde, na diversificação de categorias de UC em todo o mundo (ARAUJO, 2007).

Sellars (1997) salienta que o manejo de áreas protegidas é uma ideia recente e que vem evoluindo nos últimos 75 anos. De acordo com o autor, a filosofia dominante na época era a de que as UC deveriam permanecer livres de qualquer influência antrópica (pensamento preservacionista), pois se acreditava que o simples fato de se delimitar uma área e isolá-la de

qualquer atividade humana seria o suficiente para a manutenção da biodiversidade e dos recursos naturais contidos no interior delas.

Tal concepção de “natureza intocável” só começou a mudar quando, em 1937, a Divisão de Recreação do Serviço Florestal Americano começou a desenvolver pesquisas relacionadas à capacidade de suporte para atividades turísticas nos parques, às influências do entorno para com as UC, e à necessidade de se estabelecer zoneamentos para a manutenção de áreas silvestres. Os produtos dessas pesquisas representaram um novo momento para a gestão das UC, reconhecendo-se que a recreação era um dos valores diretamente associados às áreas protegidas e que, para se manter em uma condição primitiva, deveriam ser reguladas as atividades no interior dos seus territórios.

Apesar disso, Quintão (1983) observa que nas primeiras décadas do século XX as terminologias utilizadas para designar as diferentes UC pelo mundo eram muito confusas. Muitas vezes sendo utilizados os mesmos nomes para UC que apresentavam diferentes objetivos de manejo, por vezes até conflitantes entre si devido à ausência de critérios e padrões internacionais para estes fins.

De acordo com Vallejo (2010), devido à diversidade de objetivos das UC criadas nos diferentes países, e o consequente aumento da complexidade do tema, foi necessário estabelecer conceitos e diretrizes internacionalmente comuns para essas áreas. Nesse sentido, diversos encontros em escala internacional ocorreram, dos quais, podem ser destacados:

- a) A Convenção para Preservação da Fauna e Flora em Estado Natural (Londres, 1933);
- b) A Convenção Panamericana de Proteção da Natureza e Preservação da Vida Selvagem do Hemisfério Oeste (Washington, 1940);
- c) O Congresso organizado pela Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (UNESCO) em 1948, que marca a fundação da União Internacional para a Proteção da Natureza (IUPN), atualmente denominada de União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN), formada por agências governamentais e não governamentais, e que passou a coordenar trabalhos de cooperação internacional para a conservação da natureza;
- d) As Assembleias Anuais da IUCN, realizadas a partir de 1960;

- e) Os Congressos Internacionais de Parques Nacionais I, II, III e IV, respectivamente: nos EUA (Seattle, 1962 e Yellowstone, 1972), na Indonésia (Bali, 1982) e na Venezuela (Caracas, 1992).

Um dos resultados de grande relevância na realização desses eventos foi a definição de um sistema internacional de classificação de UC, sancionado e publicado pela IUCN, no ano de 1994, durante assembleia geral realizada em Buenos Aires. Tal documento consiste até hoje no sistema oficial internacional de classificação de UC (IUCN, 2000). Nele são classificadas as suas diferentes categorias e objetivos de manejo em seis tipologias diferentes, a saber:

I – Reservas Naturais Estritas/Áreas Silvestres: com fins científicos e/ou de proteção da natureza;

II – Parques: com fins de conservação dos ecossistemas, podendo admitir também atividades de recreação;

III – Monumentos Naturais: para a conservação de características naturais específicas;

IV – Santuários de Vida Silvestre: para a conservação de habitats e/ou para a satisfação de necessidades específicas de determinadas espécies;

V – Paisagens Terrestres/Marinhas Protegidas: para a conservação de paisagens terrestres e marinhas com fins recreativos;

VI – Áreas Protegidas com Manejo dos Recursos: com fins de utilização sustentável dos recursos das unidades.

Como resultado dessas iniciativas, a lista de áreas protegidas das Nações Unidas registrou a existência de 102 mil UC no mundo todo, abrangendo uma área de cerca de 18,8 milhões de km², o que equivale a 12,65% da superfície terrestre. Destas, 102 mil (67% do total) enquadram-se nas categorias de manejo propostas pela IUCN em 1994, o que corresponde a uma área de 15 milhões de km² (IUCN, 2013).

Apesar da importância reconhecida deste instrumento e do apelo internacional para a sua adoção generalizada, o relatório sobre o progresso do Programa de Trabalho sobre Áreas Protegidas indica que apenas cerca de 30% delas apresentam planos de gestão, apontando

ainda dificuldades na sua efetiva implementação, nomeadamente por escassez de financiamentos (IUCN, 2009).

4.1.2 As Unidades de Conservação no Brasil

O início da implantação de Unidades de Conservação no Brasil foi mais tardio do que na maioria dos outros países do mundo, inclusive com relação à maioria dos países da América Latina.

Conforme relata Araujo (2007), durante toda a segunda metade do século XIX até o fim da década de 1920 e meados da década de 1930, os esforços para a criação de UC no país se restringiam a algumas personalidades de pensadores e acadêmicos que, de maneira dispersa, não conseguiam sensibilizar a sociedade a ponto de chamar a atenção do Estado para a necessidade da criação de áreas protegidas.

Morsello (2001) destaca que esta situação só começou a mudar a partir da instituição do Código Florestal Brasileiro, em janeiro de 1934, que encarregava ao Estado o dever da proteção das belezas naturais e dos monumentos de valor histórico e artístico, além de restringir o uso de determinadas áreas consideradas como de interesse ambiental e social, como as Áreas de Preservação Permanentes.

Com o Código Florestal e a nova Constituição, estavam esboçadas as bases legais para a criação de Unidades de Conservação no Brasil. Fato este que não demorou muito a acontecer, pois já no mês de junho do ano de 1937 foi criada a primeira Unidade de Conservação brasileira, o Parque Nacional do Itatiaia no Estado do Rio de Janeiro, consistindo-se em um Parque aos moldes suíços (de caráter mais preservacionista que os parques Norte Americanos), e abrangendo uma área de 11.943 hectares. Até o fim da década de 1930 ainda foram criados mais dois Parques Nacionais (PN), o PN da Serra dos Órgãos e o PN de Foz de Iguaçu, ambos criados no ano de 1939 (MORSELLO, 2001).

Segundo Britto (2000), durante as décadas posteriores (1940, 1950, 1960 e 1970) houve avanços significativos na criação de UC em todo o território nacional, no entanto estas

Unidades ainda careciam de instrumentos legais normativos para as práticas de manejo no interior das suas áreas, o que só começou a mudar a partir do final da década de 1970 e início da década de 1980, com a promulgação do Decreto nº 840.017 de 1979, que regulamentou os objetivos dos Parques Nacionais de acordo com as proposições da IUCN e introduziu a exigência de Planos de Manejo e de Zoneamentos em suas áreas.

Destaca-se também na década de 1980, principalmente após o fim do regime militar em 1985, o surgimento de diversas organizações não governamentais (ONGs) atuantes em programas de conservação do meio ambiente e no estabelecimento de novas UC no Brasil, tais como: Fundação SOS Mata Atlântica, Fundação Pró-Natureza (Funatura), Fundação Biodiversitas, Instituto Socioambiental (ISA), entre outras. Estas entidades realizam tanto ações independentes quanto em parceria com o Estado, na prática de pesquisas e monitoramento ambiental, bem como na criação e gestão de Unidades de Conservação no Brasil. Da parte do governo, destaca-se a criação do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA) em 1989, produto da fusão da Secretaria Especial de Meio Ambiente com o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF). O IBAMA consistia até o ano de 2007 no órgão responsável pela criação e gestão de Unidades de Conservação Federais. Em 2007, com a criação de uma nova Autarquia, o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, a gestão das Unidades de Conservação deixou de ser competência do IBAMA (BRITTO, 2000).

Segundo Araújo (2007), durante a década de 1990 houve um grande incremento das UC no Brasil, bem como a criação de programas de fomento para sua adequada gestão. Conforme analisa o autor, os avanços na criação e na gestão de UC durante as décadas de 1980 e 1990, impulsionados por grandes investimentos governamentais e pela maior participação da sociedade civil, através das ONGs, foram extremamente significativos para a valorização da questão ambiental e do patrimônio natural do país.

Porém, a principal conquista não veio naquelas décadas, mas sim logo no primeiro ano da década posterior, quando no dia 18 de julho de 2000 foi instituído o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), e que por meio da Lei Federal nº 9.985 estabeleceu critérios e normas para a criação, implantação e gestão das Unidades de Conservação no país, nas suas três esferas administrativas: federal, estadual e municipal.

A criação do SNUC potencializou ainda mais o processo de criação de Unidades de Conservação no território brasileiro, conforme apontam os dados publicados pelo Ministério do Meio Ambiente no ano de 2010, e que podem ser observados através dos Gráficos 1 e 2 a seguir.

GRÁFICO 1 – Evolução da área ocupada pelas Unidades de Conservação no Brasil (em milhões de hectares)

Fonte: MMA (2010).

GRÁFICO 2 – Incremento de novas áreas ocupadas por Unidades de Conservação no Brasil entre os anos 2000 e 2009 (em milhões de hectares)

Fonte: MMA (2010).

4.1.3. O Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC)

O Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza foi instituído pela Lei Federal 9.985, em 18 de julho de 2000, e trouxe uma série de diretrizes e normas visando à modernização da gestão e do manejo das áreas protegidas no Brasil.

Segundo o SNUC, os estados e os municípios também devem criar os seus sistemas de UC e, assim, contribuir para o cumprimento das metas e objetivos relativos à proteção da diversidade biológica em níveis nacional e internacional (BRASIL, 2002).

Em virtude da grande diversidade de situações presentes na realidade brasileira, o SNUC divide as UC em dois grandes grupos (BRASIL, 2002):

- 1) Unidades de Conservação de Proteção Integral: que visam preservar a natureza em áreas com pouca ou nenhuma ação humana, onde não se permite a utilização direta de recursos naturais. São subdivididas em cinco categorias: Parque Nacional ou Estadual, Estação Ecológica, Reserva Biológica, Monumento Natural e Refúgio da Vida Silvestre.
- 2) Unidades de Conservação de Uso Sustentável: que associam a conservação da natureza à utilização controlada dos recursos naturais. São subdivididas em 7 (sete) categorias: Área de Proteção Ambiental, Área de Relevante Interesse Ecológico, Floresta Nacional, Reserva Extrativista, Reserva de Fauna, Reserva de Desenvolvimento Sustentável e Reserva Particular do Patrimônio Natural.

Apesar do avanço significativo que a instituição do SNUC representou para a modernização da gestão e do manejo das UC no Brasil, Maretti (2001) pondera que o Sistema de UC no país ainda está em processo de consolidação, pois os investimentos na implantação e gestão das Unidades ainda são insatisfatórios e insuficientes. Nesse sentido, o autor argumenta que o gasto médio brasileiro nas UC está próximo à metade da média dos países não desenvolvidos, abaixo da média da América do Sul, e mais de vinte vezes menor do que a média dos países desenvolvidos.

No âmbito federal, o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e de Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) e o recém-criado Instituto Chico Mendes, sob coordenação do Ministério do Meio Ambiente (MMA), são os órgãos responsáveis tanto pela criação, quanto

pela gestão das UC integrantes do Sistema Nacional de Unidades de Conservação na esfera Federal.

Segundo dados do IBAMA, o Brasil possui 6,3% do seu território protegido por UC Federais, o que equivale a 53.217 ha (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2008). No entanto, se forem consideradas no cálculo as UC administradas pelas outras duas esferas do poder (estadual e municipal) a área total ocupada por Unidades de Conservação no país chega a 140.528.309 ha, o que corresponde a cerca de 17% do território nacional. A distribuição das UC correspondentes à soma das três esferas do poder no território nacional pode ser observada na Figura 1 a seguir.

FIGURA 1 – Distribuição das Unidades de Conservação federais, estaduais e municipais no território nacional

Fonte: Dados vetoriais de UC (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2013), modificado pelo autor.

Se forem ainda somadas as áreas abrangidas pelas zonas de amortecimento das UC e pelas terras indígenas, o total de áreas protegidas chega a ocupar quase 30% do território

nacional, o que faz do Brasil o país com maior representatividade de áreas protegidas do mundo.

De acordo com dados da IUCN (2009), os 11 países que possuem mais de dois milhões de quilômetros quadrados no mundo dedicam, em média, apenas 9% de seus territórios às áreas protegidas, o que evidencia ainda mais a posição de destaque que o país exerce, conforme pode ser consultado no Gráfico 3.

GRÁFICO 3 – Porcentagem da área ocupada por áreas protegidas em relação à área territorial total dos países que possuem mais de 2 milhões de quilômetros quadrados.

Fonte: IUCN (2009).

4.1.4 A Importância das Unidades de Conservação do estado de São Paulo

No âmbito do estado de São Paulo, segundo informações da WWF-Brasil (2008), pode-se dizer que ele possui dois biomas de grande relevância de conservação mundial: a Mata Atlântica e o Cerrado, que são conhecidos como *hotspots*, ou seja, áreas de grande diversidade biológica, mas que sofrem intensa degradação. Estes biomas abrigam cerca de 78% das espécies da lista oficial brasileira de fauna silvestre ameaçada de extinção.

O estado de São Paulo, entre as 27 unidades federativas do Brasil, é o estado que concentra a maior atividade produtiva do país, nos três setores da economia, e consiste em um polo econômico e financeiro internacional. Com mais de 41 milhões de habitantes, 96% destes vivendo em cidades, o estado de São Paulo compreende 22% da população total brasileira e 11% da população sul-americana, em seus 248 mil quilômetros quadrados de extensão, conforme apontam os dados censitários do IBGE de 2010.

O Produto Interno Bruto do estado é superior a um trilhão de reais (maior do que o Produto Interno Bruto total da Argentina), sendo responsável por quase 34% do PIB brasileiro. O estado ainda responde por 38% do valor da transformação industrial e 26% das exportações nacionais. A agropecuária paulista responde por volta de 9% da brasileira, e seus canaviais produzem 58% do etanol do Brasil.

Tal quadro tem levado o território paulista a sofrer uma intensa exploração dos seus recursos naturais através de sucessivos ciclos econômicos, principalmente durante os dois séculos passados (XIX e XX). Estes ciclos culminaram na retirada de grande parte da vegetação natural, resultando em uma ampla degradação dos seus biomas originais (Mata Atlântica e Cerrado), fragmentando-os em ilhas de vegetação em meio aos diversos usos da terra (SMA, 2005). A evolução da supressão florestal vivenciada no estado durante este período pode ser conferida na Figura 2.

Segundo o Inventário Florestal da Vegetação Natural do Estado de São Paulo, realizado pelo Instituto Florestal (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE, 2005), atualmente apenas 13,94% do território paulista estão recobertos por vegetação natural ou remanescente. Os principais fragmentos se concentram nas escarpas das Serras do Mar e da Mantiqueira, na região do Vale do Ribeira, e no entorno da Região Metropolitana da capital paulista; sendo

que aproximadamente 50% deles se encontram protegidos na forma de Unidades de Conservação.

FIGURA 2 – Evolução do desmatamento de florestas originais no estado de São Paulo desde a sua situação primitiva até o ano 2000

Fonte: SMA (2005).

No entanto, segundo o Instituto Florestal (IF), órgão responsável por avaliar a evolução da cobertura florestal de todo o estado, aponta uma tendência de aumento da sua área florestal que vem se consolidando desde o início da década de 1990, como pode ser observado no Gráfico 4.

GRÁFICO 4 - Cobertura Florestal do estado de SP conforme dados do Instituto Florestal

Fonte: SMA (2010).

Segundo relatos da SMA (2010) o aumento da área com cobertura florestal verificado a partir da década de 1990 se deve, principalmente, à criação de novas UC e de novas leis de proteção ambiental, assim como uma maior efetividade das ações de fiscalização e educação ambiental da sociedade.

Nesse mesmo sentido, dados de biodiversidade produzidos pela WWF-Brasil (2008) apontam que, mesmo o estado de São Paulo apresentando os maiores índices de urbanização e industrialização do país, é nele que se concentram os maiores remanescentes de Mata Atlântica entre as diferentes Unidades da Federação que apresentam, ao menos originalmente, a ocorrência deste Bioma no seu território. Estes remanescentes de mata atlântica, além de servir de hábitat para uma grande variedade de espécies, muitas vezes endêmicas, funcionam também como corredores ecológicos que se conectam com as áreas florestadas dos estados do Rio de Janeiro, ao norte, e do Paraná, ao sul; formando assim o principal contínuo de Mata Atlântica remanescente do mundo.

Devido a estes atributos, a área correspondente ao corredor ecológico da mata atlântica recebeu da UNESCO o título de “Reserva da Biosfera da Mata Atlântica” e, em conjunto com

áreas naturais protegidas do estado do Paraná, as UC das regiões do Vale do Ribeira, Alto Paranapanema e Complexo Estuarino-lagunar Iguape-Cananéia-Paranaguá receberam, também, o título de “Sítio do Patrimônio Mundial Natural Reservas do Sudeste” (UNESCO, 2009).

A Mata Atlântica é uma das mais ricas áreas do planeta em diversidade biológica e endemismos. Ela é considerada pela IUCN como o 5º *hotspot* para conservação da biodiversidade no planeta, entre os 25 identificados no mundo. O ambiente é formado por ecossistemas costeiros e marinhos, de Mata Atlântica costeira, de matas de araucárias, de campos de altitude e áreas de transição entre a Mata Atlântica e o Cerrado. Essa área corresponde à ecorregião mundial de número um da classificação de Olson e Dinerstein (1998). Na costa brasileira, as condições edafo-morfo-climáticas produziram uma série de fatores que determinaram a existência de uma floresta rica e exuberante. Essa floresta assenta-se sobre um relevo serrano, cuja amplitude altimétrica varia do nível do mar até cotas próximas a 2000 m na Serra da Mantiqueira, e 1800 m na Serra do Mar. A variação altitudinal e latitudinal influencia a diversidade de ambientes. Há alguns ecossistemas associados à floresta e que não apresentam formação exclusivamente florestal, como os manguezais, as restingas e os campos de altitude.

Dados da WWF-Brasil (2008) revelam que a Mata Atlântica abriga 80% das espécies de animais brasileiros ameaçados de extinção. Das 17 espécies de primatas conhecidas no neotrópico, nove são endêmicas desse ambiente. Sua fauna apresenta 261 espécies de mamíferos, sendo 73 endêmicos. Ocorrem ainda 160 espécies de pássaros, 260 de anfíbios e 143 de répteis conhecidas.

Ocupando uma área originalmente inferior à Mata Atlântica, também são identificados como sendo de suma importância ecológica para o território do estado, os remanescentes do bioma do Cerrado paulista. Segundo Duringan (2011) dá-se o nome de Cerrado a um gradiente de fisionomias ou tipos de vegetação, que vai desde o campo sujo ou cerrado ralo, com gramíneas e arbustos de pequeno porte esparsos, até o cerradão, possuindo árvores e arbustos que formam um dossel contínuo.

As plantas de cerrado geralmente apresentam estruturas subterrâneas muito desenvolvidas que possibilitam a rebrota rápida e vigorosa após impactos como o corte, o fogo ou a geada, dependendo muito menos da dispersão e germinação de sementes do que as

espécies de floresta. Dessa forma, pode-se dizer que o Cerrado tem uma enorme capacidade de resistir às perturbações e recuperar rapidamente sua estrutura e riqueza de espécies, sem que seja necessária intervenção humana (DURINGAN et al., 2011).

A vegetação de cerrado cobria originalmente cerca de 14% do território do estado, dos quais resta hoje menos de 1%, na forma de pequenos fragmentos dispersos, sujeitos a diversos tipos de perturbações antropogênicas (SMA, 2005). Segundo a WWF-Brasil (2008), até poucas décadas atrás o cerrado era visto como terra improdutiva, sendo explorado apenas para extração de lenha e carvão e para pecuária extensiva, atividades que causavam relativamente poucos danos ao ecossistema. Embora a área já devastada seja extensa, a ocupação do cerrado por agricultura e pecuária de alta tecnologia consiste em um fenômeno recente.

Duringan (2011) destaca que a contribuição do cerrado para o equilíbrio ambiental do estado é indiscutível, pois assim como a Mata Atlântica, o Cerrado também consiste em um dos dois únicos biomas brasileiros que foram incluídos entre os *hotspots* globais para a conservação, devido a sua alta diversidade biológica e ao aumento da ameaça que vem sofrendo com o avanço das atividades agrícolas intensivas sobre as suas áreas de cobertura natural, principalmente no norte do estado de São Paulo e centro-oeste do território brasileiro.

Além do patrimônio natural, as áreas de abrangência originais da Mata Atlântica e do Cerrado no estado possuem importância histórica, cultural e social na formação da sociedade paulista e brasileira, pois os ciclos econômicos, principalmente da cana-de-açúcar e do café, interferiram significativamente nessas áreas e, mesmo após seu declínio e “recuperação”, ainda podem ser encontradas espécies cultivadas entremeadas às suas florestas (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE, 2005).

Nesse contexto, as paisagens e espécies protegidas pelas UC paulistas, localizadas em áreas que originalmente abrigavam estes biomas, são caracterizadas não apenas por possuírem uma cobertura florestal rica e diversificada, como também por uma série de outras formas de uso da terra resultantes de intervenção humana, inclusive das atividades abandonadas.

Segundo relatos da SMA (2005) a instalação do Horto Botânico na capital paulista em 1896, na área do antigo "Engenho da Pedra Branca", marcou o início das ações de conservação dos remanescentes florestais no estado de São Paulo. Atualmente esta área abriga ainda o Parque Estadual Alberto Lofgren e a sede do Instituto Florestal e da Fundação Florestal, órgãos responsáveis pela gestão das UC paulistas.

A partir do início da década de 1940, quando começaram a ser instituídas as reservas extrativistas e os Parques Estaduais, observa-se um progressivo aumento da quantidade de UC e a ampliação das áreas sob proteção. No ano de 1977 foi criada a maior UC de proteção integral da Mata Atlântica do país, o Parque Estadual da Serra do Mar, com aproximadamente 315 mil hectares (SMA, 2005). A partir da década de 1980 foram implementadas diversas Áreas de Proteção Ambiental (APA) e, mais recentemente, Reservas de Desenvolvimento Sustentável (RDS) e Reservas Particulares do Patrimônio Natural (RPPN).

Dentre as diferentes categorias de UC existentes no estado, os Parques Estaduais e as Áreas de Proteção Ambiental são as mais representativas, com cerca de 700.000 hectares de área total protegida, cada uma, seguidas pelas Estações ecológicas, com pouco mais de 100.000 hectares (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE, 2005).

No final do ano de 2006 o governo estadual criou, por meio do Decreto n.º 51.453, o Sistema Estadual de Florestas (SIEFLOR) com o objetivo de aprimorar a gestão das UC, por meio da atuação integrada entre o Instituto Florestal e a Fundação Florestal, órgãos responsáveis pela pesquisa científica e gestão administrativa do sistema de Unidades de Conservação do estado (WWF-BRASIL, 2008).

A Fundação para a Conservação e a Produção Florestal do Estado de São Paulo – Fundação Florestal – é um órgão vinculado à Secretaria do Meio Ambiente que foi instituído pela Lei Estadual nº 5.208, de 1º de julho de 1.986, sendo seu estatuto aprovado pelo Decreto Estadual nº 25.952, de 29 de setembro de 1.986.

Segundo informações constantes na Lei e no Decreto supracitados, o principal objetivo da Fundação Florestal é o de contribuir para a conservação, o manejo e a ampliação das florestas de proteção e produção do estado. Com esse fim, ela apoia, promove e executa ações voltadas para a conservação ambiental, a proteção da biodiversidade, o desenvolvimento sustentável, a recuperação de áreas degradadas e o reflorestamento de locais ambientalmente vulneráveis, realizando parcerias com órgãos governamentais e instituições da sociedade civil; sendo também o órgão responsável pela comercialização de produtos extraídos de florestas plantadas em áreas pertencentes ao patrimônio do estado.

Atualmente, a Fundação Florestal é responsável pela gestão de 93 UC de Proteção Integral e de Uso Sustentável, que abrangem uma área total de 844.000 hectares, sendo: 30 Parques Estaduais, 16 Estações Ecológicas, 1 Floresta Estadual, 1 Reserva Estadual, 2

Reservas Extrativistas, 5 Reservas de Desenvolvimento Sustentável, 30 Áreas de Proteção Ambiental, 3 Áreas de Proteção Ambiental Marinha, 3 Áreas de Relevante Interesse Ecológico, e 1 Monumento Natural.

Esse quadro demonstra um equilíbrio entre as UC de proteção integral e de desenvolvimento sustentável no território do estado, sendo as mais significativas delas, as Áreas de Proteção Ambiental e os Parques Estaduais, possuindo cada uma destas duas categorias 30 UC diferentes. A localização de cada uma destas UC pode ser observada no Mapa 1.

MAPA 1-UNIDADES DE CONSERVAÇÃO DO ESTADO DE SÃO PAULO

4.1.5 Os Planos de Manejo de Unidades de Conservação no Brasil e no estado de São Paulo

Segundo a lei do SNUC, o planejamento das Unidades de Conservação pressupõe a utilização de instrumentos de planejamento denominados de Planos de Manejo. Estes, por sua vez, requerem estudos sistemáticos e abrangentes, que possam subsidiar o Zoneamento da UC e, conseqüentemente, estabelecer as restrições e possibilidades de usos de seus recursos naturais, sempre em consonância com os objetivos de criação da UC (BRASIL, 2000).

Dessa maneira, o SNUC determina que as UC devem dispor de Planos de Manejo, abrangendo todo o seu território, a sua zona de amortecimento e os corredores ecológicos envolvidos. A zona de amortecimento corresponde à área do entorno (vizinhança) da UC, onde as atividades e os usos da terra devem ser compatíveis com a proteção ambiental (BRASIL, 2002).

Nesse sentido, os Planos de Manejo de UC são importantes para direcionar o manejo e minimizar os potenciais conflitos entre diferentes interesses de uso nas UC, planejando a curto e em longo prazo o desenvolvimento de atividades na sua área e no seu entorno (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS, 1988; LEDEC, 1992; MCNEELY et al., 1990). Usualmente, os planos são elaborados para um período de cinco anos (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS, 1988; BRASIL, 2002), no entanto a maioria das UC brasileiras ainda nem dispõe do primeiro Plano de Manejo, mesmo com a maioria delas tendo sido criadas há mais de uma década (MORSELLO, 2001).

O regulamento dos Parques Nacionais Brasileiros (Decreto nº 84.017 de 21 de setembro de 1979) define o Plano de Manejo como um projeto dinâmico que, utilizando técnicas de planejamento ecológico, determina o zoneamento de uma UC, caracterizando cada uma de suas zonas e propondo seu desenvolvimento físico, de acordo com suas finalidades, e estabelecendo diretrizes básicas para o seu manejo.

Com base nessa ideia inicial, a lei do SNUC (BRASIL, 2000) deu uma nova redação ao conceito de Plano de Manejo que, no inciso XVII do Artigo 27º, o define como: “documento técnico mediante o qual, com fundamento nos objetivos gerais de uma unidade

de conservação, se estabelece o seu zoneamento e as normas que devem presidir o uso da área e o manejo dos recursos naturais, inclusive a implantação das estruturas físicas necessárias à gestão da unidade”.

Segundo essa mesma lei, o conceito de “manejo” deve ser entendido como “todo e qualquer procedimento que vise assegurar a conservação da diversidade biológica e dos ecossistemas” (BRASIL, 2000). O que pode ser entendido como um conjunto de atividades necessárias para o alcance dos objetivos de conservação dessas áreas, descritas por Milano (2000) como “atividades fim”, ou seja: atividades de proteção, recreação, educação, pesquisa e recuperação de áreas degradadas. Para este autor, é possível distinguir estas atividades daquelas relacionadas com assuntos administrativos, entendidas como “atividades meio”, que se referem aos atos necessários para viabilizar o manejo, como o controle de pessoal, licitação, contabilidade, aquisição e manutenção de bens necessários etc.

Dessa maneira, o Roteiro Metodológico de Planejamento de UC elaborado pelo IBAMA (2002), estabelece os seguintes objetivos para os Planos de Manejo:

- a) Levar a UC a cumprir os objetivos estabelecidos na sua criação;
- b) Definir os objetivos específicos de manejo, orientando a gestão da UC;
- c) Dotar a UC de diretrizes para seu desenvolvimento;
- d) Definir ações específicas para o manejo da UC;
- e) Promover o manejo da Unidade, orientado pelo conhecimento disponível e/ou gerado;
- f) Estabelecer a diferenciação e intensidade de uso mediante zoneamento, visando à proteção de seus recursos naturais e culturais;
- g) Destacar a representatividade da UC no SNUC frente aos atributos de valorização de seus recursos como: biomas, convenções e certificações internacionais;
- h) Estabelecer, quando couber, normas e ações específicas visando compatibilizar a presença das populações residentes com os objetivos da Unidade, até que seja possível sua indenização ou compensação e sua relocação;
- i) Estabelecer normas específicas regulamentando a ocupação e o uso dos recursos da Zona de Amortecimento (ZA) e dos Corredores Ecológicos (CE), visando à proteção da UC;
- j) Promover a integração socioeconômica das comunidades do entorno com a UC;
- k) Orientar a aplicação dos recursos financeiros destinados à UC.

Acrescente-se a esses objetivos a necessidade de o planejamento ser participativo, gradativo e flexível, e periodicamente revisado e continuamente monitorado, por meio de um processo integrado e contínuo que possibilite atingir a magnitude e complexidade dos ecossistemas e suas especificidades internas e externas (BRASIL, 2002).

Porém, diversos autores que pesquisaram a efetividade da aplicação dos Planos de Manejo que vêm sendo produzidos para Unidades de Conservação brasileiras relatam que, muitos deles, não cumprem este papel, principalmente por causa de um possível descompasso entre a qualidade das informações levantadas durante o planejamento e as propostas de gestão derivadas destas informações (DOUROJEANNI, 2002, 2005a, 2005b; DOUROJEANNI; PÁDUA, 2001; HOROWITZ, 1992; LEE; MIDDLETON, 2003; MACKINNON et al., 1990; MILANO, 1997).

Lee e Middleton (2003) observam que, por se tratar de perspectivas do futuro, o planejamento das UC envolve julgamentos de valores, circunstâncias e propostas, sendo recomendável que ocorra sobre diferentes experiências práticas e em bases técnico-científicas consistentes, com justificativas delineadas e documentadas (LEE; MIDDLETON, 2003).

Nesse mesmo sentido, Miller (1980) destaca entre os benefícios do planejamento, o aprimoramento do funcionamento da área, contribuindo para um melhor desempenho dos seus encarregados, otimizando a captação e a execução de verbas, identificando responsabilidades ou causas. Além de poder aperfeiçoar a comunicação, garantir o cumprimento de requisitos internacionais e auxiliar na implementação de protocolos ou medidas relevantes de um sistema de UC.

Apesar de certa unanimidade quanto à relevância dos Planos de Manejo para o sucesso de uma UC, têm se verificado em diversas pesquisas que o próprio IBAMA enfrenta dificuldades para executar suas propostas (MILANO; TRESINARI; FERREIRA, 1993). Essa dificuldade persiste desde a década de 1980, o que levou a criação de diferentes referenciais metodológicos para a sua elaboração, como o roteiro metodológico antigo (IBAMA, 1996) e o roteiro atual (IBAMA, 2002).

Em geral, esses dois Roteiros Metodológicos recomendam que os Planos de Manejo de UC brasileiras sejam elaborados em dois conjuntos de etapas distintos e complementares: o conjunto de etapas de Diagnóstico da UC, onde ocorrem os levantamentos de dados primários e as avaliações socioambientais, e o conjunto de etapas de Planejamento, onde ocorrem as

tomadas de decisão. O conjunto de etapas do diagnóstico envolve a organização do processo e formação das equipes técnicas, reconhecimento dos objetivos específicos da UC, compilação de dados primários e secundários, avaliação das restrições e oportunidades para o manejo, a identificação das ameaças, definição da visão de manejo e consolidação dos objetivos específicos da área (IBAMA, 1996; 2002).

Já as etapas de planejamento são necessariamente posteriores à finalização das etapas de diagnóstico e se sucedem da seguinte maneira: delimitação das zonas que possuem objetivos de gestão semelhantes (zoneamento), definição da infraestrutura necessária ou áreas de desenvolvimento, descrição dos programas de manejo (definindo “o que” e “como” deve ser feito), elaboração do cronograma físico-financeiro para a execução das propostas descritas nos programas, consultas públicas, revisão do rascunho do plano e aprovação pública do documento (IBAMA, 1996; 2002).

No caso específico de Planos de Manejo de Unidades de Conservação estaduais paulistas, a metodologia de elaboração dos mesmos é estabelecida pelo Núcleo de Planos de Manejo (NPM) da Fundação Florestal do Estado de São Paulo (FF). O NPM da FF foi fundado em março de 2007 com o objetivo gerenciar os Planos de Manejo em UC estaduais paulistas, mediante a padronização de métodos e procedimentos técnicos e a contratação de serviços especializados.

Dentre as estratégias para execução dos Planos no estado está a contratação de Universidades, Institutos de Pesquisa, empresas de consultoria, organizações da sociedade civil (ONGs), ou o aproveitamento de pesquisadores do próprio Instituto Florestal, juntamente com consultores contratados para a elaboração de produtos específicos (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a).

Com o objetivo de assegurar a qualidade técnica dos Planos de Manejo, o NPM coordenou a elaboração de um Termo de Referência (TdR) para a padronização dos planos, definindo princípios comuns em relação às estruturas e procedimentos, métodos de planejamento estratégico, nomenclaturas de programas de gestão e das respectivas atividades que devem ser contempladas pelos Planos de Manejo de UC de Proteção Integral do estado de São Paulo (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a).

O Termo de Referência, assim como os Roteiros Metodológicos propostos pelo IBAMA (1996; 2002), também estrutura o processo de elaboração dos Planos de Manejo em

duas etapas: “Diagnóstico” e “Planejamento”; e sobre dois enfoques metodológicos: a estruturação por módulos e o planejamento participativo (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a).

Segundo esse documento, cada um dos módulos deve ser composto por equipes de técnicos e especialistas com competência na respectiva área de atuação no Plano tais como: Meio Físico, Meio Biótico, Meio Antrópico, Planejamento e Coordenação, Cartografia e Banco de dados Geográfico (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a).

Os módulos do Meio Físico, Biótico e Antrópico, conjuntamente com a equipe de Cartografia e Banco de Dados Geográfico, são os principais módulos que atuam na fase de Diagnóstico das UC. Para tanto eles se utilizam de técnicas de geoprocessamento desde a coleta dos dados necessários, passando pelos mapeamentos temáticos de inventário das UC, até a realização de análises sobre os riscos, fragilidades e potencialidades (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a).

Dessa maneira, o TdR prevê que cada módulo temático do Diagnóstico (Meio Físico, Meio Biótico e Meio Antrópico) deve contribuir para compor o diagnóstico integrado da UC, com a finalidade de fornecer subsídios para a proposição do zoneamento, das diretrizes e das linhas de ação, necessárias à etapa de Planejamento dos Planos de Manejo.

Tais módulos evidenciam o enfoque técnico dos Planos de Manejo de UC estaduais paulistas, já que as equipes são formadas por pesquisadores e especialistas com experiência nos respectivos temas de atuação e que assim procuram respaldar as suas proposições e análises em fundamentos técnicos e científicos. Entretanto, a sociedade civil também participa de todas as etapas de elaboração do Plano de Manejo por meio dos seus respectivos conselhos de representação junto a UC.

Dessa maneira, e de acordo com o TdR da Fundação Florestal (2010a), a discussão com a sociedade e parceiros institucionais durante o processo de elaboração dos Planos de Manejo, são fundamentais para torná-los mais ajustados à realidade local, através da incorporação das demandas da sociedade e, em especial, das comunidades locais diretamente afetadas.

Segundo a lei do SNUC de 2002, entre os benefícios do planejamento participativo, há a possibilidade de se buscar um consenso acerca da visão e propostas para uma área, obter

apoio político para a proteção da Unidade, e o engajamento de lideranças locais na sua conservação, permitindo que a UC faça mais parte do cotidiano das pessoas que moram dentro delas, ou nas suas imediações, ou simplesmente dependem de seus serviços ambientais.

Por outro lado, alguns autores atentam para com os perigos que residem na impossibilidade de atender a todos os anseios de todas as pessoas envolvidas, ou mesmo de se fazer cumprir o que foi previamente consensuado (LEE; MIDDLETON, 2003; MILANO, 1997; ZELLER, 2008), principalmente em UC de Uso Sustentável, e nas Zonas de Amortecimento das UC de Proteção Integral, onde a situação fundiária é predominantemente de domínio privado.

Ainda assim, a participação da sociedade civil jamais pode ser vista como um empecilho; pois, sem o seu apoio, as chances de reprodução dos mesmos defeitos anteriormente discutidos, e que vêm sendo amplamente apontados pela literatura que se debruça sobre o tema, como em Dourojeanni e Pádua (2001); Dourojeanni, (2002; 2005a; 2005b); Faria (2004); Fidalgo (2003); Horowitz (2000); Lang e Blaschke (2009); Lee e Middleton (2003); Santos (2009); e Zeller (2008); só tendem a aumentar ainda mais, apesar da participação da sociedade consistir em uma característica recente na gestão e no planejamento dos parques (MACKINNON et al., 1990; MILLER, 1980), que no Brasil só foi consolidada com a promulgação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC, 2000; 2002); tanto estas leis (SNUC, 200; 2002), quanto os autores que avaliam as suas aplicações (DOUROJEANNI; PÁDUA, 2001; DOUROJEANNI, 2002, 2005a, 2005b; FARIA, 2004; FIDALGO, 2003; HOROWITZ, 2000; LANG; BLASCHKE, 2009; LEE; MIDDLETON, 2003; MACKINNON et al., 1990; MILLER, 1980; SANTOS, 2009; ZELLER 2008), são unânimes em relação ao caráter indispensável da participação da sociedade civil na busca pelos melhores resultados possíveis na gestão das Unidades de Conservação.

No próximo subitem deste Capítulo são justificadas as escolhas das duas UC, cujos Planos de Manejo foram selecionados para avaliação das técnicas de geoprocessamento empregadas nos seus mapeamentos de inventário, além de uma breve apresentação das suas respectivas características.

4.1.6. Justificativas quanto à escolha das Unidades de Conservação cujos Planos de manejo foram tomados para estudos de caso

Para permitir uma análise abrangente e atualizada de como estão sendo procedidas as aplicações das técnicas de geoprocessamento nos mapeamentos de inventário dos Planos de Manejo de Unidades de Conservação no estado de São Paulo, foram selecionados para o estudo de caso os dois Planos de Manejo que se apresentaram como as amostras mais representativas da diversidade de categorias de manejo das UC paulistas, bem como, em relação à diversidade de contextos socioambientais nos quais elas estão inseridas. Por estas razões foram selecionados para estudos de caso os Planos de Manejo do PETAR e da APA-VRT, por consistirem nos Planos de Manejo mais recentemente elaborados e por se dedicarem ao planejamento de UC com características extremamente diferentes no que se referem aos seus enquadramentos legais, objetivos de manejo, atributos de proteção ambiental e contextos socioambientais em que se encontram.

No que se refere aos enquadramentos legais dessas Unidades de Conservação, enquanto uma consiste em um Parque Estadual (o PETAR) e que, portanto, é de domínio do poder público e exige a proteção integral dos seus recursos naturais, o outro consiste em uma Área de Preservação Ambiental (APA-VRT), de domínio predominantemente privado, cujo objetivo de manejo está vinculado ao desenvolvimento do uso sustentável do seu território.

Além disso, elas também se diferenciam nas suas localizações e contextos históricos de ocupação no território paulista, isto é, enquanto o PETAR está localizado na Bacia Hidrográfica do Alto Ribeira, região considerada como a mais conservada do território do estado e que apresenta uma baixa intervenção e transformação antrópica, o que é acompanhado por um baixo dinamismo econômico da região em relação a outras regiões do estado; a outra UC, a APA-VRT, está inserida bem no interior da Região Metropolitana de São Paulo, que consiste em uma das regiões mais densamente ocupadas e transformadas do mundo e que, do ponto de vista econômico, consiste no principal centro produtivo e financeiro da América Latina.

Outra característica que diferencia essas duas UC está relacionada com os atributos ambientais de interesse de conservação. O PETAR tem como principal atributo de conservação, que fundamenta a sua criação, um rico patrimônio espeleológico que abriga uma

das maiores densidades de cavidades cársticas do país. Somente no Parque já foram registradas mais de uma centena delas. Já a APA-VRT tem como principal atributo de proteção ambiental os, atualmente raros, remanescentes das planícies originais de inundação do Rio Tietê na Região Metropolitana de São Paulo, bem como os, ainda mais raros, cinturões meândricos que marcam a forma do rio neste seu setor de montante, também chamado de Alto Tietê.

Além desses fatores, deve ser salientado também que os Planos de Manejo do PETAR e da APA-VRT consistem nos Planos de Manejo de elaboração mais recentes no estado de SP, ambos se encontrando, inclusive, ainda em fase de avaliação junto ao Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA), órgão estadual responsável por, entre outras funções, deliberar sobre os Planos de Manejo elaborados para UC do estado.

A seguir são feitas algumas considerações a respeito do histórico de criação e dos principais aspectos ambientais destas duas Unidades de Conservação.

4.1.6.1 O Parque Estadual Turístico Alto Ribeira (PETAR)

O PETAR, com seus mais 35.000 ha, localiza-se no sul do estado de São Paulo e abrange parte dos municípios de Iporanga e Apiaí, conforme pode ser observado no MAPA 1 (identificado com o número 27 das UC categorizadas como “Parques Estaduais”), limitando-se com os municípios de Guapiara (norte e noroeste) e Itaóca (sudoeste) e tem continuidade territorial com o Parque Estadual de Intervales (a nordeste do Parque).

O Parque está inserido no que é conhecido como o “contínuo ecológico de Paranapiacaba” que, conforme já mencionado anteriormente, representa uma das áreas mais bem conservadas entre os remanescentes da Mata Atlântica do Brasil. Com mais de 120.000 ha de florestas, o contínuo ecológico é composto pelos Parques Estaduais Carlos Botelho, Intervales, Turístico do Alto Ribeira e a Estação Ecológica de Xitué (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010b).

Além de integrar esse contínuo ecológico do bioma Mata Atlântica, a região do Vale do Ribeira e Alto Paranapanema, na qual o PETAR está inserido, revela-se como das mais importantes áreas cársticas do mundo, com feições típicas, como carste poligonal, cones e cânions cársticos, vales fluviais profundos, escarpamentos rochosos com pórticos de cavernas, extensos sistemas de drenagem subterrânea com grande variedade espeleomorfológica, e cavernas com sítios paleontológicos do Quaternário (KARMANN; FERRARI, 2002).

Segundo dados do Centro Nacional de Pesquisas e Conservação de Cavernas (Cecav) do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), atualmente são conhecidas mais de 600 cavernas nas regiões do Vale do Ribeira e Alto Paranapanema, porém este número tende a aumentar, à medida que novos estudos forem realizados (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010b).

Os atrativos mais procurados pelos visitantes do PETAR são as cavernas. Atualmente são conhecidas cerca de 400 cavernas na região do Parque e seu entorno. A maioria das cavernas representa trechos acessíveis de rotas de circulação de águas subterrâneas. O padrão geral dos sistemas subterrâneos é do tipo convergente, em que a água coletada por muitos sumidouros é drenada para poucas ressurgências. Os principais acessos aos trechos subterrâneos acontecem através dos sumidouros ou das ressurgências (KARMANN; FERRARI, 2002). A Figura 3 ilustra uma dessas “ressurgências” de águas subterrâneas do Parque que são exploradas para fins turísticos e científicos.

FIGURA 3 - Ressurgência de águas subterrâneas do PETAR

Fonte: Foto tirada pelo autor em 2010.

O Plano de Manejo do Parque foi elaborado entre os anos de 2008 e de 2010, através de recursos provenientes de compensação ambiental, chamado de Termo de Compromisso de Compensação Ambiental (TCCA) que foi firmado entre a COSAN Açúcar e Álcool S/A, e a Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, contemplando a elaboração do Plano de Manejo e a regularização fundiária do Parque, conforme Processo SMA nº 13.520/2007 (FUNDAÇÃO FLORESTAL. 2010b).

Para a realização dos levantamentos e análises demandados pelo Plano de Manejo, foram contratadas equipes especialistas de consultores autônomos e pessoas jurídicas, incluindo uma equipe para a coordenação executiva de todo o trabalho. Além das equipes contratadas, segundo consta no próprio Plano de Manejo do Parque, pesquisadores científicos de ao menos duas instituições também contribuíram relevantemente na elaboração do Plano: o Instituto Geológico (IG) e o Instituto Florestal (IF) (FUNDAÇÃO FLORESTAL 2010b).

4.1.6.2 A Área de Proteção Ambiental Várzea do Rio Tietê (APA-VRT)

A Área de Proteção Ambiental Várzea do Rio Tietê (APA-VRT) foi criada através da promulgação da Lei Estadual nº 5598, de 06 de janeiro de 1987; e regulamentada pelo Decreto Estadual nº 42.837, de 03 de fevereiro de 1998, que estabeleceu o zoneamento ambiental, as diretrizes para uso dos recursos naturais da área e o Conselho Gestor da APA Várzea do Rio Tietê (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2013).

O território da APA-VRT está dividido em dois setores:

- 1) Setor Oeste, compreendendo parte dos municípios de Osasco, Carapicuíba, Barueri e Santana do Parnaíba;
- 2) Setor Leste, compreendendo também parte dos municípios São Paulo, Guarulhos, Itaquaquecetuba, Poá, Suzano, Mogi das Cruzes, Biritiba Mirim e Salesópolis.

A área de abrangência da APA somando-se os dois setores é de aproximadamente 7.400 hectares. Todo o seu território está inserido na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) que consiste na região mais densamente ocupada e mais intensamente transformada,

do ponto de vista físico-natural, do país e da América Latina. Embora ocupe apenas um milésimo do território brasileiro (cerca de 0,001% do território), a região abriga 10% da sua população, o que representa mais de 20 milhões de habitantes. A Figura 4 apresenta a distribuição dos dois setores da APA-VRT na RMSP.

FIGURA 4 – Imagem Landsat-8 da RMSP de 08/02/2014 (composição colorida 7-R, 4-G, 2-B)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Segundo Ab'Saber (1957), o que comumente se denomina “várzea” refere-se ao conjunto de terras baixas e planas com altitudes próximas às das margens do canal fluvial; compreendendo, portanto, morfologias com origens e funcionalidades hidrológicas e ecológicas bastante distintas, igualando-se apenas pelo fato de estarem em altitudes aproximadas e serem palco dos pulsos de extravasamentos frequentes dos canais.

Segundo Ross e Moroz (1997) as planícies de inundação dos rios Tietê, Pinheiros e Tamanduateí situam-se entre 720 a 730 metros de altitude e são compostas por terrenos planos, de natureza sedimentar fluvial quaternária, geradas por processos de agadação. A elas se associam os terraços fluviais, que consistem em áreas planas ou levemente inclinadas,

poucos metros mais elevadas que as planícies de inundação. Nas planícies predominavam, originalmente, padrões labirínticos de drenagem conhecidos por meandros.

Sendo assim, as “várzeas”, que dão o nome à Unidade de Conservação, compreendem o que normalmente se associa ao termo geomorfológico “planície de inundação atual”, sendo todas as áreas planas com altitudes equivalentes às máximas das margens do canal principal e, por vezes às dos níveis terraceados mais baixos.

Rodrigues (2005) observa que antes mesmo da retificação do canal do Rio Tietê, na década de 1950, as planícies fluviais foram objeto de uma série de modificações na morfologia original e consequentemente, nos processos hidrogeomorfológicos, tais como aqueles decorrentes da extração de areia e argila.

A autora segue relatando que no trecho em que o rio atravessa a mancha urbana da Região Metropolitana de São Paulo suas margens encontram-se ocupadas por vias expressas, indústrias, centros comerciais e residências de todos os padrões; o que se transformou em um importante eixo de ligação entre os seus setores Leste e Oeste. Tal ocupação no leito expandido do rio, somado ao constante assoreamento de seu leito por detritos e partículas arrancados de suas margens ou de seus afluentes, acarreta frequentes inundações que causam transtornos e prejuízos à população e à economia da metrópole. Com o intuito de minimizar esses problemas, foram inúmeros os projetos estruturais (construção de reservatórios “piscinões”, construção de barragens, alargamento e aprofundamento da calha, entre outros) adotados para o rio ao longo das últimas décadas, drenando vultosos recursos dos cofres públicos (RODRIGUES, 2005).

Concomitantemente com tais intervenções estruturais, foram também adotadas medidas de carácter não estrutural por parte do poder público no sentido de conter a expansão urbana sobre as áreas naturalmente constituídas por planícies de inundação do Rio Tietê na região, entre elas constam a criação do Parque Ecológico do Tietê em 30 de abril de 1976, por meio do Decreto Estadual nº 7.868; e a criação da Área de Proteção Ambiental Várzea do Rio Tietê em 06 de janeiro de 1987.

O Parque Ecológico do Tietê (PECO) encontra-se inserido no interior da APA-VRT e conta com uma área de aproximadamente 14 km². Ele consiste em uma Unidade de Conservação gerenciada pelo Departamento de Águas e Energia Elétrica (DAEE). A finalidade deste Parque, segundo consta no seu decreto de criação, é a de preservar a

capacidade de amortecimento das cheias das áreas naturais de várzeas do rio, a montante da barragem da Penha, e de aproveitar as áreas lindeiras para atividades de lazer e para a preservação da fauna e da flora. Através da Figura 5 é possível observar os remanescentes de planície fluvial protegidos pelo Parque com o seu entorno totalmente urbanizado.

FIGURA 5 – Vista aérea oblíqua do Parque Ecológico do Tietê

Fonte: Fundação Florestal (2013).

A criação da APA-VRT é um pouco posterior à do PECO, mas o seu objetivo é semelhante. O objetivo de sua criação, segundo consta na lei e no decreto que a regulamenta, é proteger as “várzeas” e as planícies aluvionares do rio Tietê, com a finalidade de controlar as enchentes na Região Metropolitana de São Paulo, considerando suas características geomorfológicas, hidrológicas e sua função ambiental.

O Plano de Manejo da APA-VRT, que também compreende o próprio PECO, foi iniciado no final do ano de 2010 pela Fundação Florestal conjuntamente com a participação do Conselho Gestor da APA, e em parceria com a Universidade de São Paulo (USP), através da contratação da Fundação Universidade de São Paulo (FUSP).

Todo o corpo de técnicos que integraram as equipes de trabalho do Plano, tanto de diagnóstico quanto de planejamento (inclusive a coordenação executiva), foram compostos por professores, funcionários, pesquisadores e alunos da Universidade de São Paulo, vinculados principalmente ao Departamento de Gestão Ambiental da Escola de Ciências, Artes e Humanidades da USP (EACH/USP) e ao Departamento de Geografia da Faculdade de Filosofia Letras e Ciências Humanas da USP (FFLCH/USP).

Como já mencionado anteriormente, tanto os Roteiros Metodológicos do IBAMA (1996, 2002), quanto o Termo de Referência da Fundação Florestal (2010), explicitam a necessidade do uso das técnicas de geoprocessamento em todas as etapas do processo de elaboração de Planos de Manejo de Unidades de Conservação.

Dessa maneira, nos próximos itens deste capítulo, encontra-se um resgate teórico conceitual das técnicas de geoprocessamento, no qual também já se encontram esboçadas breves explanações acerca das suas possibilidades de aplicação no processo de elaboração de Planos de Manejo. A construção sistematizada destas possibilidades, realizada através da aplicação dos métodos e procedimentos especificados nos Capítulos 5 e 6, respectivamente, são apresentadas e discutidas nos resultados da pesquisa, ao longo do Capítulo 7.

4.2. O Conceito de Geoprocessamento e de suas respectivas tecnologias

O significado do termo Geoprocessamento definitivamente não é uma unanimidade entre os profissionais e cientistas que se utilizam dessas técnicas nas suas pesquisas e análises. Dependendo do autor, o termo pode significar um conjunto de tecnologias voltadas à aquisição, ao arquivamento, à recuperação, ao processamento, à integração e à representação de dados e informações geográficas; ou seja, com referência de localização espacial na superfície terrestre (BURROUGH, 1987; CÂMARA et al., 2001; ROSA, 2005).

Nesse sentido o termo Geoprocessamento abarcaria as técnicas de aquisição de dados e informações espaciais por Sistema de Navegação Global por Satélites (*Global Navigation Satellite System – GNSS*) e Sensoriamento Remoto, bem como as técnicas de processamento destas informações por meio de programas (aplicativos computacionais) de Processamento Digital de Imagens (PDI) e Sistemas de informações Geográficas (SIG) (CÂMARA et al., 2001; ROSA, 2005).

Outros autores, porém, preferem que o termo geoprocessamento se limite exclusivamente a designar o conjunto de ferramentas disponíveis nos aplicativos computacionais destinados ao arquivamento, à recuperação e à integração de dados e informações espaciais (XAVIER-DA-SILVA, 2001), o que se aproxima da definição de Sistemas de Informações Geográficas dos primeiros autores, preferindo utilizar o termo Geotecnologias ou Ciência da Geoinformação para o significado mais abrangente compreendido na descrição anteriormente explicitada.

Em função da diversidade de designações do termo convém explicitar que nesta pesquisa foi adotado o termo Geoprocessamento como o correspondente a um conjunto de tecnologias voltadas à aquisição, ao tratamento, à manipulação e à representação de informações espaciais (georreferenciadas) para um objetivo específico; e que tem nos SIG a sua principal, mas não única, tecnologia.

Dessa maneira as técnicas de Sensoriamento Remoto e Processamento Digital de Imagens, bem como as técnicas de Sistemas Posicionamento Global estão inclusas nesta última definição, pois se tratam de técnicas voltadas à aquisição ou coleta de dados georreferenciados, acerca de fenômenos e objetos presentes e atuantes na superfície terrestre

(ROSA, 2005). Sendo que cada uma dessas tecnologias apresenta características que as singularizam e que permitem que sejam agrupadas de acordo com as suas funções, a saber: as tecnologias que possibilitam a aquisição de dados (Sensoriamento Remoto e GNSS), as que permitem o processamento dos dados (PDI e SIG) e a que permite a organização, o gerenciamento e a apresentação dos dados (SIG).

Além destas, alguns autores ainda incluem as técnicas de levantamentos topográficos com o uso de teodolitos, os Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados (SGBD), e os *softwares* do tipo CADD (*Computer Aided Drafting and Design*) nesta definição mais abrangente de Geoprocessamento. No entanto, no que se refere às atividades de planejamento ambiental, como os Planos de Manejo de UC, essas tecnologias têm menor significância, não havendo a necessidade do seu uso direto; pois as técnicas topográficas, geralmente aplicadas para a produção de dados cartográficos de base, são utilizadas para levantamentos que exigem grande detalhamento, ao mesmo tempo em que as principais características dos *softwares* do tipo SGBD e CADD já foram incorporados pela maioria dos SIG disponíveis atualmente.

Sendo assim, a seguir se encontram descritas e discutidas as definições e caracterizações de cada uma das tecnologias de geoprocessamento consideradas nesta pesquisa (GNSS, SR, PDI e SIG).

4.2.1 Sistemas Globais de Navegação por Satélites (GNSS)

Os Sistemas Globais de Navegação por Satélite são tecnologias concebidas para possibilitar o posicionamento (localização georreferenciada) de qualquer ponto ou objeto na superfície terrestre (RAFFO, 2011).

Sistemas Globais de Navegação por Satélite, em inglês *Global Navigation Satellite Systems* (GNSS), trata-se de um termo genérico para se referir a todos os sistemas de navegação por satélites disponíveis.

O primeiro sistema GNSS a entrar em operação consistiu no projeto GPS (*Global Position System*), originalmente denominado de NAVSTAR (*Navigation System with Timing*

and Tanging), que emergiu nos Estados Unidos da América (EUA) em meados da década de 1970, a partir de outros sistemas similares de navegação por rádio que vinham sendo utilizados já desde a década de 1940.

Mais recentemente, desde o ano 2011, o NAVSTAR *Global Positioning System* (GPS) deixou de ser o único sistema GNSS operacional, quando o projeto russo GLONASS, que vinha sendo desenvolvido ainda na antiga União das Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS), desde a década de 1970, finalmente atingiu uma completa cobertura global de operacionalização em 2011. Atualmente a China também vem investindo no seu próprio sistema de navegação, chamado de Beidou/Compass, bem como a União Europeia, através do projeto chamado de Galileo, vem também desenvolvendo os seus próprios sistemas GNSS. No entanto, ambos ainda se encontram em fase de testes e só têm previsão para estarem totalmente em operação no ano 2020.

Dessa maneira, o termo *Global Navigation Satellite Systems* (GNSS) refere-se ao conjunto de sistemas utilizados para localização, navegação e aquisição de medidas precisas de qualquer local da superfície terrestre, a partir de receptores de dados enviados por satélites.

Os receptores GNSS consistem essencialmente em sistemas movidos por mecanismos eletrônicos que realizam a captação e a decodificação de sinais de rádio frequência que são emitidos por uma rede de satélites artificiais específicos para essa finalidade.

Cada satélite constituinte dessa rede contém informações próprias de posicionamento, dentro de um sistema de coordenadas específico que varia de acordo com as suas respectivas órbitas, conhecidas como efemérides. As informações de efemérides desses satélites são emitidas de maneira precisa, simultânea e ininterrupta sob a forma de ondas de rádio.

De acordo com Monico (2000), os sistemas GNSS são divididos em três segmentos:

- 1) Segmento Espacial: que consiste em uma rede de ao menos 24 satélites que realizam duas órbitas circulares diárias ao redor da Terra, há cerca de 20.200 km de altitude. Os satélites encontram-se posicionados em seis planos orbitais diferentes, de forma que ao menos quatro satélites sejam detectáveis em qualquer horário e posição na superfície terrestre;
- 2) Segmento de Controle: que é formado pelos centros de controle em terra e que têm a função de monitorar a órbita e a sincronia dos satélites além de manter seus

almanaques acurados. Dessa forma, qualquer instabilidade detectada no sistema é corrigida pelo segmento de controle com base em sistemas de processamento automáticos;

- 3) Segmento de Usuário: que compreende a antena que capta os sinais enviados pelos satélites e o receptor que decodifica estes sinais, além de identificar os respectivos satélites que os enviaram, calcular e informar ao usuário seu posicionamento, velocidade e direção de deslocamento.

Para o adequado funcionamento do sistema, os satélites são equipados com relógios atômicos que permitem uma sincronia praticamente perfeita entre os seus registros de tempo, alcançando uma acurácia cronométrica na ordem de nano-segundos. É a partir dos dados precisos destes relógios que os receptores são capazes de calcular o lapso de tempo entre a emissão e a recepção do sinal, e assim fornecerem o seu posicionamento ao usuário. Como cada satélite possui um sinal único, os receptores são capazes de distingui-los no sistema.

Os receptores GNSS têm a capacidade de captar e decodificar esses sinais e assim calcular o seu posicionamento a partir das medidas de distância relativa a esses satélites; entretanto, para se obter esta posição (coordenadas) os receptores têm de estar captando o sinal de ao menos três satélites simultaneamente, já que a sua posição é calculada por triangulação. No entanto, para obter, além das coordenadas (x, y) de localização na superfície, a altitude da localização (z), é necessária a captação simultânea dos sinais enviados por ao menos quatro satélites do sistema.

Quando os receptores são iniciados ocorrem atualizações dos dados cronométricos e dos dados das efemérides de forma a identificar os satélites potencialmente disponíveis para o receptor. As efemérides são atualizadas a cada duas horas e são substituídas a cada inicialização do receptor (SPILKER, 1996).

Monico (2000) salienta que a atualização das efemérides é mais rápida atualmente devido aos avanços, sobretudo em *hardware*, dos novos receptores disponíveis no mercado. Usando os receptores, os sinais são decodificados e utilizados para determinar latitude, longitude e altitude; e também a velocidade de deslocamento e a direção, se o usuário estiver em navegação. Além de decodificar os dados dos enviados pelos satélites e oferecer os serviços de posicionamento, os receptores também oferecem interfaces de transferência para facilitar o intercâmbio de dados para os computadores, onde eles podem ser armazenados em

Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBD), ou mesmo visualizados e armazenados em Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Para o cálculo da localização nos receptores GNSS, opera-se a partir de duas opções de acesso aos dados que o segmento de controle disponibiliza, a saber:

- a) *Precise Positioning Service* (PPS): que oferece a máxima acurácia alcançada pelo sistema e é utilizado exclusivamente pelos militares norte-americanos, com erros de posicionamento de no máximo 1 metro;
- b) *Standard Positioning Service* (SPS) para uso civil: que opera com erros de posicionamento que variam entre cerca de 10 a até 100 metros.

Segundo Spilker (1996), o segmento de controle interfere de forma proposital na transmissão de dados, fazendo com que alguns satélites enviem sinais fora da sincronia ideal. Tal efeito gera o que se chama de *Selective Availability*, ou seja, erros de posicionamento de 10 a 100 metros e que não podem ser corrigidos, pois os civis não possuem acesso a esse dado de erro implantado.

No entanto, desde maio de 2000 esse comando foi desativado e os GPS de uso civil passou a operar com erros bem inferiores e que atualmente variam de 5 a 15 metros aproximadamente; além desse fato, o sistema GLONASS que também opera globalmente desde o ano de 2011 e é mantido pelo governo russo, oferece o acesso aos sinais de alta acurácia sem qualquer restrição, ou seja: sem erros implantados como ocorria com o sistema GPS norte-americano. Dessa maneira, o sistema GNSS passou a oferecer a possibilidade de posicionamento preciso também para usos civis, com acurácia superior a um metro dependendo do local e do receptor utilizado.

Spilker (1996) ressalta que para serem evitados erros de posicionamento, os receptores GNSS devem captar dados de satélites que estejam bem posicionados geometricamente uns dos outros. Também se devem evitar regiões que de alguma forma interfira na trajetória do sinal que é emitido pelo satélite e que chega ao receptor, efeito conhecido como “multicaminhamento”, pois tal efeito acarreta atrasos do sinal ampliando erros.

A acurácia dos dados adquiridos por receptores de uso civil, também conhecidos como receptores GNSS de navegação, pode sofrer interferência da atmosfera, provocando atrasos nas trajetórias dos sinais ocasionando erros de posicionamento (ADAMS et al., 1995). Esses

erros podem ser detectados por receptores que operam em mais de uma frequência, como é o caso dos decodificadores de alta acurácia, também conhecidos como receptores GNSS de precisão ou geodésicos, que conseguem captar o sinal da frequência conhecida como *código P*, mais precisos e que chegam a oferecer acurácia de posicionamento na ordem de centímetros. Os decodificadores de uso civil recebem apenas os sinais na frequência conhecida por *C/A*, que são menos precisos (MONICO, 2000).

Também existem receptores de dados GNSS de alta acurácia, os chamados DGPS (*Differential GPS*), ou receptores GNSS diferenciais, que se consistem basicamente na conexão de uma antena DGPS a um receptor GNSS convencional de navegação, colocando-o sobre um ponto que possui coordenadas conhecidas, que podem ser marcos ou referenciais geodésicos, enquanto o outro receptor é posicionado no ponto de interesse de obtenção do posicionamento. Tal localização é conhecida como posicionamento relativo, pois se obtêm as coordenadas precisas de localização de um ponto a partir da diferença da localização deste em relação a outro ponto com coordenadas precisamente conhecidas (ADAMS et al. 1995).

No que se refere ao uso de sistemas GNSS para a maioria dos levantamentos necessários para a elaboração de Planos de Manejo de Unidades de Conservação, ou seja: levantamentos temáticos relativos à localização do registro de espécies da fauna e flora, ou levantamentos de pontos de localização de sítios e patrimônios arqueológicos, ou ainda para a aferição de mapeamentos temáticos de classes pedológicas, geomorfológicas de cobertura e uso da terra, por exemplo; geralmente são utilizados apenas os receptores GNSS para o uso civil, ou receptores GNSS de navegação, devido ao fato de praticamente todos os tipos de levantamentos demandados nestes documentos não exigirem que sejam realizados com acurácia na escala de centímetros, e assim incorporarem as margens de erros oferecidas pelos receptores GNSS de navegação, quase que invariavelmente, adequadas às escalas de análises desses projetos.

Dessa maneira, também se economizam tempo e recursos, já que os custos financeiros e o tempo despendido para a aprendizagem, o manuseio e o próprio registro de pontos, através desses receptores são consideravelmente inferiores em relação aos receptores de precisão.

No entanto é comum também o uso de receptores diferenciais GNSS, ou mesmo geodésicos, para a atualização de bases cartográficas e correção geométrica de dados obtidos por sensoriamento remoto, visto que muitas das bases cartográficas disponíveis no Brasil são

consideravelmente desatualizadas e muitas informações obtidas por sensores remotos, tais como imagens orbitais e fotografias aéreas, carecem de georreferenciamento e ortorretificação.

Os dados obtidos com o uso dos sistemas GNSS consistem em arquivos digitais com características alfanuméricas que podem ser importados e armazenados em SIG, onde então podem ganhar simbologias para serem representados cartograficamente, como na localização de infraestruturas de UC, por exemplo, bem como serem submetidos a procedimentos de análises espaciais e correlacionados a outros dados, como será discutido posteriormente.

4.2.2 Sensoriamento Remoto

Segundo Jensen (2009), Sensoriamento Remoto é a arte e a ciência de obtenção de informações sobre objetos e fenômenos que se manifestam na superfície terrestre sem estar em contato físico direto com eles. Essa definição foi concebida a partir da proposta publicada em 1983 pela Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto ASPRS (*American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*), a qual define a Fotogrametria e o Sensoriamento Remoto como:

[...] a arte, ciência e tecnologia de obter informação confiável sobre objetos físicos e o ambiente por meio do processo de registro, medição, e interpretação de imagens e representações digitais dos padrões de energia derivados de sistemas sensores sem contato físico (JENSEN, 2009, p. 3).

O próprio Jensen (2009), porém, afirma que a principal finalidade do Sensoriamento Remoto é a extração de dados e informações acerca da constituição da superfície terrestre. Nesse sentido, o termo Sensoriamento Remoto se enquadraria mais adequadamente como um conjunto de técnicas orientadas à obtenção de dados e informações, do que uma “ciência ou arte” como propõe o autor e como estabelecido pela Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto.

Nesse sentido, diversos autores brasileiros também formularam suas próprias definições na tentativa de melhor caracterizarem o termo Sensoriamento Remoto. Entre os

quais, pode ser citada a definição proposta por Florenzano (2002), que o define como a tecnologia voltada para a obtenção de imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre, através da captação e do registro da energia eletromagnética refletida ou emitida pela superfície.

De maneira semelhante, Luchiari e Kawakubo e Morato (2011) salientam que o Sensoriamento Remoto consiste no conjunto de técnicas que se utilizam de dispositivos idealizados para captar a energia eletromagnética proveniente de objetos e feições da superfície terrestre para transformá-la em imagens, ou outros produtos interpretáveis pelo homem, com a finalidade de se obterem dados e informações sobre determinada área e os fenômenos que nela ocorrem.

Em ambas as definições, pode ser constatada a persistência de uma ideia chave central de definição do termo e que é a mesma adotada para o desenvolvimento desta pesquisa, ou seja: o registro da energia ou radiação eletromagnética com a finalidade de obtenção de dados e informações acerca da constituição física da superfície terrestre ou dos fenômenos que nela se manifestam.

Segundo Jensen (2009), o surgimento do Sensoriamento Remoto está diretamente vinculado à invenção das câmeras fotográficas que consistem nos primeiros sensores ópticos utilizados no sensoriamento remoto. As primeiras câmeras fotográficas surgiram durante a primeira metade do século XIX quando foram criados os filmes fotográficos compostos por emulsões fotossensíveis. Durante este período (primeira metade do século XIX), foram realizadas diversas experiências pioneiras para a tomada de fotografias aéreas com câmeras acopladas a pipas e balões ou sobre edifícios, torres e outras estruturas altas. De acordo ainda com o autor, tais fotografias eram utilizadas para a elaboração de croquis de bairros e cidades, servindo também para usos militares, no reconhecimento de territórios inimigos e no planejamento da movimentação de tropas.

Essas experiências pioneiras apresentavam grande utilidade na época, mas não eram realizadas de maneira controlada e sistematizada o suficiente para que fosse possível a obtenção de informações e medidas precisas da superfície terrestre (JENSEN, 2009).

Dessa maneira, Andrade (1997) destaca que o maior controle sobre o processo de tomada de fotografias aéreas só começou a ser realizado após o início do século XX, com o advento do avião para a tomada das fotografias aéreas verticais, simultaneamente à evolução da qualidade dos instrumentos de captação (lentes, filmes, filtros etc.), e a invenção dos

aparelhos estereoscópios, que permitem a visualização tridimensional de pares adjacentes de fotografias aéreas em sua área de sobreposição. Dessa maneira, os avanços técnicos vivenciados durante aquele período levaram a criação dos conceitos de aerotriangulação, restituição e retificação de fotografias aéreas, o que possibilitou a produção de mapas topográficos e planialtimétricos, em níveis de acurácia compatíveis com os exigidos por esses tipos de levantamentos.

Com o surgimento da informática, a partir do início da segunda metade do século XX, iniciaram-se as primeiras tentativas de estabelecimento de rotinas computacionais para o tratamento de equações fotogramétricas. Dessas experiências se destacam o surgimento do restituidor analítico, no ano de 1957, e do processamento dos primeiros modelos numéricos do terreno em meio digital para a ortorretificação de fotografias aéreas (JENSEN, 1986).

Ainda hoje as técnicas de fotogrametria consistem em uma das principais técnicas para a geração de mapas de bases planialtimétricas, cartas topográficas e ortofotos, também se destacando o seu uso para a restituição e análises temáticas específicas, como na restituição e caracterização de bacias hidrográficas e de redes de drenagem, nos mapeamentos geológicos e pedológicos, na compartimentação e delineamento de feições geomorfológicas do relevo, e na classificação de fitofisionomias e de usos da terra. Todos esses mapeamentos consistem em produtos praticamente imprescindíveis às etapas de diagnóstico dos Planos de Manejo de UC, conforme será discutido mais adiante.

No entanto, convém destacar também o uso recente e cada vez mais frequente dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) como meios de transporte dos sensores para a obtenção de imagens da superfície, especialmente em grandes escalas.

Os VANT de pequeno porte e baixo custo, também conhecidos por *drones* ou mini-VANTs, consistem basicamente em veículos aéreos que são autônoma ou remotamente controlados e que, assim como nas aeronaves tripuladas, permitem que sejam acoplados receptores GNSS e câmeras fotográficas (digitais ou analógicas) a fim de serem obtidas imagens que registram a radiação eletromagnética emitida ou refletida pela superfície terrestre (BENDIG et al., 2012).

Atualmente, é possível identificar, em todo o mundo, uma forte tendência de substituição do uso de aviões pelos VANT no mercado de aerolevantamentos fotogramétricos, com destaque para os levantamentos em grandes escalas e em pequenas áreas. Essa tendência

se sustenta em determinadas vantagens oferecidas por esse tipo de veículo em relação aos veículos aéreos tripulados e orbitais, entre a quais, podem ser citadas: a redução dos custos na obtenção de imagens/fotografias aéreas; a maior flexibilidade de resolução temporal para aquisição de imagens de alta resolução espacial; a possibilidade de execução de missões em condições adversas, como na presença de nuvens, e sem o risco de vida para o piloto ou operador da câmera aerofotogramétrica, como no caso da ocorrência de grandes queimadas e incêndios (WATTS et al., 2012).

Entretanto, Longhitano (2011) aponta algumas desvantagens no uso desses veículos, tais como: menor estabilidade de voo, principalmente em condições atmosféricas adversas como na presença de ventos intensos (superiores a 50km/h); menor autonomia de voo, pois as VANTs são geralmente movidas por eletricidade armazenadas em baterias que proporcionam autonomia de voos em torno de uma a duas horas; e limitações relativas à altura de voo em relação a localização do controlador, o que pode variar de algumas centenas de metros a até um ou dois quilômetros de altura.

Além das câmeras ou sensores aerotransportados, seja por meio das aeronaves tripuladas ou das mini-VANT, consiste também em uma importante fonte de dados para estudos da superfície terrestre os produtos obtidos a partir dos sensores orbitais, que consistem em instrumentos que, assim como as câmeras fotográficas, registram a radiação emitida ou refletida pela superfície terrestre, com a diferença de serem acoplados a satélites artificiais em órbita no planeta.

Uma maneira de classificação dos tipos de sensores remotos orbitais é determinada pela fonte de energia na qual eles operam, podendo ser subdivididos em Sensores Orbitais Ativos e Sensores Orbitais Passivos.

Sensores Orbitais Ativos são sensores independentes, que possuem uma fonte de energia ou radiação própria para a obtenção de imagens e que não necessitam da presença da radiação solar e nem da radiação geotérmica para o seu funcionamento, o que consiste em uma vantagem em relação aos sensores passivos por não dependerem do período do dia e nem de boas condições atmosféricas para a captação de imagens. Entre os sensores ativos que possuem maior relevância e aplicação nas pesquisas ambientais, podem ser citados os sensores que operam na frequência das micro-ondas de rádio do tipo radar (*Radio Detection and Ranging*) e que geram como produtos os Modelos Digitais de Elevação (MDE), que

podem ser entendidos como imagens digitais (matrizes regulares) que contêm dados altimétricos da superfície terrestre (FELICÍSIMO, 1994).

A aquisição de tais dados altimétricos (MDE) nos sensores ativos é realizada a partir do cálculo da amplitude e do tempo de retorno dos sinais que são emitidos por estes sensores na direção da superfície terrestre. O sensor mais amplamente utilizado com essas características em SIG é o SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) da NASA, que fornece gratuitamente MDE para todo o globo terrestre em níveis de acurácia compatíveis com as escalas entre 1:100.000 e 1:250.000 (MARTINS, 2010).

Além dos sensores do tipo radar, também vêm se destacando o uso dos sensores ativos do tipo Laser Scanner, também conhecidos como LIDAR (*Light Detection And Ranging*), que vêm sendo cada vez mais utilizados para a geração de Modelos Digitais de Elevação.

Os sensores LIDAR não são orbitais, são aerotransportados e o seu mecanismo de funcionamento é semelhante aos do tipo radar; porém, nesses sensores, os sinais são constituídos por feixes de LASER (*Ligth Amplification by Stimulatied Emission of Radiance*) e possuem uma densidade de observações (pontos de medição) muito superior aos sensores orbitais do tipo radar, o que possibilita a obtenção de dados altimétricos compatíveis com grandes escalas, chegando até a escalas superiores a 1:5.000 (SANTOS, 2006), o que varia de acordo com a altura de voo dos aviões utilizados para o transporte desses sensores.

Contudo, também merece ser destacada a possibilidade de obtenção de MDE a partir de pares estereoscópicos de imagens obtidas por sensores orbitais passivos, entre os quais podem ser citados: o ASTER/GDEM (*ASTER Global Digital Elevation Model*), compatível com escalas médias entre 1:100.000 e 1:250.000; o SPOT-5/HRS, o IKONOS-2 e o QuickBird, capazes de obterem MDE com maior grau de detalhamento e acurácia (TOUTIN; GRAY, 2000).

Os Sensores Orbitais Passivos por sua vez, talvez sejam, junto com as câmeras fotográficas (digitais ou analógicas), os sensores de maior importância para os levantamentos de dados de inventário nos Planos de Manejo de Unidades de Conservação, devido à grande diversidade de tipos de sensores disponíveis (pancromáticos, multiespectrais e hiperespectrais; em baixas, médias e altas resoluções espaciais) e a vasta gama de possibilidades de aplicações que eles oferecem, como por exemplo: em mapeamentos

pedológicos, geológicos, geomorfológicos, climatológicos, edafológicos, de uso da terra, entre outros (JENSEN, 2009).

Os sensores orbitais passivos podem ser caracterizados essencialmente como dispositivos eletrônicos, sensíveis à radiação eletromagnética emitida ou refletida da superfície terrestre, e que possuem a capacidade de converter a quantidade da radiação recebida, em determinados intervalos de frequência do espectro eletromagnético, em sinais digitais que são associados a níveis de cinza na imagem (LUCHIARI; KAWAKUBO; MORATO, 2011).

De acordo com Campbell (1996) as imagens orbitais consistem em arquivos digitais organizados na forma de matrizes regulares com “n” linhas e “m” colunas, compostas por pixels (ou células) quadráticas que possuem valores associáveis a níveis de cinza. As principais características que diferenciam os sensores orbitais passivos entre si são as suas respectivas resoluções espaciais, espectrais, radiométricas e temporais.

A resolução espacial de imagens provenientes de sensores orbitais consiste na medida linear da superfície real que corresponde a qualquer um dos lados do quadrado referente a um único pixel da imagem, o que pode ser apresentado através de qualquer unidade de medida espacial (metros, centímetros, pés, polegadas etc.).

A resolução espectral refere-se à quantidade e a amplitude dos intervalos de frequência do espectro eletromagnético na qual o sensor tem a capacidade de operar, ou seja: produzir imagens.

A resolução Radiométrica corresponde à amplitude de valores de níveis de cinza das imagens que representam a intensidade da radiação eletromagnética captada pelo sensor em cada pixel, o que é medido em *bits*.

A resolução Temporal refere-se ao intervalo de tempo necessário para o sensor adquirir duas imagens diferentes em uma mesma área de recobrimento, geralmente dado em dias ou horas (CAMPBELL, 1996).

As primeiras experiências para a tomada sistemática de imagens orbitais através de sensores acoplados a satélites artificiais são da década de 1960, com o lançamento do satélite Tiros-1 e o início do programa ERTS (*Earth Resources Technology Satellites*); Programa este que posteriormente foi renomeado para Landsat e que resultou, durante as décadas de 1970,

de 1980 e de 1990, no lançamento de uma série de sete satélites artificiais que transportavam sensores projetados para a aquisição de imagens multiespectrais com média resolução espacial (LUCHIARI; KAWAKUBO; MORATO, 2011). O último satélite da série é o Landsat 8 que foi lançado no ano de 2013 e tem as suas imagens disponibilizadas pela USGS (*United States Geological Survey*).

Segundo Luchiari e Kawakubo e Morato (2011) o grande sucesso do programa Landsat despertou, nas décadas de 1970 e 1980, o interesse de diversos outros países, principalmente por intermédio da atuação dos seus respectivos centros e institutos de pesquisas, o que resultou em uma série de satélites Spot, inaugurado em 1986, produto de um programa Franco-Belga-Sueco; bem como nos satélites CBERS, produtos do programa Sino-Brasileiro; e dos satélites Spin do Departamento de Defesa Russo em operação desde 1998. Cada um destes programas, principalmente os programas Spot e Spin, representaram grandes avanços tecnológicos para a obtenção de imagens orbitais, devido principalmente ao aumento da resolução espacial proporcionada pelos seus respectivos sensores.

Atualmente organizações privadas também passaram a desenvolver seus próprios sistemas de sensores e seus próprios satélites orbitais para comercializarem os seus produtos (imagens) internacionalmente, como no caso dos satélites Ikonos, desenvolvidos pela *Space Imaging*; os satélites *QuickBird* da *EarthWatch Inc.*, e dos satélites *WorldView* e *GeoEye* da *DigitalGlobe*.

Alguns dos sensores disponíveis atualmente são capazes de obter imagens em resolução espacial inferiores a um metro e com maiores resoluções espectrais e radiométricas, o que favorece ainda mais as suas possibilidades de uso para diversos tipos de mapeamentos, como, por exemplo: classificação de uso da terra e de tipos de coberturas vegetais ou fitofisionomias, monitoramento de fenômenos meteorológicos, e inclusive para a realização de análises e mapeamentos no interior de áreas urbanas. Tais mapeamentos com toda a certeza servem como fontes de dados e informações de grande utilidade, tanto às ações de monitoramento quanto às ações de diagnóstico e planejamento social e ambiental (NOVO, 1988).

Segundo Crosta (1992), existem dois conjuntos de técnicas orientadas para a extração de elementos da paisagem a partir da análise de imagens, são elas: interpretação visual de

imagens (também conhecida como fotointerpretação), e os procedimentos de classificação automatizados ou semiautomatizados, por meio do processamento digital de imagens.

A interpretação visual de imagens consiste na análise conjunta dos elementos de interpretação, a saber: tonalidade, tamanho, forma, sombra, textura, padrão e situação ou localização; com a finalidade de se identificar e mapear determinadas características, objetos ou fenômenos nelas representados (LUCHIARI, KAWAKUBO, MORATO, 2011). A execução de tais procedimentos pode ser realizada tanto de forma analógica, com a geração de *overlays* sobre fotografias aéreas analógicas ou imagens de satélite impressas, quanto de maneira digital, por meio da interpretação visual de imagens digitais diretamente no monitor e a posterior vetorização manual, com o uso do *mouse*, dos objetos de interesse de classificação (JENSEN, 2009).

Sampaio (2007) salienta que os procedimentos de interpretação visual de imagens podem ser otimizados pelo uso de determinados equipamentos, denominados estereoscópios, que permitem a visualização da superfície representada em pares estéreos de fotografias aéreas verticais em terceira dimensão, através da visualização simultânea, de uma mesma área ou objeto nas imagens, sobre dois ângulos diferentes, o que é conhecido por estereoscopia.

Dessa maneira e ainda de acordo com Sampaio (2007), a execução dos procedimentos de interpretação visual de fotografias aéreas com o uso de estereoscópios pode subsidiar a realização de diversos tipos de mapeamentos, tais como: mapeamento de redes de drenagem, do traçado de rodovias, de categorias de uso da terra, de formas de vertentes, dentre outros; porém o autor salienta que para se exercer algum controle sobre o processo devem ser realizadas vistorias de campo capazes de estabelecer relações diretas entre as características dos objetos no campo e na imagem, de forma a auxiliar na correta distinção e identificação dos mesmos e assim diminuir a probabilidade de equívocos de interpretação.

Além das técnicas de interpretação visual de imagens, as técnicas de classificação por processamento digital também consistem atualmente em importantes técnicas para a classificação de imagens (JENSEN, 2009). Estas técnicas, porém, serão abordadas no item posterior deste capítulo.

De acordo com o que foi abordado neste item, pode-se concluir que as técnicas de Sensoriamento Remoto permitem a obtenção de dados e informações da superfície terrestre que se apresentam atualmente como indispensáveis às análises ambientais. O que vai ao

encontro com as observações de Ross (2006) quando afirma que a pesquisa geográfica aplicada, assim como as análises ambientais dos diversos tipos, demandam o uso rotineiro das tecnologias da informação, tais como as imagens de Sensoriamento Remoto, os Sistemas Globais de Navegação por Satélites, e os Sistemas de Informações Geográficas; e que estes permitem a geração e o tratamento de dados geoespaciais de maneira rápida e eficiente, pois servem como fonte de dados que subsidiam a elaboração de diagnósticos para as posteriores tomadas de decisão necessárias às ações de planejamento territorial, como no próprio caso dos Planos de Manejo de Unidades de Conservação.

4.2.3 Processamento Digital de Imagens

Segundo Jensen (1986), o Processamento Digital de Imagens (PDI) pode ser entendido como um conjunto de procedimentos voltados à manipulação e análise de imagens de sensores remotos (fotografias aéreas e imagens orbitais) através do uso do computador.

Crosta (1992) salienta que a função primordial do processamento digital de imagens é a de fornecer ferramentas para facilitar a identificação e a extração das informações contidas nas imagens, para a posterior interpretação.

Da mesma maneira que Meneses e Almeida (2012) afirmam que o objetivo do PDI é melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais para o analista humano e fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos.

Nesse sentido Gonzalez e Woods (2000) explicam que as técnicas de processamento digital de imagens envolvem um conjunto de procedimentos e operações que são expressos de forma algorítmica em meios computacionais. Assim, afirmam que a evolução da tecnologia da informação, bem como o desenvolvimento de novos algoritmos para lidar com sinais digitais bidimensionais, está permitindo um constante aumento da gama de aplicações dessas técnicas (GONZALEZ e WOODS, 2000).

Porém, Luchiari e Kawakubo e Morato (2005, p.48) ponderam que:

[...] apesar da qualidade abstrata das manipulações, é um equívoco supor que não haja interferência humana no processo. O analista toma suas decisões com base no *rol* de operações que a máquina realiza, escolhendo operações a serem aplicadas às imagens, selecionando um conjunto de rotinas específicas para impor à imagem com o objetivo de atingir um fim [...] essas decisões requerem habilidades e percepção equivalentes àsquelas utilizadas no processo de interpretação visual.

De acordo com Novo (1988), o conjunto de operações que envolvem o Processamento Digital de Imagens consiste em diversas etapas que podem ser divididas em ao menos três fases distintas e complementares, a saber: etapas de pré-processamento, processamento e classificação.

As etapas, ou rotinas de pré-processamento, designam-se à retificação (correção geométrica) e restauração (correção radiométrica) das imagens, que consistem em operações realizadas para minimizar a ocorrência de possíveis distorções e degradações presentes nos dados originais das imagens.

A correção geométrica de imagens é necessária devido à ocorrência de determinadas distorções de posição e tamanho das células (pixels) que compõem as imagens. Tais distorções podem ser geradas durante processo de aquisição das imagens por possíveis defeitos existentes no próprio sensor.

Para a solução de tais problemas devem ser realizadas operações simples de registro, ou seja, ajuste de posição dos pixels que compõem uma imagem em relação a outra, ou georreferenciamento das imagens, que consiste na atribuição de coordenadas x , y a determinados pixels da imagem, a partir de pontos de controle coletados no campo ou extraídos de bases cartográficas. No entanto é importante que seja relatado o erro quadrático médio (RMS) obtido pela execução desses procedimentos, para que o usuário saiba a acurácia posicional oferecida por essa imagem durante a sua classificação (MENESES; ALMEIDA, 2012).

Outro procedimento relacionado à etapa de pré-processamento consiste na correção radiométrica, necessária devido à possibilidade de ocorrência de erros ou ruídos na imagem, os quais podem ser gerados pelo próprio sensor, como os erros de detecção ou de transmissão dos dados, ou por condições atmosféricas adversas, como a presença de nuvens.

As principais rotinas de correção radiométrica consistem no *stripping* (padrão sucessivo de linhas horizontais que aparecem na imagem, devido, por exemplo, à diferença ou

desajuste de calibração dos detectores) e no *droppedlines* (padrão horizontal anômalo na imagem que ocorre pela perda de informações quando da gravação ou transmissão defeituosa dos dados da imagem), aplicados para correção de defeitos provenientes do sistema (GONZALEZ; WOODS, 2000).

Para a execução da correção radiométrica voltada para minimizar o efeito da presença de nuvens e nevoeiros, podem ser utilizados o método de mínimo histograma, que subtrai os valores digitais mais baixos de uma determinada banda ou imagem dos valores digitais dos outros pixels que a compõem, e o método da regressão de bandas, que subtrai dos pixels de duas bandas correlacionadas o valor digital correspondente ao ponto de encontro (maior que zero) entre as retas de melhor ajuste das bandas, com base na análise de seus histogramas (GONZALEZ; WOODS, 2000).

Posterior às etapas de pré-processamento das imagens digitais, as etapas de processamento consistem essencialmente em rotinas de realce de padrões da imagem para facilitar a identificação de alvos (objetos de interesse de classificação) para a sua posterior classificação. De acordo com Luchiari, Kawakubo e Morato (2011), nesse conjunto de rotinas incluem-se aquelas destinadas à manipulação de contraste e a aplicação de filtros para o realce ou atenuação de certas feições, a fim de possibilitar o seu delineamento com maior precisão. Os mesmos autores ainda salientam que tais procedimentos também permitem gerar composições coloridas a partir da associação de bandas a cores primárias, o que também pode facilitar o reconhecimento de feições para a interpretação visual ou a classificação digital de imagens. Pode-se dizer, portanto, que as principais rotinas de realce consistem na ampliação do contraste, geração de composições coloridas e filtragem digital.

De acordo com Novo (1988), as ampliações de contraste são procedimentos realizados por manipulação do histograma de imagens ou bandas (intervalos específicos do espectro eletromagnético) e que permitem a ampliação do intervalo original de níveis de cinza para toda a escala de níveis de cinza disponível pela resolução radiométrica da imagem.

Já a utilização de composições coloridas é fundamentada no fato de que o olho humano é capaz de discriminar mais facilmente cores do que tons de cinza. Dessa maneira, selecionam-se três bandas e associa-se cada qual a uma das três cores primárias (azul, verde e vermelho), obtendo-se, assim, uma composição colorida dessas bandas de acordo com as suas

respectivas reflectâncias. A principal limitação desse procedimento é a possibilidade da visualização simultânea de somente três bandas (NOVO, 1988).

Por último, as rotinas de filtragem consistem na alteração dos valores digitais originais dos pixels que compõem uma imagem levando-se em conta os valores digitais dos pixels vizinhos. Tal procedimento se realiza por meio da criação de matrizes ($n \times m$), também conhecidas por máscaras, ou janelas, que possuem valores positivos ou negativos no seu interior que são denominados de semente. Dessa maneira, a máscara criada é deslocada sobre a imagem, linha a linha e coluna a coluna, combinando-se os valores somente de entrada com os valores digitais originais dos pixels que compõem a imagem, promovendo-se assim a alteração dos valores digitais originais dos pixels, o que resulta em maior ou menor realce da frequência desses valores. O processo em si é denominado de convolução, devido à sua similaridade com a convolução no domínio temporal, da teoria dos sistemas lineares (NOVO, 1988).

Segundo Jensen (2009), os filtros mais amplamente utilizados em imagens orbitais consistem nos filtros do tipo “passa alta” (*high pass*) e “passa baixa” (*low pass*).

Os filtros tipo “passa alta” possuem a característica de aumentar a diferença entre os valores de níveis de cinza de pixels próximos, fazendo com que sejam realçadas pequenas diferenças locais da frequência de variação entre valores de pixels vizinhos (JENSEN, 2009). Também conhecidos como filtros de detecção de bordas, os filtros “passa alta” são utilizados para realçar feições lineares do tipo rodovias e cursos fluviais, bem como para realçar limites entre feições areolares com comportamentos espectrais distintos como, por exemplo, os limites entre áreas utilizadas por horticultura e silvicultura.

Os filtros tipo “passa baixa”, ao contrário dos “passa alta”, fazem com que a variação entre os valores digitais (ou níveis de cinza) de pixels próximos sejam atenuadas (JENSEN, 2009), tendo como resultado a suavização de limites entre feições distintas e a redução do contraste dos limites de feições lineares em relação ao seu entorno. Os filtros “passa baixa” são utilizados geralmente para a redução de ruídos na imagem, fazendo com que pixels que contenham valores espúrios assumam valores próximos (semelhantes) aos dos seus vizinhos.

A última etapa da fase de processamento, anterior à classificação, consiste na segmentação da imagem. Gonzalez e Woods (2000) definem a segmentação de imagens como sendo o particionamento do espaço de atributos de uma imagem em regiões homogêneas,

onde os pixels, que possuem características similares de comportamento espectral são entendidos como pertencentes a uma mesma classe.

Para tanto, os programas (*softwares*) designados ao Processamento Digital de Imagens oferecem um conjunto de diferentes algoritmos de segmentação que podem ser aplicados pelo operador ou analista de acordo com os objetos de interesse de reconhecimento. Dessa maneira, o único controle que o analista exerce sobre o processo de segmentação, é na escolha do algoritmo e na determinação do número de classes a serem agrupadas.

Segundo Moreira (2001) a segmentação é adotada antes da fase de classificação com o objetivo de particionar a imagem em regiões homogêneas buscando solucionar problemas de subjetividade do analista em classificações supervisionadas.

A terceira e mais importante etapa do Processamento Digital de Imagens consiste nas rotinas de classificação digital de imagens, pois a classificação pode ser entendida como a finalidade ou o objetivo principal das etapas anteriores, visto que elas servem principalmente para o fornecimento de subsídios ao reconhecimento e à extração das características e feições nelas representadas.

A classificação digital de imagens pode ser entendida como o processo de se atribuir a cada unidade da imagem, pixel ou região previamente segmentada, um atributo qualitativo de classe ou categoria em um dado conjunto de possibilidades de classes que descrevem uma determinada característica ou objeto do mundo real (LILLESAND; KIEFER, 1987); como, por exemplo: a identificação de classes de uso urbano da terra ou de classes de vegetação em diferentes estágios sucessionais, entre outros.

Segundo Moreira (2001), existem ao menos dois procedimentos para a classificação digital de padrões: a supervisionada e a não supervisionada.

A classificação não supervisionada consiste na aplicação de algoritmos de agrupamento sobre os pixels que compõem a imagem e a posterior atribuição de características qualitativas às regiões agrupadas.

De maneira semelhante ao procedimento de segmentação, os procedimentos de classificação não supervisionada permitem pouco controle no processo de agrupamento de pixels em regiões por parte do analista, mas permitem algum controle. De acordo com o algoritmo de agrupamento escolhido, o analista pode escolher, além do número de classes

requeridas, o número de bandas a serem analisadas conjuntamente e ainda estabelecer determinados limiares de correlacionamento para o agrupamento das classes.

Para Richards (1986) a principal vantagem da aplicação destes procedimentos consiste no fato de não necessitar de um conhecimento *a priori* sobre as classes existentes na imagem; entretanto, é necessário que o analista forneça ao sistema alguns parâmetros (limiares) os quais sirvam como critérios de decisão no momento de se agrupar pixels em classes distintas.

Os procedimentos de classificação não supervisionada possuem a vantagem de não exigirem da parte do analista um conhecimento prévio acerca da área objeto de estudo e nem de quais as classes existentes na imagem, apesar de exigirem o conhecimento ao menos do comportamento espectral dos alvos de interesse já que é o analista quem atribui, às regiões segmentadas, as características qualitativas da classe a qual elas (regiões) pertencem. Por outro lado, porém, tais procedimentos oferecem pouca possibilidade de controle pelo analista quanto ao processo de agrupamento de regiões, ao contrário das técnicas de classificação de imagens por meios supervisionados que, como o próprio nome sugere, são constituídos por procedimentos ou rotinas de classificação de imagens nas quais o analista exerce constante supervisão e controle durante o processo. Ainda assim, as rotinas de classificação não supervisionada não devem ser menosprezadas, pois muitas vezes elas também podem servir como etapas anteriores à da classificação supervisionada, fornecendo outras informações às interpretações e prevenindo possíveis problemas de subjetividade por parte do analista.

As técnicas de classificação supervisionada também consistem em procedimentos que se utilizam de algoritmos para o agrupamento de regiões correspondentes às classes de interesse; no entanto, isso se dá de maneira controlada e dependente das amostras de treinamento que são arbitrariamente selecionadas pelo analista. São essas amostras que servem como referência para que os algoritmos executem o processo de agrupamento das classes para o restante da imagem.

Amostras de treinamento ou *clusters* consistem na classificação, por procedimentos de interpretação visual de imagens, de pequenas regiões da imagem (áreas) arbitrariamente delimitadas pelo analista. Este procedimento deve ser realizado ao menos uma vez para todas as classes ou categorias que se deseja encontrar na imagem. Cada uma destas amostras de classes delimitadas possui características específicas da resposta espectral para cada uma das bandas utilizadas na análise, estas características são posteriormente correlacionadas com todo

o restante do conjunto de pixels que não se encontram no interior das amostras a partir da aplicação de algoritmos específicos, fazendo com que as características inerentes às amostras de cada classe sejam extrapoladas por toda sua imagem (GONZALEZ; WOODS, 2000).

Frente a algumas das limitações dos métodos de classificação não supervisionada e supervisionada, também chamados de classificadores do tipo pixel a pixel, principalmente no que se refere à utilização de dados provenientes de sensores de alta resolução espacial e espectral, vem sendo desenvolvidos e cada vez mais amplamente utilizados os métodos semiautomatizados de classificação de imagens que procuram simular os procedimentos de interpretação visual, por permitirem a incorporação de outros critérios, como área, forma, textura e padrão; durante o processo de segmentação de regiões e de atribuição de classes.

Segundo Zhong et al. (2005), na intenção de serem criadas rotinas computacionais capazes de delinear os objetos contidos em uma imagem de alta resolução espacial, de maneira semelhante ao que se processa no próprio raciocínio humano no processo de distinção de classes por interpretação visual, foram criados métodos de delineamento denominados de segmentação por multirresolução. Segundo o autor, a técnica empregada pela segmentação multirresolução realiza o agrupamento de pixels com características semelhantes, por meio da análise do tamanho do objeto, da homogeneidade e heterogeneidade espectral (textura), das suas relações espaciais de vizinhança, das formas dos objetos, entre outras.

O termo mais amplamente difundido para referir-se a esse método de classificação de imagens é o de Classificação Orientada ao Objeto, ou OBIA (*Object based image analysis*), o qual se caracteriza essencialmente pelo particionamento hierárquico da imagem em regiões, de níveis mais grosseiros (superobjetos) para níveis mais detalhados (subobjetos), formando-se assim: conjuntos e subconjuntos de classes (ZHONG et al., 2005).

Segundo Hay e Castilla (2008), a abordagem orientada a objetos possui vantagens em relação aos modelos tradicionais de classificação de imagens, pelo fato de os elementos considerados não se limitarem às respostas espectrais de pixels de maneira isolada, obtendo-se um significativo aumento no número de variáveis consideradas na classificação, ao adicionarem-se parâmetros relacionados à forma do objeto (área, altura, largura, densidade, altura de borda, entre outros), à textura do objeto e as relações que se estabelecem entre

objetos vizinhos; o que tende a trazer significativos ganhos no que se refere à maior capacidade de acurácia e detalhamento na distinção de classes.

Os *softwares* pioneiros e mais amplamente utilizados no emprego de técnicas de classificação orientada a objetos para a classificação digital de imagens são o *eCognition*, o *ENVI* (a partir da sua versão 4.5), o *Ilwis* e o *Mirammon*.

Também consistem em procedimentos de Processamento Digital de Imagens que merecem ser destacados devido sua ampla gama de aplicações em diferentes tipos de análises ambientais, as operações entre bandas (intervalos de frequência do espectro eletromagnético), principalmente entre as bandas correspondentes ao infravermelho próximo e ao vermelho, para a obtenção de índices de vegetação capazes de caracterizar classes de formações vegetais por critérios quantitativos (densidade de biomassa, por exemplo) e qualitativos (tipos de fitofisionomias, por exemplo).

Dessa maneira Huete (1988) destaca que o estabelecimento de relações entre as medições de sensoriamento remoto e os parâmetros da vegetação podem ser capturadas por meio dos índices de vegetação, os quais foram desenvolvidos de forma a possibilitar a avaliação das coberturas vegetais, quantitativa e qualitativamente, utilizando-se dos dados espectrais de imagens orbitais.

Vale salientar que o levantamento destes parâmetros pode também subsidiar outros tipos de análises, como, por exemplo, a distinção entre diferentes formações vegetais e de fitofisionomias, a distinção entre tipos de culturas agrícolas, a identificação de diferentes estágios sucessionais da vegetação, entre outros. Sendo comum as suas aplicações na elaboração de diagnósticos ambientais voltados às ações de planejamento e de tomadas de decisão, como no caso dos Planos de Manejo de UC.

Atualmente existe à disposição, tanto no mercado quando gratuitamente na rede de internet, diversos programas (*softwares*) desenvolvidos com o intuito de serem capazes de realizar a maioria das operações de processamento digital sobre imagens digitais, entre os quais podem ser citados: *Envi*, *Emapper*, *Erdas*, *Idrisi*, *Ilwis*, *PCI*, *Spring*, *Mirammon*, entre outros.

Apesar de serem encontradas algumas variações na estrutura e nos seus aplicativos e algoritmos disponíveis, pode-se dizer que todos esses aplicativos citados contêm, ao menos, o

conjunto de rotinas e operações consideradas fundamentais no Processamento Digital de Imagens, ou seja: as rotinas de pré-processamento, processamento e de classificação de imagens.

4.2.4. Os Sistemas de Informações Geográficas (SIG)

Os SIG, também conhecidos como SGI (Sistemas Geográficos de Informações), são essencialmente sistemas derivados da Cartografia Digital, que incorporaram funções dos Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados (SGBD) e funções mais específicas voltadas à integração, análise espacial e modelagem de dados georreferenciados; bem como, em alguns casos, funções orientadas ao Processamento Digital de Imagens.

Segundo Marble e Peuquet (1983) o armazenamento, a análise e a apresentação de um grande volume de dados sobre a superfície terrestre fez com que se desenvolvessem sistemas informatizados que aliassem mapas digitais às informações sobre os elementos do mapa. Tal operação envolve tecnologias de informática como sistemas gerenciadores de bancos de dados e cartografia digital, que transcende a ambas. As aplicações e os usos do SIG dependem da existência de um sistema eficiente e lógico que possa transformar e associar elementos cartográficos a banco de dados.

Incorporando tais ideias, Burrough e McDonnell (1998) definem os SIG como um conjunto de ferramentas orientadas para a coleta, o armazenamento, a recuperação, a transformação e a exibição de dados geoespaciais do mundo real para um conjunto de finalidades específicas. De maneira semelhante Marble (1990) detalha o conceito anterior definindo o SIG como sistema voltado ao armazenamento, análise, manipulação e apresentação de informações referenciadas espacialmente.

No âmbito nacional diversos cientistas e pesquisadores também voltaram sua atenção na busca de melhor definir o conceito que envolve as técnicas de SIG, entre os quais se destaca as proposições de Gilberto Câmara que define o SIG como “a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da

informação geográfica” (CÂMARA et al., 2001, p. 1), enfatizando que as suas principais características são a de integrar, em uma única base de dados, informações espaciais provenientes de diferentes fontes e em diferentes formatos, tais como: dados cartográficos, dados de censo e de cadastro urbano e rural, imagens de satélite, dados de redes e Modelos Digitais de Terreno; possuindo ainda a capacidade de combinar estas informações através de algoritmos de manipulação para gerar outras informações derivadas, além das funções de consulta, recuperação, visualização e publicação do conteúdo da base de dados geocodificados, típicas da cartografia digital (CÂMARA, 1993).

Segundo Burrough e McDonnell (1998), os SIG atuais podem ser considerados como um tipo de sistema de informação que envolve de forma sistêmica e interativa o banco de dados, a tecnologia e o pessoal, sendo capaz de realizar análises espaciais, além de armazenar, manipular, visualizar e operar dados georreferenciados para a obtenção de novas informações.

Câmara (1995) explica que a arquitetura de um SIG é dividida em diferentes componentes que se relacionam de forma hierárquica, tais como: interface com usuário, entrada e integração de dados, funções de consulta e análise espacial, visualização e plotagem, armazenamento e recuperação de dados.

A interação entre usuário/SIG se dá através de uma interface gráfica, na qual o usuário determina as operações a serem executadas pelo sistema de acordo com os seus objetivos. A entrada e a integração dos dados são feitas a partir da conversão de dados externos para o formato no qual o sistema opera (CÂMARA et al. 2001)

O armazenamento e a recuperação de dados nos SIG se dão através dos seus respectivos SGBD que podem se encontrar em arquitetura dual, ou seja, que possuem arquivos diferentes de armazenamento entre os dados gráficos e os seus respectivos atributos; ou em arquitetura integrada, que podem ser entendidos como SGBD que possuem funções espaciais (CÂMARA et al., 2001).

A visualização se dá a partir da interface gráfica do *software* com o usuário, na qual os SIG disponibilizam um rol de cores e símbolos para a representação dos diferentes dados e informações espaciais. A plotagem está relacionada com a capacidade dos sistemas se comunicarem diretamente com equipamentos periféricos do tipo *plotters* e impressoras, ou indiretamente por meio da produção de *layouts* em determinados formatos compatíveis com esses equipamentos (CÂMARA et al., 2001).

De acordo com Burrough e McDonnell (1998), o SIG trabalha a partir da concepção de que o mundo real pode ser discriminado na forma de camadas (*layers*), ou planos de Informação, nas quais cada camada representa um aspecto da realidade. Como pode ser observado na Figura 6.

FIGURA 6 – Representações do mundo real em camadas

Fonte: Burrough e McDonnell (1998).

Nesse sentido pode se dizer que os dados e informações espaciais, objetos de uso dos SIG, constituem-se em registros que representam a localização e a distribuição espacial de determinados aspectos da realidade. Sendo um dado espacial caracterizado por sua capacidade de localização no espaço tridimensional (x, y, z), em um determinado momento de registro (t), e por atributos não espaciais. Os atributos podem ser de natureza categórica (atributos temáticos), ou de natureza contínua (atributos numéricos). Elevação, temperatura e pluviosidade são exemplos de atributos com propriedades numéricas. Classes de compartimentos geomorfológicos, tipos de rocha, categorias de vegetação e de uso da terra, são exemplos de atributos categóricos.

No que se refere à entrada de dados nos SIG, Aronoff (1989) relata que existem dois tipos de representação digital: o formato vetorial e o formato matricial (*raster*).

O formato vetorial geralmente é resultado da digitalização georreferenciada (vetorização) de objetos, fenômenos ou feições que possuem abrangência espacial na superfície terrestre, de modo que os elementos possam ser representados na forma de linhas, pontos ou polígonos. A posição espacial de cada elemento representado é organizada de acordo com um sistema de coordenadas de referência no qual cada ponto, ou vértice, do objeto representado possui uma coordenada de localização específica na superfície terrestre em um determinado momento. Dessa maneira, um único ponto é representado por apenas uma combinação de coordenadas (x, y, z, t), enquanto os polígonos são representados por conjuntos de combinações dessas coordenadas, conhecidos por nós ou vértices, nunca inferiores a quatro, sendo que a última combinação de coordenadas deve obrigatoriamente coincidir com a primeira; já as linhas são compostas por um conjunto de combinações de coordenadas (x, y, z, t), nunca inferior a 2 (dois), que são interligadas através de arcos (ARONOFF, 1989). Os arquivos vetoriais são armazenados nos mais diversos formatos: Shapefile, DWG, DXF, DGN, coverage, VPF, entre outros.

De maneira diferente o formato matricial é representado por uma matriz regular composta de “n” linhas e “n” colunas assim como as imagens digitais, construindo célula a célula os elementos a serem representados. Nesse caso os valores atribuídos a cada célula denotam o tipo de elemento ou a condição na qual ele está representado no local (CÂMARA et al. 2001). Os arquivos matriciais são armazenados nos mais diversos formatos, porém os mais utilizados são: *Tiff*, *GeoTiff*, *Jpeg*, *BMP*, *IMG*, *GRIB*, *GRID*, *MrSid*, entre outros. Todos esses formatos são armazenados em estrutura binária; no entanto, é possível utilizar um editor de textos simples e produzir um arquivo em formato *ASCII GRID*, compatível com alguns *softwares* de SIG. No Quadro 1 constam algumas considerações sobre as principais diferenças entre os dados vetoriais e matriciais.

Devido às variações nas técnicas de obtenção, nas escalas de análise e de representação, nas superfícies de referência espacial adotadas (projeção e datum), e nos períodos de aquisição dos diversos tipos de dados geoespaciais mencionados, Nakamura e Queiroz Filho (2012) destacam a necessidade de incorporação dessas informações a esses dados a fim de permitirem o seu compartilhamento consciente, evitando inadequações e incompatibilidades em seu uso. Essas informações são conhecidas como *metadados*, ou seja, os dados sobre os dados, e é definida pela Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR) como sendo:

[...] o conjunto de informações descritivas sobre os dados, incluindo as características de seu levantamento, produção, qualidade e estrutura de armazenamento, essenciais para promover a sua documentação, integração e disponibilização, bem como possibilitar sua busca e exploração (CONCAR, 2009, p.112).

QUADRO 1 – Diferenças entre dados vetoriais e matriciais

<i>Aspecto</i>	<i>Representação Vetorial</i>	<i>Representação Matricial</i>
Relações espaciais entre objetos	Relacionamentos topológicos entre objetos disponíveis	Relacionamentos espaciais devem ser inferidos
Ligação com banco de dados	Facilita associar atributos a elementos gráficos	Associa atributos apenas a classes do mapa
Análise, Simulação e Modelagem	Representação indireta de fenômenos contínuos Álgebra de mapas é limitada	Representa melhor fenômenos com variação contínua no espaço Simulação e modelagem mais fáceis
Escalas de trabalho	Adequado tanto a grandes quanto a pequenas escalas	Mais adequado para pequenas escalas (1:25.000 e menores)
Algoritmos	Problemas com erros geométricos	Processamento mais rápido e eficiente.
Armazenamento	Por coordenadas (mais eficiente)	Por matrizes

Fonte: Câmara et al. 2001.

Na intenção de padronizar a estrutura de metadados dos diferentes tipos de geoespaciais, produzidos por órgãos públicos e privados no Brasil, a CONCAR, através do Comitê de Estruturação de Metadados Geoespaciais (CEMG), publicou no ano de 2009 o Perfil de Metadados Geoespaciais do Brasil, no qual estabelece as normas e os critérios para sua estruturação, adotando como modelo a norma ISO 19115:2003, estabelecida pela *International Organization for Standardization* (ISO).

Dessa maneira, a CONCAR pretende compatibilizar a estrutura de metadados dos dados geoespaciais produzidos no país com a estrutura predominantemente adotada no restante do mundo, estabelecendo dois níveis de conformidade: o sumarizado e o completo. O sumarizado pode ser definido basicamente pelas entidades e elementos de núcleo da ISO 19115 (um total de 23 entidades e elementos, sendo 11 obrigatórios) conforme pode ser observado no QUADRO 2, enquanto o completo abrange boa parte da norma internacional, contemplando mais de 300 entidades e elementos diferentes (CONCAR, 2009).

QUADRO 2 - Entidades e elementos do núcleo de metadados do perfil MGB sumarizado

Entidades e elementos do Núcleo de Metadados do Perfil MGB Sumarizado			
Entidade / Elemento	Obrigatoriedade	Entidade / Elemento	Obrigatoriedade
1. Título	obrigatório	12. Tipo de Representação Espacial	opcional
2. Data	obrigatório	13. Sistema de Referência	obrigatório
3. Responsável	obrigatório	14. Linhagem	opcional
4. Extensão Geográfica	condicional	15. Acesso Online	opcional
5. Idioma	obrigatório	16. Identificador Metadados	opcional
6. Código de Caracteres do CDG	condicional	17. Nome Padrão de Metadados	opcional
7. Categoria Temática	obrigatório	18. Versão da Norma de Metadados	opcional
8. Resolução Espacial	opcional	19. Idioma dos Metadados	condicional
9. Resumo	obrigatório	20. Código de Caracteres dos Metadados	condicional
10. Formato de Distribuição	obrigatório	21. Responsável pelos Metadados	obrigatório
11. Extensão Temporal e Altimétrica	opcional	22. Data dos Metadados	obrigatório
		23. Status	obrigatório

Fonte: CONCAR (2009)

Conforme já mencionado anteriormente, estes dados geoespaciais são gerados para serem submetidos a funções de análises espaciais nos SIG.

Valenzuela (1991) define a análise espacial como um conjunto de técnicas e procedimentos que possibilitam manipular dados geoespaciais de diferentes maneiras para extrair informações adicionais como resposta. Incluindo funções de consulta, manipulação, produção de sumários estatísticos e a investigação de padrões e de relacionamentos entre dados.

Segundo ARONOFF (1989), existem essencialmente quatro categorias de funções a considerar na análise espacial em SIG:

- I) Funções de acesso ou pesquisa, classificação e medição - através deste conjunto de funções é possível ter acesso à informação gráfica e alfanumérica, possibilitando a realização de operações de *Query-Display* (pesquisa gráfica e pesquisa por atributos).

- II) Funções de superposição de mapas (overlay) - este tipo de função de análise espacial constitui, em termos estruturais, um processo semelhante à manipulação de dados relacionais em tabelas e permite a realização de análises segundo a álgebra booleana.
- III) Funções de análise de vizinhança - neste grupo as operações usualmente mais desenvolvidas são as de pesquisa, topográficas e de interpolação. A definição de funções de vizinhança envolve a análise das características da área envolvente a um local específico. Nesse caso, é necessário definir o domínio de aplicação e o tipo de função a aplicar em uma sequência de análise específica.
- IV) Funções de análise de conectividade - estas funções caracterizam-se por permitir a descrição e a modelagem de processos de difusão e influência espacial. Para tanto, é necessário definir o domínio da aplicação deste tipo de função em relação à vizinhança de células, recorrendo à topologia implícita de uma estrutura em quadrícula. A definição e a simulação de processos de movimento, difusão e acumulação têm de ser explicitadas na realização de uma operação de análise espacial.

Câmara et al. (2002) salienta que a identificação e o estabelecimento de relações espaciais entre entidades (dados e informações espaciais) são de suma importância para os procedimentos de análise espacial, sendo que o domínio da aplicação determinará a importância de cada tipo de relação. De acordo com o autor, as relações espaciais podem ser agrupadas em três categorias:

- I) Topológicas: que descrevem conceitos de vizinhança, incidência e sobreposição, não variando com a escala ou com a rotação, como por exemplo, disjunto, adjacente, e contido em;
- II) Métricas: consideradas em termos de distancias e direções;
- III) Ordinais: que são descritas por preposições do tipo: em frente a, acima de, abaixo de etc.

Também são considerados como funções da análise espacial, os procedimentos de interpolação, modelagem tridimensional e análise de redes (CÂMARA et al., 2002).

Os procedimentos de interpolação consistem na geração de superfícies contínuas a partir de um conjunto limitado de amostras e da utilização de algoritmos capazes de estimar

valores para os locais não amostrados. Esses procedimentos são aplicáveis sobre atributos quantitativos que possuem a característica de variarem continuamente no espaço, como por exemplo: topografia do relevo (altimetria), dados de precipitação, dados de temperatura, concentração de espécies, entre outros.

O cálculo pode ser feito de diversas maneiras, pois há vários métodos de interpolação e muitas vezes a dificuldade está em escolher o método que melhor se aplica ao estudo que se pretende fazer, uma vez que diferentes métodos podem produzir diferentes resultados. Entre os métodos mais comuns de aplicação em SIG, podem ser citados: o vizinho mais próximo, vizinho natural, triangulação linear, triangulação de delaunay, polígonos de voronoi, Inverso do quadrado da distância (IDW), Mínima Curvatura (*Spline*), Regressão Polinomial e Krigagem (MOURA, 2005).

Além destas operações, também compõem o conjunto de técnicas de análises espaciais com o uso de SIG, os procedimentos realizados para a combinação ou o correlacionamento entre dois ou mais planos de informação diferentes.

Nesse sentido, Rosa (2011) destaca que as principais técnicas de análise espacial por combinação entre dois ou mais planos de informação (camadas) consistem nas operações espaciais aplicáveis sob a lógica booleana, nas operações de *buffering* e nas modelagens espaciais.

As operações espaciais booleanas consistem em operações espaciais simples, que são necessariamente aplicáveis sobre entidades gráficas. Elas correspondem às operações de junção (que juntam dois ou mais mapas ou camadas adjacentes), dissolução (que agregam elementos que tenham atributos comuns), recorte (que permite recortar uma camada tendo como molde outra camada), união (corresponde a uma intersecção sem a efetuação do recorte) e intersecção (operações de recorte que mantêm os atributos dos dados provenientes de cada entidade de entrada) (CÂMARA et al., 2002).

As operações de *buffering* consistem na geração de áreas tampão em torno de uma determinada entidade que pode ser pontual, linear ou poligonal. Geralmente este procedimento é realizado para a delimitação de Áreas de Preservação Permanente em torno de cursos fluviais e nascentes (NEPOMUCENO, 2012a), mas também podem ser utilizados para diversos outros fins como a identificação de entidades que se encontram sobre a área de influência de algum objeto ou fenômeno.

A modelagem espacial consiste em uma abordagem metodológica que integra um conjunto de variáveis e procedimentos visando à resolução de problemas espaciais específicos (ROSA, 2011). De maneira sucinta, elas se caracterizam essencialmente pela aplicação de funções matemáticas sobre diferentes planos de informação, de tal maneira que permite a geração de novas informações derivadas (CÂMARA et al., 2002).

De maneira geral, pode-se dizer que os procedimentos de análise espacial, desenvolvidos no ambiente de um SIG, possibilitam, no estágio tecnológico atual, a modelagem e a análise de uma grande diversidade de processos que se manifestam na superfície terrestre, alguns simples e outros mais complexos. Para isto é necessário a criação e aplicação de modelos conceituais que representem adequadamente os fenômenos estudados. Assim, a modelagem ambiental, no contexto deste trabalho, é entendida como modelos matemáticos que relacionam atributos ambientais na tentativa de representar um atributo ou um processo ocorrendo na natureza. Os modelos conceituais ambientais são, então, transformados em modelos computacionais para serem executados no ambiente de um SIG.

Segundo Chorley e Hagget (1967) os modelos consistem na apresentação formal de uma teoria, utilizando-se de instrumentos da lógica e da matemática, para a explicação de fenômenos a partir do relacionamento que se estabelece entre as suas variáveis.

Para Bian (2007), os modelos ambientais aplicados nos SIG são aqueles que descrevem processos físicos por meio de expressões matemáticas, e são capazes de prever resultados ambientais por meio de probabilidades estatísticas e de escores de ponderação baseados no conhecimento. Esses modelos abordam uma ampla gama de questões relevantes para o meio ambiente e para as sociedades humanas. A principal razão para a focagem de modelagem ambiental é que se trata de um rico conjunto de fenômenos que são distribuídos espacialmente e temporalmente de maneira dinâmica.

Nesse sentido, a modelagem deve considerar que os processos da natureza consistem no resultado de interações espaço-temporais complexas entre os diversos elementos que a compõe, ou seja: as suas propriedades ambientais. No modelo matemático de um processo, as propriedades ambientais são tratadas como variáveis do modelo, enquanto suas inter-relações são representadas por operações aritméticas ou lógicas.

Sendo assim, os modelos ambientais também podem ser utilizados para aumentar o conhecimento sobre um processo, prever valores ou comportamentos em áreas não

observadas e comprovar, ou não, hipóteses feitas sobre processos. Esses modelos variam de equações empíricas simples, tais como, equações de regressão linear, até conjuntos de equações diferenciais complexas, derivadas dos fundamentos da física (MOORE et al., 1993).

Segundo Heuvelink (1998), os modelos de sistemas ambientais podem ser classificados em três tipos: lógicos, empíricos e conceituais. Os modelos lógicos computam um atributo de saída, resultado do modelo, pela aplicação de regras lógicas sobre os atributos de entrada. Por exemplo, um mapa geomorfológico pode ser obtido pela combinação entre dados morfométricos e de tipos de solo, por exemplo.

Os modelos empíricos baseiam-se em experiências ou em conhecimentos obtidos por percepção dos fenômenos ambientais. Em geral, são formulados por regressões cujos coeficientes são definidos experimentalmente e, via de regra, aplicam-se somente às áreas usadas para derivá-los. Burrough e McDonnell (1998) apresentam o relacionamento empírico de dois modelos de perdas de solo por erosão: o modelo “*Universal Soil Loss Equation*” (USLE) e o modelo “*Soil Loss Estimation Model for Southern Africa*” (SLEMSA) amplamente difundidos na engenharia agrícola e florestal. O modelo USLE, por exemplo, depende de alguns atributos, tais como, o comprimento de rampa L e a declividade S que, por sua vez, são, também, derivados de regressões empíricas.

Os modelos conceituais, também conhecidos como modelos físicos, são concebidos a partir do entendimento dos processos físicos do fenômeno que está sendo modelado. Têm aplicações mais gerais e seus coeficientes referem-se às propriedades físicas já comprovadas ou aceitas do mundo real. A maioria dos modelos atmosféricos e hidrológicos é construída como modelos conceituais. Lee et al. (1993) descrevem modelos atmosféricos baseados nas leis da conservação da física. Maidment (1993) apresenta aspectos importantes relacionados com a modelagem hidrológica em ambiente de SIG, como os modelos de previsão de movimentos de massa dSLAM, o SINMAP e o SHALSTAB, por exemplo (VIEIRA, 2007).

Na prática, muitos dos modelos usados nas ciências ambientais contêm componentes empíricos e conceituais (HEUVELINK, 1998), como exemplos típicos podem ser citados os modelos de aptidão agrícola e os modelos de vulnerabilidade à erosão com base nos princípios da ecodinâmica (CREPANNI et al., 2001; ROSS 1994; TRICART, 1977). Além disso, Burrough e McDonnell (1998) argumentam que muitos modelos físicos e empíricos são

lineares, pois modelos lineares são fáceis de manipular computacionalmente e eles têm um comportamento previsível quando possuem realimentações.

Para Soares-Filho e Cerqueira (1999), os modelos de sistemas e processos ambientais podem ser implementados em Sistemas de Informações Geográficas para representar fatos e simular processos, expressar julgamentos ou fornecer uma descrição efetiva do fenômeno geográfico. Nessa perspectiva, portanto, eles podem ser divididos em dois grupos: Modelos Descritivos/Prescritivos e Modelos de Simulação.

Os Modelos Descritivo/Prescritivos são aqueles que procuram, em um primeiro momento, descrever a situação de uma determinada região frente a alguma questão (“o que é” e “como está”) para, em um segundo momento realizar a proposição de soluções de acordo com a situação encontrada (“o que deveria ser”), movendo-se assim para uma intenção prescritiva. São modelos orientados à execução de diagnóstico/prognósticos de questões socioambientais cuja passagem entre esses dois momentos se dá por meio da inversão do modelo descritivo, ou seja: o seu correspondente prescritivo expressa um potencial de modificação do lugar estudado em função das condições existentes e dos objetivos pretendidos (SOARES-FILHO; CERQUEIRA,1999).

Podem ser citados como exemplos de Modelos Descritivo/Prescritivos, que por sinal são bastante utilizados em análises ambientais no Brasil, o modelo de Análise da Fragilidade Ambiental (ROSS, 1994), o modelo de Vulnerabilidade à Erosão baseado no estabelecimento de Unidades Territoriais Básicas (UTBs) (CREPANNI et al., 2001) o Sistema de Análise GeoAmbiental (SAGA) (XAVIER-DA-SILVA; CARVALHO-FILHO, 1993), entre outros.

Por outro lado, os Modelos de Simulação são aqueles que reproduzem no SIG a modelagem dinâmica dos fenômenos objetos de análise incorporando à análise a variável tempo, ou seja: são reproduzidas no sistema a complexidade de seus mecanismos de desenvolvimento e os processos de trocas de materiais e de energia entre os elementos que o compõem, de maneira que eles possam ser retroalimentados em função do tempo. São modelos designados à explicação e à predição de fenômenos para a identificação de tendências e a prospecção de cenários futuros.

Dessa maneira, a modelagem de sistemas ambientais pode ser enquadrada em um contexto abrangente da análise espacial, pois a análise de dados georreferenciados absorve

técnicas geoestatísticas que derivam dessas análises e que podem ser correlacionadas e representadas em Sistemas de Informações Geográficas.

Vale salientar que esses termos são aqui colocados para fins didáticos, sem pretensão de se constituírem em uma tipologia completa do que pode ser entendido como modelagens de sistemas ambientais com SIG.

Para a aplicação desses diversos tipos de modelos, os SIG utilizam determinados mecanismos lógicos de integração e classificação dos dados geoespaciais, também conhecidos como métodos de inferência espacial. Os principais métodos de inferência espacial utilizados nos SIG consistem-se no método booleano, na média ponderada, na lógica Fuzzy e na lógica Bayesiana (BURROUGH; MCDONNELL, 1998).

A Inferência Booleana consiste essencialmente na combinação lógica de mapas binários através de operadores condicionais. Geralmente são utilizados sobre bases de dados no formato vetorial, nos quais cada mapa utilizado pode ser entendido como um plano de informação. Os vários planos de informação são combinados, segundo uma sequência lógica, para dar suporte a uma hipótese (MOREIRA, 2001). A álgebra booleana utiliza os operadores lógicos *AND* (interseção), *OR* (união), *NOT* (negação) e *XOR* (exclusão). A Figura 7 ilustra cada um desses diferentes operadores booleanos.

FIGURA 7 – Análises espaciais booleanas

Fonte: Câmara et al. 2008.

O método da média ponderada, por sua vez, consiste na atribuição de pesos nas diferentes classes que ocorrem em um determinado plano de informação e/ou na atribuição de pesos diferentes para cada variável (plano de informação) considerada no modelo. Nesse método, portanto, cada mapa de entrada é utilizado como uma evidência que recebe um peso específico, dependendo da sua importância relativa para com o modelo utilizado.

Para a aplicação do método é necessário, portanto, a ponderação das classes de cada plano de informação segundo pesos definidos empiricamente. Os planos de informação ponderados são então somados por meio de uma soma ponderada, em que cada plano de informação recebe os valores de pesos específicos. O resultado é um mapa com diferentes classes que expressam o grau de importância relativa desses planos através dos valores numéricos de saída.

O método de inferência por média ponderada é citado por Eastman et al. (2001) como a técnica mais utilizada em projetos que envolvam análise espacial. Ele permite maior flexibilidade na combinação de mapas do que o método Booleano. O mapa ponderado pode ser ajustado para refletir o julgamento de um especialista, segundo os pesos de importância definidos para cada critério. Segundo Bonham Carter (1994) a principal desvantagem deste método, entretanto, recai provavelmente no caráter linear de adição das evidências e no viés do pesquisador na atribuição de pesos.

Também denominada de lógica difusa, o método de inferência fuzzy, por sua vez, consiste em uma metodologia de definição de classes por meio de conceitos inexatos, ou seja: diferentemente das abordagens booleana e por média ponderada, a inferência fuzzy não possui limites rígidos (bordas) na definição das classes (CÂMARA et al., 2008).

O método foi introduzido por Zadeh (1965) devido à preocupação deste autor para com a qualidade da informação fornecida por modelos rígidos ou tradicionais. Segundo Burrough e McDonnell (1998) este método apresenta a capacidade de capturar informações de diversas naturezas e convertê-las em formato numérico. Para Moreira (2001), ele é extremamente útil na modelagem de sistemas complexos, tais como os sistemas ambientais.

Nessa perspectiva, cada classe é entendida como um conjunto de limites inexatos que são definidos em função da sua pertinência espacial. Esta função é um número compreendido no intervalo de 0 a 1, com 1 representando a pertinência total do conjunto, e 0 (zero), a pertinência nula. Isto significa que cada classe presente em cada um dos planos de informação

considerados pode, em diferentes graus, pertencer a mais de um conjunto (BURROUGH; MCDONNELL, 1998). O ponto onde o valor é igual a 0,5, é denominado “ponto de cruzamento”. Este deve coincidir com os contatos rígidos dos modelos booleanos (MOREIRA, 2001). A Figura 8 ilustra as diferenças entre os resultados típicos de classificação de dados sob a perspectiva booleana e fuzzy.

FIGURA 8 - Diferenças entre os resultados da classificação de dados sob a perspectiva booleana (à direita) e fuzzy (à esquerda)

Fonte: Câmara et al. 2007.

Por último, a Inferência Bayesiana trabalha com limites entre classes baseados em probabilidades. O método consiste basicamente na definição de probabilidades envolvidas na determinação ou identificação de um determinado objeto ou fenômeno geográfico, dada uma condição específica. Os principais conceitos tratados nesta técnica de inferência são os de probabilidades a priori e a posteriori (BONHAM-CARTER, 1994). De modo geral, um evento qualquer apresenta uma determinada probabilidade de ocorrência, a qual é denominada de probabilidade a priori. No entanto, evidências que refinem essas probabilidades podem fornecer um novo valor denominado de probabilidade a posteriori.

De acordo com Câmara et al. (2008) esta lógica é aplicada em muitos dos modelos de sistemas ambientais que são fundamentados em bases empíricas, pois se baseia em métodos estatísticos de correlacionamento entre as classes de diferentes planos de informação para a identificação das probabilidades de ocorrência de um determinado objeto ou fenômeno.

Em síntese, através da aplicação dos diversos procedimentos sucintamente apresentados e discutidos neste item, é possível atingir os objetivos da análise espacial de dados geográficos conforme preconizado por Valenzuela (1991), ou seja, questionar informações úteis que satisfaçam as exigências dos objetivos do usuário para a tomada de decisão técnica.

Câmara et al. (2001) observa que não existe um melhor modelo ou um modelo ideal para as classificações temáticas e análises socioambientais em ambiente SIG. Segundo o autor, muitas vezes o analista tem de utilizar e combinar diferentes modelos às suas análises. A escolha dos modelos dependerá das características dos dados (variáveis), da região estudada e, principalmente, dos objetivos da análise.

De maneira semelhante, Ferreira (1997) salienta que a aplicação de modelos em SIG pode provocar generalizações ou excesso de categorias, e que cabe aos analistas possuírem uma sólida base teórico-metodológica para definir os pontos de equilíbrio entre esses extremos. Nesse sentido, o autor conclui que os Sistemas de Informações Geográficas não funcionam como um eletrodoméstico que devolve o produto limpo e pronto para ser usado. Mas sim, em um meio de constante ensaio e análise espacial integrada, cujo produto deve ter a assinatura do pesquisador e não da máquina.

Sendo assim, a título de conclusão de tudo que foi discutido até então, pode-se dizer que, de maneira geral, o SIG consiste no produto da incorporação de funções de Processamento Digital de Imagens, de Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados e de análise espacial, formando um sistema complexo designado ao armazenamento, à manipulação, à combinação e análise de dados e informações acerca de objetos e fenômenos que podem ser identificados e localizados na superfície terrestre para a produção de mapas.

O que vai ao encontro as suas definições mais clássicas, no âmbito nacional e internacional, que definem o SIG como um conjunto de ferramentas para manipular dados georreferenciados bem como de armazenar, recuperar, transformar, analisar e manipular dados coletados do mundo real (ARONOFF, 1989; BURROUGH; MCDONNELL, 1998; CÂMARA et al., 2001).

Nesse sentido e ainda de acordo o que foi abordado a respeito do conceito de geoprocessamento e dos seus respectivos componentes ao longo deste capítulo, pode-se concluir que o SIG consiste na principal finalidade do Geoprocessamento como um todo, no

seu objetivo primordial, já que as técnicas que o compõem se subdividem em sistemas de aquisição, processamento, integração, gerenciamento e apresentação de dados espacialmente referenciados na superfície terrestre. O SIG consiste no único sistema desse conjunto que possui a quádrupla função de processamento, integração, gerenciamento e apresentação desses dados, e ainda possui a exclusividade no que se refere à capacidade de realizar a integração deles mediante funções de modelagem e de análise espacial. Todas essas funções desempenhadas pelos Sistemas de Informações Geográficas dão uma finalidade aos procedimentos de aquisição e processamento de dados geoespaciais em formato digital; pois, sem elas, a simples aquisição e compilação desses dados não fariam o menor sentido.

4.2.5 O Geoprocessamento nas atividades de Planejamento e Ordenamento Territorial

No que se refere mais especificamente às práticas de planejamento e ordenamento territorial sob a perspectiva socioambiental, como os Planos de Manejo de Unidades de Conservação, diversos autores propõem diferentes concepções organizacionais para a sistematização das etapas, dos métodos e procedimentos de aplicação das técnicas de geoprocessamento no processo, entre os quais podem ser citados os trabalhos publicados por Becker e Egler (1996); Câmara e Medeiros (2012), Castilho-da-Costa e Xavier-da-Silva (2004); Lang e Blaschke (2009); Mendonça (2008); Salinas (1991); Salinas e Fernandes (2001); e Xavier-da-Silva (1997).

Apesar de haver variações conceituais e terminológicas entre as propostas, de maneira comum elas estruturam a aplicação das técnicas de geoprocessamento nas atividades de planejamento socioambiental em ao menos três etapas distintas e complementares: inventário, análises/diagnósticos e tomadas de decisão/zoneamento.

O Dicionário da Língua Portuguesa define inventário como a descrição detalhada e minuciosa de algo (HOUAISS; VILLAR, 2001). Xavier-da-Silva (1997) avança nesse conceito inicial destacando que, no geoprocessamento, o inventário é entendido como criterioso levantamento qualitativo e/ou quantitativo das condições ambientais existentes, o que é expresso por informações espaciais temáticas (características climáticas, litologia,

geomorfologia, vegetação, solos, rede de drenagem, uso da terra, dados socioeconômicos etc.) na intenção de se estruturar um banco de dados geográfico (BDG), mediante a compilação dessas informações em um Sistema de Informação Geográfica.

Os diversos autores que propuseram concepções sistematizadas das etapas do planejamento territorial por geoprocessamento enfatizam que o levantamento dos dados de inventário são os mais importantes, pois é deles que derivam todas as análises e avaliações ambientais que dão suporte às tomadas de decisão (BECKER; EGLER, 1996; CÂMARA; MEDEIROS, 2012; CASTILHO-da-COSTA; XAVIER-da-SILVA, 2004; LANG; BLASCHKE, 2009; MENDONÇA, 2008; SALINAS, 1991; FERNANDES e SALINAS, 2001; XAVIER-da-SILVA, 1997).

Nesse sentido, Antunes e Lingnau (1997), Felgueiras (2001) e Heuvelink (1998) chamam a atenção para a necessidade de se avaliar a qualidade desses dados e estimar as incertezas obtidas durante os seus levantamentos; pois, conforme observam os autores, os erros presentes nos dados de inventário tendem a se propagar nas análises ambientais e nas tomadas de decisão que são derivadas de sua combinação ou reclassificação.

As análises/diagnósticos, por sua vez, consistem na aplicação de procedimentos de avaliação sobre os dados e informações inventariados, fundamentados em teorias e métodos de investigação científica acerca de determinados processos e fenômenos que se manifestam na superfície terrestre (CASTILHO-da-COSTA; XAVIER-da-SILVA, 2004).

Xavier da Silva (1999) define a etapa de análises/diagnósticos como sendo a de realização de “Prospecções Ambientais”. Segundo o autor tais prospecções são efetuadas a partir de duas abordagens ou escalas de análise distintas: as avaliações ambientais diretas (ou específicas) e as avaliações ambientais complexas (ou amplas).

As avaliações ambientais diretas são aquelas resultantes da interpolação ou reclassificação direta de dados originais, e que têm como resultado as avaliações de riscos e de potenciais ambientais (XAVIER-da-SILVA; 1997).

Entendendo-se por riscos ambientais os fenômenos naturais, sejam eles movidos pela própria dinâmica natural do ambiente local, ou desencadeados e potencializados pelas atividades antrópicas, e que, necessariamente, podem causar algum tipo de dano à sociedade (XAVIER-da-SILVA, 1997).

Nesse sentido, as estimativas de risco podem ser atribuídas a partir da aplicação de modelos conceituais de relacionamento entre as variáveis envolvidas no fenômeno estudado, sobre um conjunto de dados temáticos organizados em Sistemas de Informações Geográficas, que, por meio da aplicação de procedimentos de análises espaciais, permitem a determinação de áreas em diferentes níveis de risco, geralmente expressos em termos probabilísticos de acordo com o fenômeno avaliado e o modelo conceitual aplicado. A execução desse procedimento pode ser utilizada na determinação de áreas com diferentes níveis de necessidade de proteção. São exemplos de avaliações ambientais diretas de riscos ambientais os modelos de previsão de movimentos de massa, de previsão de inundações, os modelos de vulnerabilidade à erosão, entre outros.

As avaliações de potenciais ambientais também se estruturam pelo mesmo princípio das avaliações de riscos ambientais, porém de maneira invertida, ou seja: ao invés da aplicação de modelos conceituais para se avaliar níveis de riscos para o desencadeamento de fenômenos específicos que possam provocar danos à sociedade, são aplicados modelos conceituais que se designam a avaliar o potencial das condições naturais encontradas frente a um determinado tipo de uso. Dessa maneira, pode ser avaliado o potencial de uma área frente à possibilidade de desenvolvimento de diferentes tipos de uso e atividades econômicas, tais como: atividades turísticas, agrossilvopastoris, conservação ambiental etc. Nesse sentido, podem ser citados como exemplos de modelos de avaliação de potenciais ambientais úteis à gestão de Unidades de Conservação os modelos de aptidão agrícola, de capacidade de uso da terra, de capacidade de suporte turístico, entre outros (CASTILHO-da-COSTA; XAVIER-da-SILVA, 2004).

As avaliações ambientais amplas ou complexas, diferentemente das avaliações ambientais diretas, não são produzidas a partir dos dados originais inventariados, mas sim a partir de diversas avaliações prévias (prospecções ambientais) combinadas com a situação atual constatada (uso da terra e de cobertura vegetal natural). Esses procedimentos permitem que sejam identificadas possíveis áreas com ocorrência de incongruências de uso, de potenciais conflitantes e de áreas críticas (XAVIER-da-SILVA, 1997).

As incongruências de usos e os potenciais conflitantes são análises derivadas da combinação dos mapeamentos de uso da terra com os mapas, produtos das avaliações de riscos e de potenciais ambientais, o que permite a identificação de locais subutilizados, ou de locais submetidos a usos inadequados e incompatíveis. Nesse sentido podem ainda ser

avaliadas áreas críticas a partir do estabelecimento de níveis de criticidade ambiental frente às diferentes combinações de incompatibilidade de uso encontradas.

De maneira semelhante, Salinas e Fernandes (2001) propõem a realização de tais avaliações (específicas/diretas e amplas/complexas) para o levantamento de indicadores de sustentabilidade socioambiental. Segundo os autores, os indicadores de sustentabilidade consistem em parâmetros sociais e ambientais capazes de fornecer indicações relativas ao estado de conservação dos recursos naturais e os seus respectivos impactos para a sociedade, da mesma maneira que fornece indicações relacionadas ao nível de desenvolvimento e de qualidade de vida das sociedades e os respectivos impactos e pressões que as suas atividades exercem sobre os recursos naturais.

Ainda de acordo com Salinas e Fernandes (2001), os indicadores ambientais podem ser sistematizados pelo modelo Pressão-Estado-Resposta que assenta em três grupos-chave de indicadores:

- I) Indicadores de Pressão – caracterizam as pressões sobre os sistemas ambientais e podem ser traduzidos por indicadores de emissão de contaminantes, eficiência tecnológica, intervenção no território e de impacto ambiental;
- II) Indicadores de Estado – refletem a qualidade do ambiente em um dado horizonte espaço/tempo; são os indicadores de sensibilidade, de risco e de qualidade ambiental;
- III) Indicadores de Resposta – avaliam as respostas da sociedade às alterações e preocupações ambientais, bem como à adesão a programas e/ou implementação de medidas em prol do ambiente; podem ser incluídos neste grupo os indicadores de adesão social, de sensibilização e de atividades de grupos sociais importantes.

Esses conjuntos de avaliações (específicas e amplas ou por indicadores), que consistem essencialmente em procedimentos de diagnósticos ambientais, procuram fornecer os subsídios necessários para a proposição de medidas de recuperação e prevenção em relação a possíveis ocorrências de fenômenos e impactos ambiental e/ou socialmente danosos ou prejudiciais, o que pode ser denominado como procedimentos de prognose ambiental (CASTILHO-da-COSTA; XAVIER-da-SILVA, 2004; LANG; BLASCHKE, 2009; SALINAS; FERNANDES, 2001; XAVIER-da-SILVA, 1997).

Os procedimentos de prognose ambiental consistem em análises que permitem a simulação de cenários e a proposição de medidas de gestão ambiental (tomadas de decisão), a fim de sanar as incongruências, os riscos e os conflitos diagnosticados durante as prospecções ambientais (BECKER; EGLER, 1996; CASTILHO-da-COSTA; XAVIER-da-SILVA, 2004; LANG; BLASHKE, 2009; MENDONÇA, 2008; SALINAS, 1991; SANTOS, 2009; SALINA; FERNANDES, 2001; XAVEIR-da-SILVA 1997). Nesse sentido, portanto, a simulação de cenários prospectivos consiste essencialmente em procedimentos que permitem vislumbrar diferentes configurações espaciais frente a possíveis alterações nos elementos socioambientais que as compõem.

Segundo Christofolletti (2009), a evolução do uso de SIG, na modelagem de dados socioambientais sob perspectiva da teoria geral dos sistemas, vem permitindo a simulação de cenários futuros (prospectivos) de maneira cada vez mais eficiente, possibilitando a identificação e o dimensionamento da resposta dos sistemas ambientais frente a possíveis intervenções antropogênicas, ou mesmo alterações naturais, sobre determinados elementos (subsistemas) que os compõem; o que tem valiosa serventia aos tomadores de decisão tanto na escolha de alternativas de intervenções menos custosas ou impactantes, quanto na definição de medidas de eliminação ou mitigação de riscos, custos e impactos, sob os pontos de vista social, ambiental e econômico.

Lang e Blaschke (2009) apresentam alguns exemplos de simulação de cenários prospectivos utilizados para subsidiar as tomadas de decisão por parte dos gestores de Unidades de Conservação europeias, desde representações tridimensionais pseudorealistas, passando pela inclusão de informação adicional relevante em mapas digitalizados, até modelos abstraídos de assuntos individuais específicos.

Os autores também enfatizam a utilidade desses procedimentos às tomadas de decisão, especialmente nos modelos de planejamento participativo, como os Planos de Manejo de UC brasileiras, dada a “capacidade de visualização de relações que, de tão complexas, só raramente podem ser registradas em sua totalidade”, bem como “a possibilidade de representação flexível de cenários imagináveis com uma ferramenta de alta capacidade e adaptável, relacionado ao espaço” (LANG; BLASCHKE, 2009, p. 327).

A finalidade das prospecções socioambientais e da simulação de cenários é a de subsidiar as tomadas de decisão, o que, no caso dos Planos de Manejo, se traduzem

especialmente nos zoneamentos das UC. Nesse mesmo sentido, Santos (2009, p. 152) define a expressão “tomada de decisão” no âmbito do Planejamento Ambiental como:

[...] a escolha que se faz frente a um conjunto de alternativas, dentro de uma conduta dirigida pelas metas, meios usados e fins esperados. Implica escolher as melhores alternativas de ação disponíveis, ordená-las pela prioridade, tempo de implantação e duração da ação. A melhor análise para decisão é aquela que considera as limitações e as vantagens inerentes a cada alternativa avaliada e seleciona a otimizada.

A tomada de decisão no planejamento de UC necessita de grande número de variáveis, ou dados geográficos de inventário, que expressam as principais características do meio físico, biológico, social e econômico; cujas combinações podem produzir diferentes alternativas de manejo das Unidades de Conservação. Nesse contexto, portanto, a necessidade de obtenção de dados de inventário de qualidade é evidente (BECKER; EGLER, 1996; CASTILHO-da-COSTA; XAVIER-da-SILVA, 2004; LANG; BLASCHKE, 2009; MENDONÇA, 2008; SALINAS, 1991; SALINAS; FERNANDES, 2001; SANTOS, 2009; XAVEIR-da-SILVA 1999).

5. METODOLOGIA

A Identificação das opções técnicas de geoprocessamento mais eficientes que podem ser aplicadas para a produção dos mapas temáticos de inventário demandados pelos PM de UC do estado de SP, foi realizada através da consulta aos diversos tipos de publicações de caráter técnico e científico (artigos, teses, dissertações e relatórios de comissões técnico-científicas) presentes em diferentes catálogos de bibliotecas eletrônicas de divulgação científica atualmente disponíveis (bancos de teses e dissertações e *sites* indexados a periódicos), e da aplicação de critérios de seleção sobre os mesmos, sob perspectiva da “revisão sistemática da literatura” (KITCHENHAM, 2004) e, principalmente da “revisão integrativa da literatura” (SANDELOWSKI; BARROSO, 2006, 2007).

Segundo Cooper et al. (2009), a criação e rápida popularização da rede internacional de computadores (*internet*), vivenciada durante a década de 1990, tem revolucionado os meios de comunicação científica, principalmente a partir da criação de diversos tipos dos bancos de teses e de dissertações vinculados às Universidades e às agências de fomento à pesquisa, e dos diversos tipos de *sites* indexados a periódicos, como: SciELO, SCIENCE DIRECT, SCOPUS, WEB OF SCIENCE e Google Acadêmico.

As principais mudanças proporcionadas pela criação desses catálogos eletrônicos é a ampliação da velocidade e do volume de acesso às publicações, em proporções antes inimagináveis na era analógica, quando a realização de levantamentos bibliográficos exigia longos períodos de consulta de materiais bibliográficos analógicos nas bibliotecas físicas. Atualmente, pode-se acessar publicações, atuais e antigas, produzidas em diferentes países do globo, por meio de alguns toques do teclado (COOPER et al., 2009).

Nesse sentido, de acordo com Kitchenham (2004), o maior acesso à publicação científica proporcionado pela *internet* acabou repercutindo também nos procedimentos e métodos de investigação científica orientados à realização de revisões da literatura. Dessa

maneira, o autor relata que, em virtude da crescente quantidade e complexidade no tratamento de diversas publicações, tornou-se imprescindível o desenvolvimento de artifícios, no contexto da pesquisa cientificamente embasada, capazes de delimitar etapas metodológicas mais concisas e de propiciar aos profissionais e pesquisadores, uma melhor utilização das evidências elucidadas em inúmeros estudos. Nesse cenário, os métodos de revisão sistemática da literatura emergem como metodologias capazes de guiar a realização de sínteses do conhecimento com a incorporação da aplicabilidade de resultados de estudos mais significativos.

Em síntese, uma revisão sistemática consiste em um tipo de revisão da literatura que é realizada a partir da definição de uma pergunta específica, por meio da qual se busca identificar, avaliar, selecionar e sintetizar evidências de estudos empíricos que atendam a critérios de elegibilidade predefinidos (KITCHENHAM, 2004).

Segundo Berrang-Ford et al. (2015) as abordagens sistemáticas para as sínteses de investigação têm sido usadas de forma desigual entre as deferentes áreas do conhecimento científico, e que muitas vezes usam uma terminologia diferente para descrever o processo de revisão. O termo "revisão sistemática" foi criado e empregado inicialmente no âmbito das ciências sociais, como podem ser observados nos trabalhos desenvolvidos por Glass (1976) e Waddington et al. (2012). Na atualidade, contudo, o termo é predominantemente utilizado para se referir à revisão formal, ou seja: revisão de artigos rigorosamente padronizada, principalmente na área das ciências da saúde (KITCHENHAM, 2004). Apesar do predomínio desse campo do conhecimento, também vêm sendo realizadas sínteses de pesquisas orientadas por métodos sistemáticos em outras áreas do conhecimento, como nas ciências naturais (BERRANG-FORD et al., 2015; HUNT; WATKISS, 2011) e nas ciências da computação e na engenharia de *software* (BIOLCHINI et al., 2005; WANGENHEIM et al., 2009).

De acordo com Thomas (2007), uma das principais vantagens da aplicação dos métodos de revisão da literatura é a de sintetizar novas abordagens técnicas e metodológicas de maneira a torná-las mais acessíveis e assimiláveis aos diferentes grupos de usuários, especializados ou não, ampliando suas possibilidades de aplicação prática para toda a sociedade, não apenas pelos cientistas e pesquisadores.

Para Soares e Maciel (2000, p. 4) esses estudos se mostram consideravelmente úteis também “no processo de evolução da ciência, a fim de que se ordene periodicamente o

conjunto de informações e de resultados já obtidos”; favorecendo, portanto, a demonstração de integrações e configurações emergentes sobre as diferentes perspectivas investigadas, a recorrência de estudos, e suas lacunas e contradições.

No entanto, Sandelowski e Barroso (2006) atentando para o fato de que a maioria das abordagens em revisão sistemática da literatura se designa à combinação das evidências presentes em múltiplos estudos primários, a partir do emprego de técnicas de tratamentos estatísticos sobre os seus resultados, em que cada estudo é sintetizado, codificado e inserido em um banco de dados para uma avaliação de síntese quantitativa, o que também é conhecido como meta-análises; foram criadas também, dentro desse tipo de abordagem, métodos orientados para a realização de avaliações de sínteses qualitativas, que transcendem a abordagem quantitativa.

Nesse contexto, vem ganhando destaque a chamada “revisão integrativa da literatura” (SANDELOWSKI; BARROSO, 2006). De acordo com os autores, esta consiste em um tipo de abordagem mais ampla, permitindo a inclusão de estudos experimentais e não experimentais para uma compreensão mais completa do fenômeno ou tema analisado, combinando resultados de literaturas teóricas e empíricas, e incorporando um vasto leque de propósitos, como a definição de conceitos, a revisão de teorias e evidências e a análise de problemas metodológicos de um tópico particular.

Diante da necessidade de assegurar práticas metodológicas embasadas em evidências científicas, a revisão integrativa tem sido apontada como uma ferramenta ímpar, pois sintetiza as pesquisas disponíveis sobre determinadas temáticas, de tal maneira que permite a definição e indicação de possibilidades técnicas e metodológicas fundamentadas no conhecimento científico disponível. Embora combinar dados de delineamento de pesquisa diversos seja complexo e desafiador, a condução da revisão integrativa, a partir da inclusão de uma sistemática de abordagem no processo, particularmente na análise de dados, resulta na diminuição de possíveis vieses por parte do revisor (SANDELOWSKI; BARROSO, 2006, 2007).

Dessa maneira, a revisão integrativa é capaz de determinar o conhecimento atual sobre uma temática específica, já que é conduzida de modo a identificar, analisar e sintetizar resultados de estudos independentes sobre um mesmo assunto, contribuindo, pois, para uma possível repercussão benéfica para as práticas em situações semelhantes às revisadas

(SANDELOWSKI; BARROSO, 2006), o que vai ao encontro dos anseios do segundo objetivo específico da pesquisa, ou seja, a identificação das opções técnicas de geoprocessamento mais eficientes que podem ser utilizadas na produção dos mapeamentos de inventário demandados pelos Planos de Manejo de Unidades de Conservação paulistas, e que serviram de base para avaliação das técnicas que foram empregadas nos dois casos avaliados (Planos de Manejo do PETAR e da APA-VRT).

Para tanto, Sandelowski e Barroso (2007) descrevem a necessidade de execução ordenada de seis diferentes fases, que são definidas pelos autores da seguinte maneira:

1ª Fase: elaboração da pergunta norteadora

A definição da pergunta norteadora é a fase mais importante da revisão, pois determina quais serão os estudos incluídos, os meios adotados para a identificação e as informações coletadas de cada estudo selecionado. Deve ser elaborada de forma clara e específica e relacionada a um raciocínio teórico, incluindo teorias e raciocínios já aprendidos pelo pesquisador.

2ª Fase: busca ou amostragem da literatura

Intrínsecamente relacionada à fase anterior, a busca em bases de dados deve ser a mais ampla e diversificada possível, contemplando a procura em bases eletrônicas, busca manual em periódicos, as referências descritas nos estudos selecionados, o contato com pesquisadores e a utilização de material não publicado. Os critérios de amostragem precisam garantir a representatividade da amostra, sendo importantes indicadores da confiabilidade e da fidedignidade dos resultados. A conduta ideal é incluir todos os estudos encontrados ou a sua seleção randomizada; porém, se as duas possibilidades forem inviáveis pela quantidade de trabalhos, deve-se expor e discutir claramente os critérios de inclusão e exclusão. Dessa forma, a determinação dos critérios deve ser realizada em concordância com a pergunta norteadora, considerando os resultados de interesse.

3ª Fase: seleção e coleta de dados

Para extrair as informações das publicações, faz-se necessária a utilização de critérios previamente elaborados e que são capazes de assegurar que a totalidade das informações relevantes seja extraída, minimizando assim o risco de erros na transcrição e garantindo a precisão na checagem das informações que possam servir como registro. As informações

devem incluir: definição dos sujeitos, metodologia, tamanho da amostra, mensuração de variáveis, métodos de análise e conceitos embasadores.

4ª Fase: análise crítica dos estudos encontrados e escolha das melhores evidências

Análoga à análise dos dados das pesquisas convencionais, esta fase demanda uma abordagem organizada para ponderar o rigor e as características de cada estudo. A experiência do pesquisador contribui na apuração da validade dos métodos e dos resultados, além de auxiliar na determinação de sua utilidade na prática. Para auxiliar na escolha das melhores evidências (resultados encontrados nas publicações científicas de interesse), propõe-se uma hierarquia ou uma análise crítica, segundo o delineamento da pesquisa, que é um dos itens a serem analisados nessa fase.

5ª Fase: discussão dos resultados

Nesta etapa, a partir da interpretação e síntese dos resultados, comparam-se os dados evidenciados na análise das publicações ao referencial teórico. Dessa maneira, além de identificar possíveis lacunas do conhecimento, é possível delimitar prioridades para estudos futuros. Contudo, para proteger a validade da revisão integrativa, o pesquisador deve salientar suas conclusões e inferências, bem como explicitar possíveis vieses arbitrários do autor.

6ª Fase: apresentação da revisão integrativa

A apresentação da revisão deve ser clara e completa para permitir ao leitor avaliar criticamente os resultados. Deve conter, então, informações pertinentes e detalhadas, baseadas em metodologias contextualizadas. Todo discernimento de relações ou conclusões requer constatação com a fonte primária, para que não haja conclusões prematuras ou exclusão de evidências pertinentes durante o processo.

6. PROCEDIMENTOS

Para a aplicação da revisão integrativa da literatura, principalmente das suas quatro primeiras fases, fez-se necessário a identificação prévia dos principais tipos de mapeamentos temáticos demandados pelos Planos de Manejo de Unidades de Conservação estaduais paulistas.

Para tanto, foi realizada a leitura e análise sistematizada do “Termo de Referência para a elaboração de Planos de Manejo de Unidades de Conservação de proteção integral do estado de São Paulo” (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a), pois este documento, conforme já mencionado, estabelece as diretrizes metodológicas para a elaboração de Planos de Manejo das UC estaduais paulistas, e é através dele que são definidos quais os temas que devem ser abordados durante a fase de inventário da UC, os tipos de mapas temáticos que devem ser produzidos, incluindo as suas respectivas características, critérios e normas. Portanto, a identificação desses elementos foi fundamental para a aplicação da revisão integrativa da literatura porque foi através deles que foram estabelecidos os principais parâmetros de construção das “Perguntas Norteadoras” para a realização das “Buscas” às publicações técnico-científicas pertinentes (1ª e 2ª fases da Revisão), assim como do estabelecimento dos critérios de seleção e de análises críticas das evidências encontradas (3ª e 4ª fases).

Segundo esse Termo de Referência, a equipe de técnicos e especialistas responsáveis pela execução das etapas de diagnóstico e de planejamento dos Planos de Manejo deve ter as suas atividades coordenadas por um coordenador executivo e o seu respectivo suplente. Toda a equipe, incluindo a coordenação executiva, é organizada e distribuída em uma estrutura dividida em módulos de trabalho diferentes, sendo três módulos temáticos exclusivos de Diagnóstico da UC: Meio Físico, Meio Biótico, Meio Antrópico; um módulo temático exclusivo da etapa de Planejamento da UC: Planejamento; e um módulo temático transversal de suporte a todos os demais: Coordenação Técnica Executiva, que também inclui a equipe responsável pela cartografia e pelo banco de dados geográfico.

Na intenção de sistematizar tal análise, foi estabelecida uma estrutura hierárquica de parâmetros de busca de informações, para extrair do Termo de Referência somente às menções relativas aos objetos de análise dessa etapa da pesquisa, ou seja: os tipos de mapas temáticos necessários para a elaboração de Planos de Manejo no estado de São Paulo e as exigências técnico/metodológicas requeridas para a execução desses mapeamentos. Dessa maneira, portanto, a análise deste documento se guiou pelo estabelecimento de seis diferentes parâmetros, caracterizados e organizados da seguinte forma:

1) Temas de Mapeamento:

Primeiramente foram identificados todos os temas de análise com indicação para serem representados cartograficamente no TdR;

2) Escalas de análise e de representação:

Em um segundo momento, foram identificadas as indicações relativas às escalas de análise e de representação para esses temas objetos de mapeamento previamente identificados, quando explicitadas no TdR;

3) Orientações teórico/metodológicas:

Posteriormente foram identificadas as indicações relacionadas ao embasamento teórico metodológico que devem guiar a produção dos diferentes mapas temáticos, quando essas características se encontram explicitadas no TdR;

4) Tipos de dados de entrada e de saída:

Foram identificadas nesta etapa as indicações relacionadas aos tipos de dados necessários para a realização desses mapeamentos, quando explicitadas no TdR, bem como os seus respectivos formatos de saída;

5) Procedimentos Técnicos:

Neste momento foram identificados se existem considerações acerca dos procedimentos técnicos e operacionais que devem, ou que podem ser utilizados, para a classificação dos temas objetos de mapeamento, destacando-os quando explicitados no TdR;

6) Padrão de Legenda:

A última característica observada em relação aos diferentes tipos de mapas temáticos, demandados pelos Planos de Manejo no estado de SP, refere-se à identificação dos padrões de legenda indicados para cada um deles, quando essas características estão explicitadas no TdR.

Dessa maneira, a análise do TdR, guiada pelos procedimentos supracitados, permitiram a identificação dos diferentes tipos de mapeamentos temáticos demandados pelos PM de UC do estado de SP, e das suas respectivas características; o que corresponde ao 1º objetivo específico desta pesquisa, conforme explicitado no Capítulo 3. Os seus resultados, que se encontram descritos no item 7.1, foram fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa, pois é a partir deles que foram definidos os parâmetros e critérios para o cumprimento das etapas seguintes, conforme detalhado nos próximos parágrafos.

Seguindo os preceitos estabelecidos por Sandelowski e Barroso (2006, 2007) para o cumprimento das fases 1 e 2 da metodologia proposta por esses autores, ou seja, a elaboração das perguntas norteadoras e as buscas ou amostragens da literatura, foram efetuadas buscas nos sites indexados a periódicos (SciELO, SCIENCE DIRECT, SCIRUS, SCOPUS e WEB OF SCIENCE) e nos bancos de dissertações e teses nacionais (Banco de teses e dissertações do IBICT e Portal de Teses da CAPES) para a coleta de publicações relacionadas aos tipos de mapeamentos demandados pelo TdR. Para tanto, foram criados determinados parâmetros de busca, de acordo com algumas das características obtidas pela análise do TdR, a saber:

Parâmetros utilizados nas buscas (fases 1 e 2 da metodologia)

- a) Temas: os termos utilizados nas buscas foram definidos em função dos tipos de temas identificados no TdR, como por exemplo: cartografia geomorfológica, mapeamento climático, classificação de uso da terra etc. Dessa maneira as buscas foram realizadas utilizando-se de palavras-chave em dois idiomas: português e inglês;
- b) Escalas de análise e de representação compatíveis com o TdR: como segundo parâmetro de busca das publicações, visando restringir os resultados às publicações realmente compatíveis com as principais exigências indicadas pelo TdR, foram incluídas novas palavras-chave sobre os resultados obtidos pelo estabelecimento do primeiro parâmetro (Tema), desta vez relacionados às escalas de análise e de representação de cada tema (como por exemplo: escala de detalhe, grande escala, escala topocimática etc.).

Para a seleção das publicações que fossem realmente capazes de atender aos preceitos estabelecidos pelo TdR e que, ao mesmo tempo, se utilizaram de técnicas de

geoprocessamento durante o processo (fase 3 da metodologia adotada), foram estabelecidos alguns critérios de seleção, a saber:

Critérios de Seleção das publicações (fase 3):

- a) Uso das tecnologias de geoprocessamento para a coleta, preparação (tratamento) e classificação dos dados;
- b) Similaridade entre as orientações teórico/metodológicas que embasaram os resultados obtidos nas publicações coletadas em relação às indicações constantes no TdR, e que são passíveis de serem empregadas a partir do uso de técnicas de geoprocessamento;
- c) Uso de padrões de legenda compatíveis com as exigências identificadas no TdR;

A execução da quarta fase (fase 4) da revisão integrativa da literatura, ou seja, a análise crítica dos estudos encontrados e a escolha das melhores evidências, foram feitas através da leitura crítica das publicações previamente coletadas durante as três primeiras fases.

Tal leitura crítica buscou identificar nos relatos dos próprios autores das publicações, os tipos de dados mais adequados e as técnicas e os métodos mais eficientes no que se refere ao tratamento e a classificação desses dados, ou seja, a leitura das publicações foi realizada com foco nas indicações evidenciadas pela própria literatura, no que se refere aos tipos de dados mais adequados e as técnicas e métodos mais eficientes para seu tratamento sua classificação.

Por último, a fim de sistematizar de maneira lógica a apresentação e discussão dos resultados obtidos para cada um dos temas revisados (que se referem às fases 5 e 6 do processo de revisão integrativa da literatura), foi estabelecida uma estrutura de síntese narrativa comum a todos eles, conforme se encontra descrito a seguir:

Estrutura das Revisões:

- 1) Definição do embasamento teórico-conceitual, de acordo com as características específicas de cada tema identificado no TdR, e a partir da consulta a relatórios de comissões técnico-científicas e de outras referências consagradas, ou seja: que servem de diretrizes teóricas, conceituais e metodológicas para a maioria dos

trabalhos publicados, no Brasil e no mundo, e que são compatíveis com as indicações constantes no TdR;

- 2) Descrição e discussão dos principais métodos e técnicas de geoprocessamento que podem ser utilizados para a coleta de dados necessários, conforme indicados pela literatura;
- 3) Descrição e discussão sobre os métodos e técnicas de geoprocessamento mais eficientes para o tratamento dos dados coletados, conforme as indicações encontradas na literatura;
- 4) Descrição e discussão sobre os métodos e técnicas de geoprocessamento mais eficientes para a classificação temática dos dados, conforme as indicações encontradas na literatura.

A execução desses procedimentos permitiu a identificação das possibilidades metodológicas mais eficientes que envolvem o uso das técnicas de geoprocessamento, e que podem ser utilizadas para a produção dos mapas temáticos de inventário demandados pelos Planos de Manejo de UC do estado de São Paulo, o que se configurou no segundo objetivo específico desta pesquisa, cujos resultados se encontram apresentados no item 7.2 e nos seus respectivos subitens: 7.2.1, 7.2.2, 7.2.3 e 7.2.4.

Além desses, também foi feita uma revisão relacionada aos principais métodos que podem ser utilizados para a aferição e validação desses mapeamentos, que se encontra apresentado no subitem 7.2.5.

Por último, foi feita a identificação dos dados, métodos e técnicas de geoprocessamento que foram utilizados na produção dos mapeamentos de inventário dos dois Planos de Manejo tomados para estudo de caso, o que se deu por meio da leitura e análise dos próprios documentos finais que consistiram nesses Planos, assim como nos relatórios técnicos das equipes (submódulos) responsáveis pela elaboração desses mapeamentos, especialmente quando as informações técnico-metodológicas constantes nos documentos finais dos Planos eram insuficientes para tal identificação. Esses relatórios técnicos, assim como o próprio Termo de Referência consistem em documentos internos da Fundação Florestal, os quais não se encontram publicados; no entanto, eles podem ser conferidos no CD (*Compact Disk*) anexado a esta pesquisa.

Diferentemente dos resultados encontrados para os dois primeiros objetivos específicos desta pesquisa, ou seja: a análise do Termo de Referência (item 7.1) e a Revisão Integrada da Literatura (item 7.2); os resultados da identificação dos métodos e técnicas empregados nos mapeamentos de inventário dos dois Planos de Manejo tomados como estudo de caso não foram apresentados isoladamente, ou seja, os resultados de tais análises se encontram apresentados conjuntamente com suas próprias avaliações ao longo do Capítulo 8, e que consiste no próprio objetivo geral pretendido por esta pesquisa.

A avaliação dos métodos e técnicas de geoprocessamento, que foram utilizados na produção dos mapeamentos de inventário dos dois Planos de Manejo tomados para estudo de caso, foi feita através da comparação de tais técnicas, com as indicações evidenciadas na revisão integrada da literatura. Dessa forma, foi possível avaliar se as opções técnicas de geoprocessamento evidenciadas como sendo as mais eficientes, estão sendo oportuna e adequadamente aproveitadas na produção dos mapeamentos de inventário dos Planos de Manejo recentemente produzidos para as Unidades de Conservação paulistas; ou seja: se os dados utilizados são adequados às análises realizadas, se as técnicas mais eficientes de tratamento e classificação desses dados estão sendo aproveitadas e se os produtos obtidos nesses levantamentos estão sendo devidamente aferidos e validados.

A Figura 9 a seguir apresenta o encadeamento do conjunto de procedimentos descritos neste capítulo, sintetizado na forma de um fluxograma geral das etapas da pesquisa.

FIGURA 9 - Fluxograma Síntese dos Procedimentos

Fonte: Elaborada pelo autor em 2015

7. RESULTADOS

Como já mencionado no capítulo anterior, os resultados da pesquisa estão divididos em dois momentos distintos. O primeiro consiste nos resultados da análise do Termo de Referência da Fundação Florestal (2010a), correspondente ao item 7.1, no qual se encontram descritos e discutidos os tipos de mapeamentos de inventário demandados pelos PM de UC do estado e as suas respectivas características. O segundo momento (item 7.2) consiste na identificação e discussão das técnicas de geoprocessamento mais eficientes e adequadas para a produção destes mapeamentos, conforme evidenciado pela revisão integrativa da literatura.

7.1 Temas de mapeamento demandados pelos Planos de Manejo de Unidades de Conservação do estado de São Paulo

Antes de serem apresentados os resultados da análise do Termo de Referência estabelecido pela Fundação Florestal (2010a), deve ser salientado que apesar do Termo de Referência ter sido elaborado para sistematizar e padronizar a produção dos Planos de Manejo das Unidades de Conservação de proteção integral do estado de São Paulo, as Unidades de Conservação de uso sustentável, como a APA-VRT, que consiste em uma das duas UC cujo Plano de Manejo foi tomado para estudo de caso nessa pesquisa, ainda não possuem um Termo de Referência específico para orientar os Planos que são produzidos para as UC que se incluem nessa categoria (uso sustentável). Nestes casos, são elaborados Termos de Referência próprios para orientar a produção dos Planos de Manejo dessas UC, como ocorreu no Plano de Manejo de APA-VRT.

Contudo, para o desenvolvimento dessa pesquisa foi considerado apenas o Termo de Referência estabelecido para as Unidades de Conservação de Proteção Integral, por este consistir no documento norteador dos Planos de Manejo produzidos para todas as UC de proteção integral paulistas e, principalmente, para que fossem evitados conflitos entre as

indicações técnicas explicitadas neste documento, em relação às indicações do Termo de Referência elaborado para o Plano de Manejo específico da APA-VRT, pois uma análise preliminar desses dois documentos evidenciou algumas disparidades entre eles, relacionadas a escalas mínimas de mapeamento requeridas, à estruturação dos módulos e submódulos, entre outras indicações técnicas e metodológicas. Desse modo, para viabilizar a identificação dos parâmetros e critérios que norteariam a aplicação do método de Revisão Integrativa da Literatura nesta pesquisa, foi adotado apenas o Termo de Referência estabelecido pela Fundação Florestal (2010a) que se designa a orientar os Planos de Manejo de Unidades de Conservação de proteção integral.

Conforme já mencionado no subitem 4.1.5, o processo de elaboração de Plano de Manejo de UC é estruturado em duas etapas: a primeira correspondendo à etapa de Diagnóstico da UC e a segunda constituindo na de Planejamento; e sobre dois enfoques metodológicos: a estruturação por módulos e o planejamento participativo (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a). Como o objetivo principal, ou geral, desta pesquisa é avaliar as técnicas empregadas na produção dos mapas temáticos de inventário das UC, foi considerada para análise do TdR apenas a etapa de Diagnóstico dos Planos de Manejo, já que é durante ela que são realizados esses levantamentos.

De acordo com esse documento, a equipe de técnicos e especialistas responsáveis pela execução dessa etapa deve ter as suas atividades coordenadas por um coordenador executivo do PM e do seu respectivo suplente. Toda a equipe, incluindo a coordenação executiva, é organizada e distribuída em uma estrutura dividida em módulos de trabalho diferentes, sendo três módulos temáticos de diagnóstico (Módulos 2, 3, 4) e um módulo transversal e de suporte a todos os demais (Módulo 1). Sendo assim, o referido documento descreve como cada um desses Módulos se organizam, quais são os seus objetivos gerais, quais as atividades que devem ser realizadas para atingir esses objetivos, e quais os seus produtos cartográficos, tabulares e descritivos esperados pela execução dessas atividades (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a).

De acordo com o TdR da Fundação Florestal (2010a), a primeira etapa do processo de elaboração dos Planos de Manejo consiste, portanto, no Diagnóstico Socioambiental da UC, o que é realizado pelo Módulo 1 (Coordenação Técnica e Executiva) conjuntamente com os Módulos temáticos 2, 3 e 4, que incluem ainda os seus respectivos submódulos temáticos; todos são compostos e organizados da seguinte maneira:

Módulo 1 – Coordenação Técnica e Executiva (transversal).

Este corresponde ao módulo responsável pela coordenação de todo o Plano de Manejo, assim como pela cartografia (produção dos mapas) e organização do Banco de Dados Geográfico (BDG). Ele é caracterizado no TdR como um módulo transversal, pois permeia todos os outros módulos e submódulos temáticos, e atua nas duas etapas de elaboração dos Planos de Manejo (Diagnóstico e Planejamento).

No que se refere exclusivamente à parte de cartografia e organização do banco de dados geográfico, foco principal da presente pesquisa, esse módulo atua tanto no fornecimento dos dados e informações geoespaciais, que são necessárias aos levantamentos e análises de responsabilidade dos módulos e submódulos temáticos de Diagnóstico, quanto na geração dos diversos tipos de mapeamentos derivados de tais levantamentos e análises. O TdR ainda determina que um dos seus principais objetivos é o de “Coordenar o geoprocessamento, em compatibilidade com a plataforma ESRI, para apoiar a avaliação dos módulos, bem como subsidiar o zoneamento e o monitoramento futuro da implantação do Plano de Manejo” (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a, p. 10).

O Termo de Referência ainda destaca que a estruturação do Banco de Dados Geográfico dos Planos de Manejo deve obedecer aos preceitos técnicos estabelecidos pelo Roteiro Metodológico do IBAMA (2002) acerca dos “Elementos Mínimos para Elaboração da Base Cartográfica de Referência”, dos “Elementos Mínimos para Elaboração de Mapas Temáticos”, e dos “Elementos Mínimos Necessários para o Cruzamento de Informações por Meio de Sistema de Informação Geográfica”, os quais se encontram descritos no referido documento da seguinte maneira:

É aconselhável que as informações obtidas no Plano de Manejo sejam espacializadas sobre uma base comum. Para tanto, é necessário que a elaboração da base cartográfica e mapas temáticos se atentem a:

1) Elementos Mínimos para Elaboração da Base Cartográfica de Referência:

O objetivo da elaboração da base cartográfica de referência é o de balizar conhecimentos e informações geográficas, dando suporte à cartografia temática (vegetação, uso da terra, geomorfologia, impactos ambientais e outros).

Recomendações:

- a. A base cartográfica de referência deve conter informações georreferenciadas, com pelo menos: rede hidrográfica, sistema viário, hipsometria (curvas de nível e pontos altimétricos), limites (estaduais e municipais) e fronteiras. Dados pontuais poderão ser obtidos por meio de GPS com processamento de correção diferencial;
- b. Recomenda-se que os materiais cartográficos, selecionados para a execução da base cartográfica, estejam em uma única escala e compatíveis com aquela usada para a geração dos mapas temáticos;
- c. A fim de garantir a sobreposição correta dos mapas que serão elaborados, deve-se atentar ao sistema de projeção cartográfica adotado (exemplo: no caso de projeção Universal Transversa de Mercator, não esquecer do Fuso e Datum) e ao número de pontos de controle, em relação à superfície e escala, para a correção geográfica e geométrica.

2) Elementos Mínimos para Elaboração de Mapas Temáticos:

Os mapas temáticos têm por objetivo a representação espacial precisa de informações relativas à vegetação, clima, fauna, geologia, geomorfologia, pedologia, uso da terra, impactos ambientais e outros.

Recomendações:

- a. Sempre que possível, utilizar material cartográfico de base executados na mesma escala;
- b. A escolha dos produtos de sensores remotos que serão usados na elaboração dos mapas temáticos e na atualização da base cartográfica de referência devem, pelo menos, apresentar datas recentes de registro, permitir ampla visualização da área e sem cobertura de nuvens e com resolução de pixel apropriada para a escala de interpretação, ou seja, possuir boa resolução temporal, espacial e espectral;
- c. Para o mapeamento de áreas que necessitam de maior detalhamento e precisão, escolher sensores com maiores resoluções.

3) Elementos Mínimos para o Cruzamento de Informações por Meio de Sistema de Informação Geográfica

O sistema de informação geográfica (SIG) tem por objetivo auxiliar na estruturação do banco de dados, a fim de facilitar o acesso, a manipulação, a atualização e a sobreposição de informações georreferenciadas, funcionando como ferramenta imprescindível ao zoneamento, planejamento, manejo e gestão da Unidade de Conservação (IBAMA, 2002, p. 133-134).

Nesses preceitos estabelecidos pelo Roteiro Metodológico do IBAMA (2002) e que foram adotados pelo Termo de Referência da Fundação Florestal (2010a) já é possível destacar algumas especificações técnicas importantes que devem ser levadas em consideração pelas equipes técnicas durante os seus levantamentos, como a compatibilidade entre a escala da base cartográfica com a escala dos mapeamentos, a possibilidade de ampliar o detalhamento dessas bases com o uso de receptores GNSS, a necessidade de se utilizar dados atualizados, a adoção de um sistema de projeção e datum e de uma escala de representação

comum a todos os temas, e a necessidade praticamente óbvia de se utilizar dos SIG durante todo o processo.

A seguir são descritos os principais objetivos dos três Módulos temáticos de diagnóstico e os respectivos submódulos que os compõem, sendo destacadas (sublinhadas) as principais análises de efetivo diagnóstico das Unidades de Conservação que devem ser realizadas por eles.

Módulo 2 - Meio Físico

O TdR estabelece como principais objetivos deste Módulo a caracterização do meio físico compreendendo principalmente dados sobre clima, recursos hídricos, geologia, geomorfologia, pedologia, a fim de subsidiar a compreensão da dinâmica superficial da área e a indicação das suas principais fragilidades e riscos. Para tanto, as informações disponíveis sobre o meio físico devem ser reunidas, sistematizadas e analisadas (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a, p.12). Este módulo é composto ainda pelos seguintes submódulos: submódulo 2a-Clima, submódulo 2b-Recursos Hídricos e submódulo 2c–Geomorfologia, Geologia e Pedologia.

Módulo 3 - Meio Biótico

Para este Módulo temático, o TdR estabelece como principais objetivos a reunião, sistematização e espacialização dos dados e informações sobre a vegetação e a fauna, para obter uma visão ampla da biodiversidade existente na UC, de tal maneira que contribua para o delineamento de diretrizes voltadas a sua conservação e ao estabelecimento de corredores de conectividade ecológica, capazes de subsidiar as propostas de zoneamento e as linhas de ação da UC (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a, p.20). Este módulo é composto ainda pelos seguintes submódulos: 3a-Vegetação e Flora e 3b-Fauna.

Módulo 4 - Meio Antrópico

O TdR estabelece que os principais objetivos deste Módulo deve ser o de caracterizar a influência do meio antrópico na UC, com base na reunião, sistematização e avaliação das informações disponíveis sobre as atividades humanas no interior da UC e no seu entorno, de maneira que possibilite a identificação dos principais vetores que exercem algum tipo de pressão aos objetivos de conservação da UC (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a, p.28). Este

módulo é composto pelos seguintes sub-módulos: 4a-Ocupação Antrópica; 4b-Patrimônio Histórico Cultural Material e Imaterial; 4c-Situação Fundiária; e 4d-Vetores de Pressão.

Esses são os principais objetivos encontrados no TdR para os três Módulos temáticos de diagnóstico. A seguir são descritos, de maneira sintetizada, os principais objetivos de cada um dos seus submódulos, da mesma maneira que são destacados os respectivos tipos de mapeamento necessários para atingir os seus objetivos (produtos cartográficos esperados).

Sub-módulo 2a - Clima

Os objetivos do submódulo “Clima” estabelecidos pelo TdR consistem na definição e caracterização dos fatores climáticos regionais e locais da UC, com a finalidade de indicar a dinâmica climática na qual ela está submetida. O TdR estabelece ainda que a metodologia empregada utilize, entre outros, dados de séries temporais; e os seus resultados devem ser capazes de subsidiar as tomadas de decisão, o zoneamento e o estabelecimento de programas de gestão (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a, p.12).

Os principais produtos cartográficos esperados para esse submódulo são:

- Mapa de localização das estações meteorológicas próximas ou dentro das UC;
- Mapa dos tipos e características climáticas da UC;
- Mapa das lacunas de conhecimento e da necessidade de novos levantamentos;

Sub-módulo 2b - Recursos Hídricos

Os objetivos estabelecidos pelo TdR para o submódulo “Recursos Hídricos” consistem na caracterização da inserção regional da UC em relação a(s) UGRHI(s) estadual(is) e, no âmbito local, na quantidade e qualidade de seus recursos hídricos, fragilidades existentes e potenciais, assim como os serviços ambientais de natureza hídrica que são prestados pela UC, tal como o abastecimento público por exemplo (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a, p.13).

Os principais produtos cartográficos esperados para esse submódulo são:

- Mapa de caracterização da rede de drenagem e das bacias e microbacias hidrográficas, em escala maior ou igual a 1:50.000;
- Mapa de localização dos postos fluviométricos existentes;
- Mapa de localização dos pontos de monitoramento da CETESB, se houver.

- Mapa de localização dos pontos críticos relacionados às atividades de agricultura, lançamento de esgotos, desmatamentos, entre outros;
- Mapa de localização dos pontos de captação de água para agricultura e consumo humano, realizando análises de potabilidade (quando pertinente);
- Mapa de localização dos pontos que estejam sendo instabilizados pelos recursos hídricos (erosão, escorregamentos, deslizamentos, assoreamentos, entre outros);
- Mapa de localização das feições de interesse para o uso público (cachoeiras, corredeiras, praias, represamentos, entre outros).

Sub-módulo 2c - Geologia, Geomorfologia e Pedologia

Os objetivos estabelecidos pelo TdR para o submódulo “Geologia, Geomorfologia e Pedologia” consistem na caracterização do meio físico, apresentando os conjuntos de formas de relevo ou compartimentos, em escala regional e local, relacionando em cada um a geologia, geomorfologia e pedologia. Caso sejam identificados ambientes potencialmente instáveis, estes deverão ser delimitados e ações de manejo deverão ser sugeridas (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a, p.14). .

Os principais produtos cartográficos esperados para esse submódulo são:

- Mapa geomorfológico de síntese em escala maior ou igual a 1:50.000, contendo legenda simplificada, que englobe os temas morfologias do terreno, e embasamento litológico e pedológico;
- Mapas das áreas consideradas como potencialmente instáveis, do ponto de vista do meio físico (Fragilidade e Riscos).

Sub-módulo 3a - Vegetação e Flora

Os objetivos estabelecidos pelo TdR para o submódulo “Vegetação e Flora” consistem na avaliação e interpretação da vegetação e da flora presente na UC, considerando suas interações com o meio físico e socioeconômico. Para tanto, o TdR determina ainda que deve ser realizado um levantamento de todas as pesquisas sobre vegetação realizadas até o momento na UC e em sua área de entorno e promover a construção de uma base de dados atualizada sobre as espécies vegetais já registradas, de tal maneira que permita subsidiar o planejamento da UC. A espacialização das espécies já registradas deve ser utilizada também

para a identificação de lacunas de conhecimento para que se possa determinar o esforço de amostragem necessário para a caracterização da vegetação (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a, p.20).

Os principais produtos cartográficos esperados para esse submódulo são:

- Mapa dos pontos de coleta de material botânico;
- Mapa das fitofisionomias em escala maior ou igual a 1:50.000, na UC e no seu entorno, integrando com os dados do meio físico.

Sub-módulo 3b - Fauna

Segundo o TdR, o submódulo “Fauna” envolve os seguintes grupos faunísticos: mamíferos, aves, herpetofauna (anfíbios e répteis) e peixes. Os seus objetivos consistem na avaliação e interpretação da fauna presente na UC e no seu entorno, pelo aspecto das interações que ela estabelece com o meio físico e natural. Assim, é fundamental o mapa de fitofisionomias da UC e do seu entorno somado a um levantamento de todas as pesquisas sobre fauna realizadas na região em que a UC está inserida. A espacialização das espécies já registradas deve permitir a identificação de lacunas de conhecimento para que se possa determinar o esforço de amostragem necessário para a caracterização da fauna da UC. Assim sendo, poder-se-á direcionar as análises para os levantamentos e caracterizações de habitats (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a, p.23-24).

Os principais produtos cartográficos esperados para esse submódulo são:

- Mapa da distribuição das espécies ameaçadas de extinção da UC e do seu entorno, com texto explicativo;
- Mapa das lacunas de conhecimento da biodiversidade;
- Mapa da distribuição do conhecimento gerado sobre vegetação e flora terrestre, fauna continental, cavernícola, costeira e marinha (quando couber) na UC e sua respectiva área de entorno sempre que possível, identificando as trilhas percorridas e/ou coordenadas geográficas;
- Mapa em escala maior ou igual a 1:50.000 contendo a hierarquia da riqueza total de espécies registradas na UC (biodiversidade) extrapolando para ambientes semelhantes (habitats) e localizando espécies notáveis para conservação;

- Mapas em escala maior ou igual a 1:50.000 das pressões observadas sobre a biodiversidade; recomendações para o zoneamento da UC e potenciais corredores ecológicos existentes entre fragmentos florestais da UC e indicação de áreas para conservação da fauna.

Sub-módulo 4a - Ocupação Antrópica

Os objetivos estabelecidos pelo TdR para o submódulo “Ocupação Antrópica” consistem na caracterização da ocupação humana na UC e no seu entorno e o delineamento de estratégias para o relacionamento com os diversos atores sociais envolvidos, com vistas à compatibilidade de atividades e a redução dos impactos ambientais negativos (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a, p.28).

O único produto cartográfico esperado para este submódulo consiste no:

- Mapa de uso da terra da UC e do seu entorno em escala superior ou igual a 1:50.000.

Sub-módulo 4b - Patrimônio Histórico Cultural Material e Imaterial

Os objetivos do submódulo “Patrimônio Histórico Cultural Material e Imaterial“, conforme estabelecido pelo TdR, consiste na identificação e classificação do patrimônio histórico-cultural material e imaterial da UC e no delineamento de estratégias para a sua conservação e valorização (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a, p.30).

Os produtos cartográficos esperados para esse submódulo são:

- Mapa em escala 1:50.000, contendo a localização dos bens e manifestações históricas, culturais e arqueológicas existentes na UC e entorno
- Mapa com sítios históricos, paleontológicos e/ou arqueológicos e manifestação cultural, quando possível, bem como áreas utilizadas para práticas místico-religiosas na UC.

Sub-módulo 4c - Situação Fundiária

Os objetivos estabelecidos pelo TdR para o submódulo “Situação Fundiária” consistem na consolidação e atualização das informações existentes sobre a situação fundiária

da UC e na elaboração de diretrizes para ação no âmbito do programa de manejo correspondente (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a, p.31-32).

O único produto cartográfico esperado para esse submódulo é o:

- Mapa Fundiário da UC e do seu entorno considerando as Propriedades Públicas (Terras devolutas, propriedades da Fazenda do Estado, Empresas Públicas, Fundações Públicas e outras áreas do Poder Público), as Áreas em Desapropriação (Direta ou Indireta), as Propriedades Particulares (com registro no cartório de imóveis), os Conflitos de documentação imobiliária (áreas litigiosas), e as Áreas que foram objeto de declarações expedidas pelo Instituto Florestal/Fundação Florestal, informando a sua localização e descrições cartográficas com relação aos limites físicos da UC.

Sub-módulo 4d - Vetores de Pressão

Para o submódulo “Vetores de Pressão”, o TdR estabelece como objetivos o levantamento e sistematização das informações que caracterizem os vetores de pressão sobre a região da UC, assim como o delineamento de estratégias para sua mitigação e controle (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a, p.33).

O único produto cartográfico esperado para esse submódulo é o:

- Mapa com os principais vetores de pressão, contendo suas características e o perfil dos envolvidos, sejam empresas, comunidades ou quaisquer tipos de infratores.

Esses são os mapeamentos que o Termo de Referência da Fundação Florestal (2010a) estabeleceu para a execução do Diagnóstico das UC do estado de SP. Analisando os objetivos e os respectivos produtos esperados para cada módulo e submódulo, pode-se constatar que os tipos de produtos cartográficos esperados para cada submódulo consistem principalmente no levantamento de dados temáticos de inventário das UC, considerando as definições conceituais estabelecidas para estes tipos de levantamentos, discutidos no Item 4.2.5, (mapas de inventário, mapas de avaliações ambientais e tomadas de decisão) Nesse sentido, foi possível identificar a demanda por ao menos 20 mapas temáticos diferentes de inventário, a saber:

- 1) Mapa de localização das estações meteorológicas da UC e do seu entorno;

- 2) Mapa dos tipos e características climáticas da UC e do seu entorno;
- 3) Mapa das lacunas de conhecimento e necessidade de novos levantamentos;
- 4) Mapa de caracterização da rede de drenagem e das bacias e microbacias hidrográficas da UC e do seu entorno;
- 5) Mapa dos postos fluviométricos existentes na UC e no seu entorno;
- 6) Mapa dos pontos de monitoramento da qualidade das águas da UC e do seu entorno;
- 7) Mapa de localização dos pontos críticos de lançamento de efluentes relacionados às atividades antrópicas;
- 8) Mapa de localização dos pontos de captação de água para agricultura e consumo humano;
- 9) Mapa de localização dos pontos de instabilidade dos recursos hídricos;
- 10) Mapa de localização das feições de interesse para o uso público (cachoeiras, corredeiras, praias, represamentos, entre outros);
- 11) Mapa geomorfológico da UC e do seu entorno;
- 12) Mapa dos pontos de coleta de material botânico;
- 13) Mapa das fitofisionomias presentes na UC e no seu entorno;
- 14) Mapa da distribuição das espécies ameaçadas de extinção da UC e do seu entorno;
- 15) Mapa das lacunas de conhecimento da biodiversidade;
- 16) Mapa da distribuição do conhecimento gerado sobre vegetação e flora terrestre, fauna continental;
- 17) Mapa de uso da terra da UC e do seu entorno;
- 18) Mapa de localização dos bens e manifestações históricas, culturais e arqueológicas existentes na UC e entorno
- 19) Mapa dos sítios históricos, paleontológicos e/ou arqueológicos e da manifestação cultural e místico-religiosas no interior da UC e no seu entorno.
- 20) Mapa Fundiário da UC e do seu entorno;

Por outro lado, os produtos cartográficos que são esperados para cada módulo, que se propõe a uma abordagem mais ampla de interlocução entre os diferentes submódulos, consistem em mapas temáticos de sínteses, que são gerados a partir da aplicação de procedimentos de análises espaciais e de modelos capazes de promover a interação entre os diferentes dados inventariados, e que podem ser entendidos, portanto, como sendo

constituídos, não por dados primários de inventário, mas como procedimentos de avaliações ambientais do efetivo “diagnóstico” das UC, sob as perspectivas do meio físico, biótico e antrópico.

Sendo assim, para a realização da revisão integrativa da literatura relativa às principais possibilidades de aplicação das técnicas de geoprocessamento, para o atendimento às demandas relacionadas aos mapeamentos de inventário dos Planos de Manejo de UC do estado de SP, foram selecionados os principais mapeamentos temáticos de inventário que são essenciais para a realização de tais avaliações de diagnóstico de cada Módulo temático (2, 3 e 4), conforme destacados (sublinhados) no texto, a saber: identificação das “fragilidades” e dos “riscos”, relacionados ao meio físico; da “conectividade ecológica” e da “biodiversidade” (riqueza de espécies), no meio biótico; e dos “vetores de pressão”, no caso do meio antrópico.

Dessa maneira, do universo total de 20 mapas de inventário identificados, foram selecionados apenas 4 (quatro) temas. Tal seleção se fez necessária devido à inviabilidade da realização de uma revisão integrada da literatura para todos os 20 temas de inventário identificados no Termo de Referência, dentro do prazo de desenvolvimento desta pesquisa.

No entanto, a seleção destes 4 temas não foi feita de maneira aleatória, foi utilizado como critério os temas que apresentam maior significância e aplicabilidade para a execução dos métodos e procedimentos de geoprocessamento que envolvem a realização das principais avaliações de diagnóstico demandadas (identificação das “fragilidades”, dos “riscos”, do “grau de conectividade de fragmentos florestais”, da “riqueza de espécies” e dos “vetores de pressão antrópicos”), conforme observado na própria literatura. Dessa maneira, de todos os 20 tipos de mapeamentos de inventário identificados, foram selecionados para revisão os seguintes Mapas:

- 1) Mapa geomorfológico;
- 2) Mapa dos tipos e características climáticas;
- 3) Mapa de fitofisionomias; e o
- 4) Mapa de uso da terra.

O “Mapa geomorfológico” foi selecionado devido ao fato de que o próprio Termo de Referência o define como um mapa de síntese dos componentes do meio físico (características litológicas, pedológicas e morfológicas do relevo), com exceção do Clima e dos Recursos Hídricos, que possuem um Submódulo próprio e diversos mapas temáticos de inventário

exclusivos para si. Dessa maneira, a caracterização e compartimentação geomorfológica são indispensáveis para a realização das avaliações ambientais de diagnóstico do meio físico, pois os seus atributos são necessários para a aplicação de modelos de análises de riscos (CROSTA; FRATTINI; 2003; DIETRICH; MONTGOMERY, 1998; VIEIRA, 2007) e de fragilidade (ROSS, 1994; CREPANNI et al. 2001), assim como nas caracterizações de habitats e nas estimativas de biodiversidade, sob a perspectiva da ecologia de paisagens (LANG; BLASCHKE, 2009; MCGARIGAL; MARKS, 1995; SCHLUTER e RICKLEFS, 1993; SALINAS; FERNANDES, 2001)

O “Mapa dos tipos e características climáticas”, por sua vez, foi selecionado devido ao fato dos tipos de dados derivados desse mapeamento também serem essenciais para a aplicação de modelos de análises de riscos e de fragilidades, necessárias às análises do meio físico; além da influência direta que os fatores climáticos exercem na distribuição da vegetação e das suas fitofisionomias (PONZONI; SHIMABUKURO, 2009; STOUTJESDIJK; BARKMAN, 1992), o que os tornam indispensáveis também para a caracterização de habitats e para as análises de estimativas de biodiversidade e de conectividade de fragmentos, necessárias para o diagnóstico do meio biótico (LANG; BLASCHKE, 2009; MCGARIGAL; MARKS, 1995; SALINAS; FERNANDES, 2001; SCHLUTER; RICKLEFS, 1993; WILSON; PETER, 1988).

O “Mapa de fitofisionomias” foi selecionado por consistir no principal indicador para a identificação de habitats de ocorrência de espécies da fauna e a consequente estimativa de biodiversidade, além de constituir no principal dado de entrada dos modelos de avaliação de conectividade de fragmentos florestais (LANG; BLASCHKE, 2009; MCGARIGAL; MARKS, 1995; SALINAS; FERNANDES, 2001; SCHLUTER; RICKLEFS, 1993; WILSON; PETER, 1988).

Por último, o “Mapa de uso da terra” foi selecionado por ele consistir, por si só, em uma representação da distribuição espacial dos padrões de apropriação social e econômica do território, e por ser um dos principais dados de entrada necessários à identificação dos vetores de pressão antrópicos e nas modelagens de cenários prospectivos (LANG; BLASCHKE, 2009). Segundo Anderson J. et al. (1979) os mapeamentos de uso da terra são utilizados para classificação de potencialidades do solo e vulnerabilidade a certas práticas de manejo. Para Ross (1994) esses mapas revelam um retrato instantâneo da manifestação dinâmica das

relações socioeconômicas de um território, o que os tornam especialmente úteis às atividades de planejamento e de ordenamento territorial.

Apesar de não ter sido selecionado para a realização da revisão integrativa, foram discutidas algumas considerações sobre as técnicas de geoprocessamento que podem ser empregadas para a produção do Mapa de caracterização da rede de drenagem e das bacias e microbacias hidrográficas no subitem 7.2.1, devido principalmente, a sua utilidade para a execução do Mapa geomorfológico (CHRISTOFOLETTI, 1969, 1974, 1979; DIKAU, 1990; RAO et al., 2009; ROSS, 1992) e para a realização das análises de riscos e de fragilidade com o uso de modelos hidrológicos (CROSTA; FRATTINI, 2003; DIETRICH; MONTGOMERY, 1998; VIEIRA, 2007). Desse Modo, a seguir são discutidas e apresentadas as principais características exigidas pelo TdR para a execução de cada um dos quatro mapas de inventário selecionados.

Em relação às características e peculiaridades que devem ser consideradas para a produção de cada um desses temas, pode-se dizer que, de maneira geral, foram encontradas poucas informações dessa natureza no TdR. A única presente em todos os casos foi a indicação da escala mínima para sua realização, o que, para todos os casos selecionados, foi indicada a escala de 1:50.000.

Apesar de parecer um aspecto isolado, relacionado apenas a uma formalidade da representação cartográfica, a indicação da escala de representação mínima acaba determinando também outras características específicas para a confecção dos diferentes mapas de inventário e para a realização das avaliações ambientais. Isso ocorre devido à existência de uma relação intrínseca entre as escalas de representação e de análise de cada um dos temas, o que acaba por determinar o seu nível taxonômico de abordagem e, conseqüentemente, as opções e os padrões de legenda; como por exemplo: uma classificação das formas do relevo para a sua compartimentação geomorfológica deve-se atentar a qual nível taxonômico de análise a sua escala de representação se enquadra. Para tanto, é necessário definir também quais as características, as feições, e os tipos de objetos e/ou fenômenos que devem ser classificados, distinguidos e compartimentados (legendas); o que acaba restringindo também os tipos de dados de entrada que podem ser utilizados nas análises, assim como as opções técnicas que podem ser empregadas para a classificação desses dados.

Dessa maneira, a simples determinação da escala mínima de abordagem acaba repercutindo em uma série de outros aspectos que devem ser obrigatoriamente observados.

Sendo assim, para a realização das revisões sobre cada um dos temas selecionados, fez-se necessária a compreensão de como se dão essas relações (entre escalas, taxonomias, padrões de legenda, tipos de dados necessários e possibilidades técnico-metodológicas atuais), e a posterior incorporação dessas características no processo de seleção das publicações e de redação de sua revisão integrada.

No entanto, foram também encontradas algumas exigências específicas para determinados temas, conforme constam nos itens referentes às “atividades” que devem ser realizadas por cada módulo e submódulo no TdR.

Desse modo, para o Mapa geomorfológico (Mapa selecionado nº 1) o TdR determina que sejam geradas e analisadas as características morfométricas do relevo em escala mínima de 1:50.000, devendo ainda ser identificadas as características geológicas e pedológicas do relevo local, incorporando esses elementos à legenda do mapa de maneira integrada. Além disso, o TdR determina que o mapa geomorfológico deve consistir-se em uma síntese da interação entre esses elementos e deve ser capaz de fornecer subsídios para a identificação de áreas potencialmente frágeis sob o ponto de vista do Meio Físico (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a, p.15).

Para o Mapa de tipos e características climáticas (Mapa de inventário selecionado nº 2) foram identificadas as seguintes exigências: quando existir estação meteorológica no interior da UC, o clima deve ser caracterizado nas escalas locais ou topoclimáticas, a partir do registro dos dados coletados, ainda que não formem séries históricas, comparando-os com os dados das estações meteorológicas mais próximas. Na falta de dados para tal caracterização, poderão ser instaladas estações móveis para a realização das análises. Tais caracterizações devem consistir em documentos cartográficos que sintetizam os padrões de distribuição dos principais elementos climáticos locais (pelo menos das variações de temperatura e do regime de precipitações), indicando suas relações com os principais fatores que influenciam na definição desses padrões (características fisiográficas do relevo, padrões de uso da terra e de cobertura vegetal natural, entre outros) (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a, p.12-13).

Para o Mapa de Fitofisionomias (Mapa selecionado nº 3) o TdR determina que os diferentes padrões e tipos fitofisionômicos devem ser classificados conforme a metodologia

proposta pelo IBGE (1992), devendo apresentar a correlação desta com as classificações regionais até a escala local. Tal classificação deve ainda contemplar os diferentes estágios de sucessão e de conservação da vegetação. Além disso, o TdR ainda determina que a caracterização das fitofisionomias deve conter o cálculo de áreas, em hectares, e os percentuais de cobertura, de tal maneira que permita a identificação dos tipos (espécies e formações) que possam ser consideradas como mais relevantes (mais abundantes em área ou de maior interesse conservacionista), bem como o grau de conservação e de fragmentação dos seus possíveis remanescentes. Tais caracterizações devem ser apoiadas por levantamentos de campo, abordando as espécies mais representativas de cada formação fitofisionômica, assim como as espécies raras, bioindicadoras, endêmicas e de importância econômica. Dessa maneira, em posse da espacialização desses estudos, devem ser definidos os sítios para coleta de dados primários de amostragem e registro de espécies, sempre priorizando as lacunas de conhecimento (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a, p. 21-23).

Para o Mapa de uso da terra (Mapa selecionado nº 4), o TdR determina que sejam Identificadas, sistematizadas e analisadas as principais atividades econômicas agrícolas, pecuárias, florestais, minerais, industriais, pesqueiras, urbanas e outras desenvolvidas, de maneira que seja possível subsidiar a identificação de tendências na evolução do uso da terra na área da UC e no seu entorno, salientando os problemas ambientais decorrentes, existentes ou potenciais, relacionados ao desenvolvimento dessas atividades. Devem ser identificados ainda os usos e os consequentes impactos de herbicidas, pesticidas, metais pesados, fertilizantes, derivados de petróleo, esgoto e de resíduos sólidos que possam vir a afetar direta ou indiretamente a UC ou o seu entorno (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a, p. 29). Dessa maneira, o TdR pressupõe que seja possível avaliar a ocupação antrópica na UC e no seu entorno, de uma maneira tal que possibilite a proposição de medidas mitigatórias sobre os principais conflitos e pressões existentes no seu território (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a, p. 29).

Em síntese, esses são os principais tipos de mapas e avaliações ambientais que o TdR estabelece como sendo necessários à execução de Planos de Manejo de Unidades de Conservação do estado de São Paulo. Como já mencionado anteriormente, a identificação desses temas e das suas respectivas características e peculiaridades foi fundamental para a execução das etapas seguintes da pesquisa, tendo em vista que foram elas que serviram de base para o estabelecimento dos parâmetros de busca e dos critérios de seleção das

publicações técnico-científicas utilizadas na construção das revisões integrativas da literatura relacionadas aos mesmos temas, cujos resultados se encontram descritos no Item seguinte (Item 7.2), e nos seus respectivos Subitens.

É importante frisar, contudo, que a constatação da pequena quantidade de recomendações de caráter exclusivamente teórico-metodológicos e técnicos nesse documento (Termo de Referência), ratificam as constatações expostas por Fidalgo (2003), de que, apesar do estabelecimento desses roteiros metodológicos (TdR e Roteiros Metodológicos do IBAMA), esses documentos ainda carecem de definições claras e formalizadas acerca das bases teóricas, metodologias e técnicas acerca dos procedimentos que podem ou que devem ser adotados para a realização dos mapeamentos e das análises socioambientais necessárias. O que, conforme tem sido observado por diversos outros autores, brasileiros e estrangeiros, tem comprometido a capacidade de padronização e sistematização metodológica desses instrumentos de planejamento (CASTILHO-da-COSTA; XAVIER-da-SILVA, 2004; LANG; BLASCHKE, 2009; SANTOS, 2009; STROBL, 1992).

Tais constatações, portanto, valorizam ainda mais os objetivos dessa pesquisa, pois demonstra que ela pode contribuir, ao menos em parte, para o preenchimento destas lacunas, pelo menos no que diz respeito às possibilidades metodológicas de aplicação das técnicas de geoprocessamento nos mapeamentos e nas análises selecionadas para serem objetos de Revisão da Literatura. Podendo, dessa maneira, contribuir também para maior aproveitamento dos potenciais, atualmente oferecidos por essas técnicas nos Planos de Manejo de Unidades de Conservação a serem futuramente elaborados.

7.2. Opções técnicas de geoprocessamento que podem ser aplicadas nos mapeamentos de inventário selecionados

Neste Item se encontram revisadas e discutidas opções técnicas mais eficientes de geoprocessamento que podem ser aplicadas para a produção dos mapas temáticos de inventário dos Planos de Manejo de UC do estado de SP, com base nas exigências

estabelecidas pelo TdR da Fundação Florestal (2010a) e sob a perspectiva da revisão integrativa da literatura.

7.2.1. Mapa Geomorfológico

Conforme destacado no item 7.1, as principais características indicadas pelo TdR, para o Mapeamento Geomorfológico nos Planos de Manejo, é que este deve ser produzido na escala mínima de 1:50.000, representando os diferentes compartimentos do relevo presentes nas UC com base nas suas características morfométricas, pedológicas e litológicas (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a, p.15).

No entanto, para a realização da revisão da literatura relacionada às atuais possibilidades oferecidas pelas técnicas de geoprocessamento, que podem ser utilizadas para o atendimento a estas indicações, fez-se necessário a realização de um resgate conceitual dos princípios da cartografia geomorfológica internacionalmente reconhecidos, dos padrões de legenda passíveis de serem utilizados, e do nível taxonômico no qual a escala indicada se enquadra. Posteriormente, foram abordados os tipos de dados que podem ser utilizados, as técnicas envolvidas no tratamento desses dados e os diferentes métodos de classificação que podem ser aplicados na integração de dados e na consequente compartimentação do relevo.

Segundo a Subcomissão de Cartografia Geomorfológica da União Geográfica Internacional (UGI), a cartografização ou o mapeamento geomorfológico deve comportar quatro tipos de dados: morfométricos, morfográficos, morfogenéticos e morfocronológicos (TRICART, 1965).

Nesse mesmo sentido, Fairbridge (1968) observa que durante as décadas de 1950 e 1960 a geomorfologia tornou-se a fisiografia analítica da superfície terrestre, fazendo com que a representação geomorfológica se desenvolvesse em torno de cinco conceitos fundamentais:

- 1) Morfografia: descrição qualitativa do relevo em uma perspectiva descritiva;
- 2) Morfometria: caracterização do relevo levando em consideração variáveis quantitativas (altitude, declividade, amplitude, direção, curvatura, densidade etc.);

- 3) Morfogênese: remissão à origem e aos agentes de formação do relevo, identificando os processos de formação (endógenos e exógenos);
- 4) Morfocronologia: representação cronológica do relevo por idade absoluta ou relativa e os processos relacionados à sua formação;
- 5) Morfodinâmica: representação dos processos ativos atuantes na forma do relevo.

No entanto, diversos autores têm destacado a dificuldade em se alcançar esses objetivos (GUSTAVSSON, 2005; GUSTAVSSON et al, 2006), devido ao fato dessa abordagem envolver uma grande quantidade de dados a ser mapeada e a necessidade de manter, nos mapas geomorfológicos, uma legenda suficientemente legível, o que tem forçado diferentes países a adotar legendas que, sob a influência das diferentes condições ambientais e escolas acadêmicas, não consideram suficientemente, ou mesmo ignoram, alguns desses aspectos (DEMEK et al., 1972; DEMEK; EMBLETON, 1978; GILEWSKA, 1967; GUSTAVSSON, 2005; SALOMÉ et al., 1982). Por exemplo, aspectos da litologia não estão presentes em muitos mapas de origem polonesa (KLIMASZEWSKI, 1982), enquanto as variações litológicas consistem em características fundamentais nas cartografias geomorfológicas francesa e italiana (BRANCACCIO et al., 1994; JOLY, 1977; JOURNAUX, 1975; PANIZZA, 1988; TRICART, 1965, 1972); ao mesmo tempo em que a escola geomorfológica britânica realiza a classificação das formas do relevo por meio de legendas que representam padrões lineares de suas discontinuidades (BRUNSDEN et al., 1975; COOKE; DOORNKAMP, 1990; ROSE; SMITH, 2008; SAVIGEAR, 1965); contrastando com legendas propostas por Verstappen e Van Zuidam (1968), Verstappen, (1970) e Van Zuidam (1982) representam os limites entre as formas através de linhas de contorno, enquanto as unidades geomórficas são representadas por manchas (polígonos) correspondentes a regiões geneticamente homogêneas.

Segundo Gustavsson et al. (2006), algumas legendas são de difícil leitura e compreensão, ao passo que outras são extremamente simples e com informações limitadas. Resumindo, os sistemas “tradicionais”, baseados em símbolos adotados em diferentes países, muitas vezes não são comparáveis entre si e são incapazes de fornecer uma representação completa da complexidade da paisagem local (características e processos de evolução) em diferentes escalas e são, portanto, insuficientes para satisfazer todas as necessidades práticas da sociedade.

Por outro lado, alguns dos modelos de mapeamento passíveis de serem realizados com o uso de Sistemas de Informações Geográficas são facilmente legíveis e aplicáveis a estudos de paisagem de caráter multidisciplinar no nível regional (MARK; SMITH, 2004), e são cada vez mais requeridos pelos administradores e tomadores de decisão em diferentes setores da gestão territorial, como na avaliação e no zoneamento para mitigação de riscos, nos planos de conservação, nos inventários ambientais, nos mapeamentos de solo, hidrologia, ecologia de paisagens, engenharia ambiental, florestal, zoneamento agrícola etc.

Segundo Gustavsson (2005) e Gustavsson et al. (2006), para cumprir esses requisitos demandados pelos processos de planejamento territorial, os mapas geomorfológicos devem representar, tão precisamente quanto possível, as propriedades espaciais do relevo, reduzindo o uso de símbolos em favor de elementos geométricos corretamente delimitados.

Tricart (1965), ao tratar da concepção e dos princípios de realização da Carta Geomorfológica, ressalta as diferentes categorias de fenômenos representados segundo a escala adotada. Como exemplo, as cartas em pequena escala, como 1:1.000.000 e 1:500.000, que se orientam essencialmente para os fenômenos morfoestruturais, mostrando as anticlinais resultantes de dobramentos, seus *monts* ou *combes*, ou ainda os *horsts* e os *grabens* de um processo de falhamento. Já as cartas em grande escala, como 1:5.000, 1:10.000 e 1:25.000, são capazes de registrar fenômenos ou formas menores, com algumas dezenas de metros de comprimento, compreendendo por exemplo os lóbulos de solifluxão, os campos de lapies, as voçorocas, dentre outras formas específicas. Portanto, a escala da representação é quem define os elementos e o grau de complexidade do fenômeno observado (CASSETI, 2005).

No Brasil, destaca-se a proposta de hierarquização taxonômica do relevo de Ross (1992) que relaciona a escala de análise adotada com as características do relevo que devem ser identificadas e classificadas. Segundo o autor, os mapeamentos geomorfológicos em escalas grandes (de detalhe), ou seja, maiores ou iguais a 1:50.000, devem se ater às características identificáveis no 4º, 5º e 6º táxons, correspondes aos tipos de formas semelhantes de relevo de maneira individualizada, aos tipos e formas de vertentes (côncavo, convexo e retilíneo) e as formas de processos atuais (ravinas, voçorocas, cicatrizes de deslizamentos etc.), podendo se limitar a um ou outro táxon dependendo da escala.

Segundo o IBGE (2009, p. 116) as técnicas de geoprocessamento, ou geotecnologias, no mapeamento geomorfológico:

[...] além da significativa contribuição às atividades ligadas à área de mapeamento, seja na classificação dos domínios nos aspectos morfoestruturais do relevo, ou na sua subdivisão em regiões e unidades geomorfológicas de acordo com o seu contexto evolutivo, as geotecnologias também oferecem inúmeras vantagens a estudos relacionados à morfogênese. Quando associadas às análises estratigráficas, e à utilização de imagens tridimensionais das feições e dos depósitos, por exemplo, subsidiam os estudos de evolução integrada das vertentes e dos sistemas de drenagem durante o Quaternário. Os ângulos das vertentes podem ser estimados e classificados, assim como a hipsometria também pode ser obtida com a utilização destes recursos, em que o relevo relativo pode ser determinado com razoável detalhamento.

Florenzano (2008) especifica que o uso das técnicas de geoprocessamento no mapeamento geomorfológico em escalas médias e grandes, como os demandados pelos Planos de Manejo de UC, destaca-se principalmente na elaboração de mapas morfológicos através da manipulação de Modelos digitais de Elevação com o uso de Sistemas de Informações Geográficas. O mapeamento morfológico consiste em uma das etapas mais importantes do mapeamento geomorfológico, incorporando aspectos da morfografia, ou seja, do mapeamento qualitativo das formas que compõem um relevo; e da morfometria, ou seja, do mapeamento das características quantitativas do relevo (FLORENZANO, 2008; NEPOMUCENO, 2012b; NEPOMUCENO; LUCHIARI, 2014).

Tais mapeamentos são tradicionalmente realizados a partir da utilização de técnicas de fotointerpretação estereoscópica, sobre fotografias aéreas verticais, combinadas com técnicas de obtenção de variáveis morfométricas por interpretação analógica de cartas topográficas. No entanto, o crescente avanço das técnicas de manipulação de dados topográficos por meio dos Sistemas de Informações Geográficas vem disponibilizando novos recursos para a obtenção de variáveis morfométricas, o que tem ampliado a acurácia e a eficiência desses mapeamentos, bem como as suas possibilidades de aplicação (BISHOP et al., 2012; NEPOMUCENO; LUCHIARI, 2014).

Os MDE são obtidos principalmente a partir de três formas:

- 1) Através de aparelhos restituidores, que possibilitam a extração de dados tridimensionais diretamente dos pares estereoscópicos de fotografias aéreas verticais ou de imagens de sensores orbitais que contêm essa função, como o ASTER (HIRANO et al. 2003), o IKONOS (VASSILOPOULOU et al., 2002), o

SPOT (AL-ROUSAN; PETRIE, 1998; WELCH et al., 1990) e o ALOS (FUTAMURA et al., 2002);

- 2) Através da interpolação de informações altimétricas (curvas de nível e pontos cotados) provenientes de cartas topográficas pré-existentes (HUTCHINSON, 1998; NEPOMUCENO; LUCHIARI, 2014);
- 3) A partir de imagens de sensores ativos do tipo RADAR, como o RADARSAT (PARASHAR et al., 1993; TOUTIN; GRAY 2000), o SRTM (VALERIANO; ALBUQUERQUE, 2010), e o LIDAR (HODGSON et al., 2003; WEHR e LOHR, 1999; WHITE; WANG, 2003).

Os MDE provenientes dos sensores RADARSAT e SRTM permitem que sejam usados apenas em escalas médias e pequenas (iguais ou superiores a 1:100.000) em função do próprio grau de detalhamento oferecido por esses sistemas (PARASHAR, 1993; TOUTIN; GRAY 2000; VALERIANO, 2008).

Para a obtenção de um MDE em escalas médias a grandes, ou seja, maiores ou iguais a 1:50.000, como os demandados para o mapeamento geomorfológico nos Planos de Manejo de UC (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a), podem ser usados os dados provenientes das seguintes fontes:

- 1) Pares estéreos de fotografias aéreas ou de sensores orbitais com alta resolução espacial, tanto horizontal quanto vertical, como as fotografias aéreas obtidas em voos baixos e as imagens orbitais provenientes dos sensores ALOS, SPOT e Ikonos, por exemplo (AL-ROUSAN; PETRIE, 1998; FUTAMURA et al., 2002; HIRANO et al. 2003; VASSILOPOULOU et al., 2002; WELCH, 1990).
- 2) Os provenientes de sensores scanners a laser aerotransportados, do tipo LIDAR (HODGSON et al., 2003; WHITE; WANG, 2003);
- 3) E por meio da interpolação de dados altimétricos provenientes da digitalização e vetorização de cartas topográficas em médias e grandes escalas (FLORENZANO, 2008; HUTCHINSON, 1998; NEPOMUCENO; LUCHIARI, 2014).

Nesse sentido, alguns autores têm ressaltado a utilidade dos pares estereoscópicos de imagens captadas por sensores orbitais como alternativas para a obtenção de MDE em países

em desenvolvimento, ou seja, que possuem grandes lacunas de levantamentos topográficos em escalas médias e grandes (TOUTIN; GRAY, 2000), como a encontrada na maior parte do território brasileiro (EMPLASA, 2011).

No entanto, o estado de São Paulo é a Unidade da Federação que possui a maior concentração de levantamentos topográficos do país, possuindo levantamentos sistemáticos desde a escala 1:50.000, provenientes dos levantamentos do IBGE executados durante as décadas de 1970 e 1980 e que cobrem todo o território paulista, até a escala 1:10.000, provenientes dos levantamentos executados pelo Instituto Geográfico e Cartográfico (IGC) do estado de São Paulo, durante as décadas de 1970 e 1980 e que cobrem uma parte significativa do seu território.

Nessa mesma perspectiva, o Manual Técnico de Pedologia do IBGE (2007, p. 242) considera que:

[...] para servir a levantamentos mais generalizados, costuma-se confeccionar a base cartográfica, diretamente a partir das cartas topográficas existentes. Para os levantamentos de maior detalhe, cujos mapas ou cartas são confeccionados em escalas grandes, maiores que 1:25 000, e onde não se dispõe de informações em nível compatível com as mesmas, via de regra, as bases são confeccionadas através de restituições fotográficas, ou a partir de levantamentos topográficos elaborados para este fim.

Dessa maneira, portanto, os levantamentos em escalas de semi-detulhe, ou seja, entre 1:50.000 e 1:25.000, como os demandados pelos Planos de Manejo de UC do estado, o uso de interpoladores de dados altimétricos com SIG poderiam corresponder à necessidade de geração de MDE detalhados. Deve ser observado, contudo, que são dados desatualizados que necessitariam da inclusão de novos pontos de controle para a sua atualização, o próprio IBGE (2007, p. 242) reconhece isso, a observar que:

[...] as cartas do mapeamento topográfico sistemático do território brasileiro, geralmente constituem fonte de espacialização das informações. São apresentadas em escalas entre 1:250 000 e 1:25 000 e normatizadas pelo IBGE juntamente com a Diretoria do Serviço Geográfico do Exército - DSG. Deve-se levar em consideração que embora na sua grande maioria tenham sido obtidas por processos cartográficos que lhes facultam boa precisão para a escala, nos dias atuais boa parte delas apresenta considerável grau de desatualização, em função do tempo decorrido desde sua elaboração.

Entretanto, merece ser destacado que o estado de São Paulo conta atualmente com uma base atualizada de MDE, com cobertura total do seu território, e com resolução espacial horizontal de um metro e acurácia vertical compatível até a escala de 1:25.000. Este MDE foi

gerado a partir da restituição de aerofotogramétrica de fotografias aéreas obtidas durante os anos de 2010 e 2011, no âmbito do projeto denominado “Mapeia São Paulo” (EMPLASA, 2011).

Entre os principais métodos de interpolação de dados altimétricos que podem ser utilizados tanto para a geração quanto para o refinamento de MDE, mais difundidos na comunidade científica e disponíveis na maioria dos SIG, destacam-se o inverso do quadrado da distância (IDW), a krigagem, a curvatura mínima (*spline*), a triangulação de delaunay (TIN) e o método ANUDEM. Sendo que os três primeiros apresentam a desvantagem de só permitir a inserção de pontos como dados de entrada, sendo, portanto, necessária a conversão prévia das curvas de nível (topologicamente representadas nos SIG sob a forma de linhas) para o formato de pontos, fazendo com que cada nó (ponto comum a dos segmentos da linha) seja convertido em um ponto cotado; enquanto, por outro lado, tanto o método de triangulação de delaunay quanto o ANUDEM, permitem a realização da interpolação diretamente sobre os dados de pontos cotados e curvas de nível conjuntamente, sendo que o último caso permite até a utilização de dados de rede de drenagem (hidrografia) como dados de entrada (NOGUEIRA; AMARAL, 2009).

É importante salientar ainda que as técnicas, os métodos e procedimentos apresentados e discutidos neste subitem podem ser aplicados sobre qualquer tipo de modelo digital de elevação, seja ele proveniente de pares estéreos de imagens orbitais, de pares estéreos de fotografias aéreas, de sensores orbitais do tipo radar, de sensores aerotransportados do tipo LIDAR ou da digitalização de cartas topográficas, pois os métodos de interpolação podem ser aplicados inclusive para o refinamento destes dados, a partir da inclusão de novas cotas altimétricas mediante o uso de receptores DGPS (GPS Diferencial) ou GPS geodésico (BARROS et al., 2005; MARÍN et al., 2005, 2008).

Um dos métodos de interpolação para obtenção de MDE mais clássicos é o inverso do quadrado da distância. Conforme Weber e Englund (1994), no método de interpolação do inverso do quadrado da distância, os dados pontuais são ponderados durante a interpolação, de tal forma que a influência de um determinado dado pontual em relação a outro diminui com o aumento da distância. Quanto à qualidade do MDE gerado por este procedimento, os autores relatam que, normalmente, ele se comporta como um interpolador exato sendo que uma das suas principais características é a geração de “olhos de touro”, um efeito que corresponde à geração de círculos concêntricos um pouco deformados.

Outro método de interpolação clássico é o por krigagem. Segundo Goovaerts (2000), a krigagem é um processo geoestatístico definido como uma estimativa de um atributo através da ponderação de todas as amostras disponíveis, na qual os pesos ponderados são obtidos por restrição, em que o seu somatório seja igual a 1 e a variância estimada seja mínima.

O método de interpolação curvatura mínima, ou *spline*, gera uma superfície mais suave possível e nem sempre seus dados são tomados como verdadeira grandeza. Por isso, este método não é considerado um interpolador exato (MITASOVA; MITAS, 1993).

A triangulação de delaunay (TIN) é um método de interpolação exata, muito eficiente para expressar relevos acentuados e baseia-se em um algoritmo que cria triângulos através da ligação dos pontos. Cada triângulo define um plano e o valor do atributo de determinado ponto no interior do triângulo é obtido através de cálculos simples. O critério utilizado na triangulação de delaunay é o de maximização dos ângulos mínimos de cada triângulo, evitando-se a criação de triângulos afinados, ou seja, triângulos com ângulos internos muito agudos (FELGUEIRAS, 2001).

A principal desvantagem deste método de interpolação consiste no ocultamento das variações de curvaturas do relevo (convexidades e concavidades) de maneira contínua, ou seja: por ter como produto um MDE estruturado em facetas de triângulos, as curvaturas são indicadas apenas nas arestas destes triângulos e não em manchas (polígonos) que representam as variações contínuas das curvaturas (NEPOMUCENO; LUCHIARI, 2014).

Desenvolvido por Hutchinson (1998) o método de interpolação ANUDEM foi desenvolvido com o objetivo específico de converter dados vetoriais topográficos em modelos digitais de elevação hidrologicamente consistentes. Ele se utiliza da eficiência computacional da interpolação local, como ponderação do inverso do quadrado da distância, sem perder a continuidade superficial dos métodos globais de interpolação, como *krigagem* e *spline*. O êxito dessa técnica se dá por permitir que dados, como curvas de níveis, pontos cotados, lagos, cursos fluviais e limites de bacias, possam ser utilizados durante a interpolação, diminuindo os possíveis erros que venha a ser acometidos pelo método. Estudos recentes de comparação de interpoladores têm apontado este método como meio de obtenção de MDE mais consistentes e fidedignos, principalmente na aplicação de procedimentos de modelagens hidrológicas (LOPES et al., 2006; NOGUEIRA; AMARAL, 2009).

Barros et al. (2005), observam a possibilidade de realização de correções, atualizações ou refinamento desses modelos a partir da inserção de novos pontos de controle nos procedimentos de interpolação, através da obtenção de pontos de controle em levantamentos realizados diretamente no campo com o uso de receptores DGPS. Marín et al. (2005), por exemplo, utilizando cotas obtidas com DGPS, verificaram erros verticais máximos inferiores a 1 (um) metro, o que estaria compatível para o refinamento de MDE até a escala 1:5.000. Em outro estudo, Marín et al. (2008), compararam dados obtidos com DGPS e estação total em 12 pontos de controle. Os autores observaram um erro máximo de 30 cm entre os dados levantados, o que demonstra a viabilidade desses procedimentos para o refinamento dos MDE, inclusive em levantamentos topográficos em grandes escalas.

A obtenção de MDE no mapeamento geomorfológico tem a função primordial de fornecer atributos morfométricos da área objeto de pesquisa. As principais características morfométricas do relevo passíveis de serem extraídas através da manipulação de Modelos Digitais do Terreno em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas consistem no sombreamento induzidos do relevo, na hipsometria, na clinografia (declives e aclives), na orientação de vertentes e na identificação das curvaturas em planta e em perfil (FLORENZANO, 2008; LOPES et al., 2006; NOGUEIRA; AMARAL, 2009).

O sombreamento induzido do relevo ou “relevo sombreado” (*hillshade*) consiste na simulação em 3D (tridimensional) do MDE a partir da atribuição do azimuth e do ângulo de inclinação solar e de um valor de exagero vertical, que são estabelecidos arbitrariamente pelo usuário de acordo com a sua finalidade ou aspecto visual desejado. O resultado é um dado matricial representado em tons de cinza que simula o sombreamento ocasionado pelas variações topográficas do relevo em relação a uma determinada inclinação e azimuth solar, sendo representado por tons mais claros nas superfícies com maior exposição à radiação solar e em tons mais escuros às superfícies menos expostas (Figura 10). São utilizados tanto para orientar uma interpretação prévia das características morfológicas da área de pesquisa, através de procedimentos de interpretação visual, quanto para melhorar a acuidade visual dos objetos a serem representados, utilizando-o como plano de fundo nos mapas temáticos (HENGL; REUTER, 2009).

FIGURA 10 – Geração do Sombreamento Induzido do Relevo

Fonte: Hengl e Reuter (2009).

A hipsometria consiste em um procedimento de reclassificação do MDE, segmentando-o em intervalos altimétricos equivalentes que melhor representem as variações altitudinais de uma determinada área (Figura 11). São amplamente utilizados no mapeamento geomorfológico, pois fornecem indicações das cotas limites de determinados compartimentos ou características do relevo, como planícies fluviais, interflúvios, níveis de base, entre outros; destaca-se também o seu uso em análises climáticas a partir da abordagem topoclimática (HENGL; REUTER, 2009).

FIGURA 11 – Exemplo de Classificação Hipsométrica do Relevo

Fonte: Hengl e Reuter (2009).

A clinografia é dada pela inclinação da superfície terrestre em relação a um eixo horizontal (De BIASI, 1992). O cálculo relaciona a distância vertical (desnível altimétrico) e a distância horizontal (plana) entre dois pontos, tendo os seus resultados expressos em graus ou

em porcentagem; o que pode ser obtido de forma analógica, através do cálculo das distâncias entre as curvas de nível (e pontos cotados) de uma carta topográfica (De BIASI, 1970), ou por meio da interpolação e processamento desses dados em ambientes computacionais (HENGL e REUTER, 2009).

Nos MDE, a relação trigonométrica é efetuada através da aplicação de janelas móveis, geralmente de 3x3, que exploram as relações de vizinhança das células (pixels) que compõem o MDE (FLORENZANO, 2008; HENGL e REUTER, 2009), efetuando o cálculo das diferenças de altitude e de distância horizontal de cada pixel em relação aos seus oito-vizinhos (Figura 12), o que fornece informações de forma contínua acerca das variações de inclinação do terreno para cada um dos pixels que compõem o MDE (Figura 13).

FIGURA 12 – Varredura de janelas móveis (3x3) para o cálculo de variações Clinográficas no MDE

Fonte: Hengl e Reuter (2009).

FIGURA 13 – Cálculo das Variações Clinográficas do Relevo

Fonte: Hengl e Reuter (2009).

Devido à sua estreita associação com processos de transporte gravitacional (escoamento, erosão, deslizamento e inundações), a declividade do terreno é uma variável básica para a segmentação de áreas em praticamente todos os procedimentos de planejamento territorial (HENGL; REUTER, 2009; VALERIANO, 2008). Podemos dizer que todos os métodos de avaliação de terras ou planejamento conservacionista, baseados em modelagem numérica ou em decisões lógicas, lidam com a variável declividade. Além dessas aplicações, também figura entre as variáveis de evidente aplicação na interpretação geomorfológica.

A orientação de vertentes (também chamada exposição ou direção) é definida como o ângulo azimutal correspondente à maior inclinação do terreno, no sentido descendente. É expressa em graus, de 0 a 360, no entanto é comum a segmentação do resultado em intervalos azimutais, geralmente oito (N, NE, E, SE, S, SO, O e NO), correspondentes à orientação das vertentes dentro desses intervalos (Figura 14). Em campo, é determinada pela leitura da bússola na visada da direção sumida do escoamento. Em mapas topográficos, a orientação é dada pela direção transversal à isolinha local e no sentido descendente (VALERIANO, 2008).

FIGURA 14 – Exemplo de Mapeamento de Orientação de Vertentes

Fonte: Hengl e Reuter (2009).

A orientação de vertentes compõe, com a declividade, a geometria de exposição da superfície do terreno em representações sob esquema de relevo sombreado. Devido a esta aplicação, em SIG, a função para seu mapeamento costuma se apresentar sob o nome *aspecto* (*aspect*), embora se encontre ainda *slope direction* ou simplesmente *direction* como termos usuais na literatura. Como os ângulos zenital e azimutal da superfície, respectivamente, a

declividade e a orientação de vertentes guardam entre si uma relação de analogia e complementaridade na descrição tridimensional do terreno. Porém, há outra relação funcional entre as duas variáveis, quando observamos a ação do relevo em projeção horizontal; a respeito dos deslocamentos provenientes de processos de transporte gravitacional, pode-se dizer que a orientação de vertentes é a direção do vetor cujo módulo corresponde à declividade. Em relevos planos, sua determinação é difícil e mesmo sem significado, uma vez que nessa situação o módulo da declividade é nulo ou quase nulo. Assim, deve-se ponderar a orientação de vertentes pela declividade local em todo mecanismo que se traduza em um vetor no plano horizontal (VALERIANO, 2008).

As curvaturas em planta (ou horizontal) e em perfil (ou vertical) são atributos derivados da declividade e da orientação das vertentes respectivamente; elas consistem basicamente no cálculo de variação das inclinações do relevo no sentido horizontal à superfície (para curvaturas em planta) e no sentido vertical (para curvaturas em perfil), nos quais os valores são expressos em graus ou porcentagem de variação da inclinação pela distância percorrida no terreno (SAVIGEAR, 1965; YOUNG, 1964). Nesta perspectiva, valores positivos na direção da jusante caracterizam-se por formas convexas, significando que houve aumento no ângulo de inclinação (na direção horizontal de mesmo nível altimétrico para o caso de curvaturas em planta, e na direção vertical ou perpendicular à superfície no caso de curvaturas em perfil), da mesma forma que valores negativos configuram em formas côncavas e valores próximos de zero, ou seja, sem variação significativa da inclinação são considerados como formas retilíneas ou planas. No entanto, é comum que as curvaturas em planta sejam classificadas de acordo com a dinâmica hidrológica de superfície determinada pelas suas formas, sendo atribuídas as classificações de divergentes para curvaturas em planta com formas convexas, transição para as formas planas e convergentes para as formas côncavas (CHRISTOFOLETTI, 1974; NEPOMUCENO; LUCHIARI, 2014).

Estes dois atributos podem ainda ser combinados para a classificação morfológica da “forma” do relevo (DIKAU, 1990; VALERIANO, 2008), também entendida como “feições mínimas ou unidades elementares do relevo” (COLÂNGELO, 1996), que fornecem indicações relacionadas ao comportamento hidrológico de superfície (DIKAU, 1990; COLÂNGELO, 1996; NEPOMUCENO; LUCHIARI, 2014). Em síntese, o procedimento consiste no uso do SIG para o interseccionamento dos dois dados previamente obtidos (curvatura em planta e em perfil), o que tem como resultado a classificação de nove

combinações de formas diferentes, conforme pode ser observado no Quadro 3. Cada uma dessas nove combinações de formas podem ainda ser reclassificadas de acordo com o comportamento hidrológico de superfície determinado por elas (Tabela 1) e representadas cartograficamente (Figura 15).

QUADRO 3 – Nove possibilidades de combinação entre as curvaturas em planta e em perfil

Fonte: Adaptada de Dikau (1990).

TABELA 1 - Comportamento hidrológico de superfície das nove formas possíveis

Formas	Perfil	Planta	Comportamento Hidrológico Resultante	Domínio Hidrológico
1	CV	CV	Hiperdispensor	Dispersão
2	CV	R	Mesodispensor Longitudinal	
3	CV	CC	Hipodispensor	
4	R	CV	Mesodispensor Radial	
5	R	R	Transição ou Neutro	Transição
6	R	CC	Mesoconcentrador Radial	Concentração
7	CC	CV	Hipoconcentrador	
8	CC	R	Mesoconcentrador Long.	
9	CC	CC	Hiperconcentrador	

CV = Convexo, R = Retilíneo, CC = Côncavo

Fonte: Adaptado de Colângelo (1996).

FIGURA 15 – Combinação entre as curvaturas em planta e em perfil

Fonte: Valeriano (2008)

Os casos extremos de combinações de curvatura do terreno são representados pela forma côncavo-convergente (máxima concentração e acúmulo do escoamento) e pela forma convexo-divergente (máxima dispersão do escoamento). As combinações intermediárias têm características hidrológicas mais dependentes das relações entre as intensidades (módulos) dos efeitos individuais (VALERIANO, 2008).

Por fornecer como resultado tanto atributos quantitativos (graus ou porcentagem de variação da inclinação e do azimute de orientação, pela distância percorrida no terreno) quanto qualitativos (plano, côncavo ou convexo; divergentes, transição e convergentes) relativos à forma da superfície, pode-se dizer que as curvaturas consistem simultaneamente tanto em atributos morfométricos quanto morfográficos do relevo, o que confere grande importância na obtenção desses dados para o mapeamento geomorfológico, principalmente para escalas de detalhe (NEPOMUCENO; LUCHIARI, 2014), já que diferentes propostas metodológicas e de legenda para mapeamentos geomorfológicos de detalhe propõem a distinção dessas características do relevo como sendo uns dos princípios norteadores desse tipo de mapeamento, conforme destacado por Demek (1972), Dikau (1990), Colângelo (1996) e Ross (1992), por exemplo.

Essas são as principais características do relevo que podem ser obtidas através da aplicação de técnicas de geoprocessamento capazes de subsidiar o mapeamento geomorfológico com foco em grandes escalas. Na maioria das vezes, essas características são utilizadas como dados auxiliares de apoio à fotointerpretação estereoscópica na compartimentação morfológica de uma área de estudo. No entanto, diversos autores têm publicado, recentemente, experiências de sucesso no estabelecimento de correlações entre esses atributos com capacidade de por si só realizar tal compartimentação. Exemplos de pesquisas nessa área podem ser encontradas em Anders et al. (2011); Asselen e Seijmonsbergen (2006); Blaschke e Dragut (2006); Blasi et al. (2007); Camargo (2008); Camargo et al. (2009); Crevenna et al. (2005); Georgievskiy (2011); Guida et al. (2009); Macmillan e Jones (2004); Macmillan e Shary (2008); Mentlik e Novotna (2010); Nepomuceno e Luchiari (2014); Seijmonsbergen et al. (2011); Siart et al. (2009); Soares-Neto (2015); e Tem-Caten et al., (2009).

A título de exemplo, Nepomuceno e Luchiari (2014) fizeram uma experiência para a classificação morfológica da área urbana do Município de Salesópolis-SP, através da aplicação de regras por árvore de decisão no correlacionamento entre dados clinográficos, de curvaturas e de comportamento hidrológico de superfície; derivados de um MDE obtido através da interpolação de dados vetoriais altimétricos na escala 1:2.000. Como resultado, obtiveram uma classificação morfológica do relevo local compartimentada em sete classes diferentes: Topos de interflúvios, Vertentes retilíneo-convexas aguçadas, médias e suaves; Anfiteatros e vales de cabeceiras de drenagens e dois diferentes níveis de terraços da planície fluvial.

Em uma abordagem relativamente diferente, Camargo et al. (2009) fizeram uma classificação morfológica do Município de São José dos Campos-SP, através da aplicação de redes semânticas hierárquicas de decisão da abordagem orientada a objetos (OBIA), e uso da lógica difusa (*fuzzy*) no correlacionamento entre diferentes variáveis morfométricas que foram extraídas de um MDE, proveniente de pares estéreos de imagens orbitais ASTER.

Como resultado, os autores puderam distinguir 11 classes de compartimentos morfológicos diferentes, representadas na escala 1:50.000 (Figura 16), possuindo níveis de acurácia consideravelmente aceitáveis (superiores a 85% de acerto), conforme indicou a aferição de campo realizada com o uso de receptores GNSS.

FIGURA 16 – Exemplo de classificação geomorfológica por OBIA

Fonte: Camargo et al. (2009)

Em um tipo de abordagem não muito diferente do exemplo anterior, Anders et al. (2011) fizeram a compartimentação morfológica de uma bacia hidrográfica situada na província de Vorarlberg, na Áustria, utilizando-se do método de classificação orientada ao objeto sobre parâmetros morfométricos, extraídos automaticamente, de um MDE obtido através do sensor LIDAR. Com resultado os autores puderam distinguir nove classes diferentes compartimentos na bacia, conforme pode ser consultado na Figura 17.

Apesar desses procedimentos não eliminarem por completo a necessidade de consulta a fotografias aéreas e imagens orbitais, principalmente para o estabelecimento de relações entre as formas encontradas no relevo com outras características da paisagem, como os tipos de vegetação, por exemplo, e nem substituir a necessidade da realização de levantamentos de campo para a coleta de amostras a fim de realizar a identificação e datação dos materiais que o compõem, necessários à caracterização morfodinâmica e morfocronológica; a execução

desses procedimentos só tende a trazer benefícios para o mapeamento geomorfológico em escalas de detalhe, pois além de reduzir os custos e o tempo da elaboração de compartimentações morfológicas em relação aos métodos tradicionais, eles têm a capacidade de reduzir a subjetividade que são inerentes às técnicas de interpretação estereoscópica de fotografias aéreas, estabelecendo critérios objetivos sobre atributos quantificáveis do relevo, e fornecendo métodos reproduzíveis sobre diferentes configurações espaciais (ANDERS et al., 2011; ASSELEN e SEIJMONSBERGEN, 2006; BLASI et al., 2007; BLASCHKE e DRAGUT, 2006; CAMARGO, 2008; CAMARGO et al., 2009; CREVENNA et al., 2005; GEORGIEVSKIY, 2011; GUIDA et al., 2009; MACMILLAN; JONES, 2004; MACMILLAN; SHARY, 2008; MENTLIK; NOVOTNA, 2010; NEPOMUCENO e LUCHIARI, 2014; PRIMA et al., 2006; SIART et al., 2009; SOARES-NETO, 2015).

FIGURA 17 – Exemplo de classificação geomorfológica por OBIA sobre mde LIDAR

Fonte: Anders et al. (2011)

Esses métodos de classificação morfológica do relevo também vêm sendo utilizados para a predição da distribuição de classes de solo e do substrato litológico, em pesquisas que se propõe a realizar esses tipos de mapeamento, principalmente em regiões nas quais as formas presentes no relevo são predominantemente determinadas por esses atributos da paisagem.

Para tanto, alguns métodos criados para classificação digital de imagens de sensoriamento remoto vêm sendo aplicados sobre as variáveis morfométricas obtidas a partir dos MDE, como as regressões logísticas múltiplas (CAMPLING et al., 2002; GIASSON et al., 2006), modelos logísticos com aplicação de componentes principais (TEM-CATEN et al., 2009), Redes Neurais Artificiais (SIRTOLI, 2008), árvores de decisão (MORAN e BUI, 2002), e SVM (*Support Vector Machine*) com mineração de dados (BEHRENS e SCHOLTEN, 2007). Outros exemplos nesse sentido também podem ser encontrados em Barbosa et al. (2010); Blaschke e Dragut (2006); Ippoliti et al., (2005); Lacerda et al. (2009); Moore et al. (2003); Silveira (2010); Tagil e Jennes (2008); e Zhu et al. (2001).

Blaschke e Dragut (2006) utilizaram o método de classificação orientada a objetos para a classificação automática das classes morfológicas do relevo, assim como para a predição de diferentes tipos de solos e substratos rochosos ocorrentes no Parque Nacional de Berchtesgaden, situado na região dos Alpes da Alemanha. Nessa mesma lógica, Lacerda et al. (2005) pesquisaram as relações entre solos, geomorfologia e geologia no Distrito Federal, com o objetivo de realizar um maior detalhamento das classes de solos do mapa pedológico do DF.

A eficácia do uso das técnicas de geoprocessamento em estudos de distribuição de classes pedológicas e litológicas a partir da classificação morfológica digital, também foi demonstrada nas pesquisas desenvolvidas por Barbosa et al. (2010); Ippoliti et al., (2005); Lacerda et al. (2009); Moore et al. (2003); Silveira (2010); Tagil e Jennes (2008); e Zhu et al. (2001); que também associaram informações geológicas à caracterização morfológica para o estabelecimento de modelos de correlação “morfo-pedo-geológicos” para as suas respectivas áreas de estudo.

A execução desses procedimentos também vem ganhando especial destaque para a geração de mapas geomorfológicos de síntese, principalmente através da abordagem orientada

a objetos (OBIA) na integração entre os dados morfológicos (soma da morfografia com a morfometria), morfodinâmicos e morfocronológicos.

Como exemplo desses sistemas de mapeamento, podem ser citados os trabalhos desenvolvidos por Blasi et al. (2007) e Guida et al. (2009), junto ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Salerno, na Itália. De acordo com esses autores, o método de mapeamento proposto inclui as seguintes etapas:

- 1) Produção de um mapa morfoestrutural com foco na morfocronologia e morfogênese a partir da interpretação de fotografias aéreas e realização de levantamentos de campo, normalmente em escalas entre 1:5.000 e 1:25.000, que variam em função do objetivo específico da pesquisa. Os dados obtidos através do levantamento de campo são guiados pela interpretação estereoscópica das fotografias aéreas e pelas observações de campo. Dessa maneira, os aspectos geológicos de subsuperfície e pedológicos próximos à superfície, bem como outros aspectos geomorfológicos relevantes (como a gênese predominante e a idade dos materiais) são gravados digitalmente como atributos que são posteriormente transferidos para a base de dados em ambiente SIG;
- 2) Produção de um mapa geomorfológico preliminar com base na integração dos dados levantados na fase 1, e na mesma escala de análise, com base no julgamento de especialistas. Nessa fase, o mapa geomorfológico representa características que podem ser delimitadas e codificadas em uma estrutura que representa diferentes níveis de confiabilidade;
- 3) Transformação topológica dos atributos mapeados (digitalização, vetorização e conversão dos resultados para o formato matricial);
- 4) Confecção de um mapa geomorfológico orientado a objetos, preliminar em ambiente SIG, através da combinação dos dados obtidos nas fases 1 e 2, o que deve ser guiado pelo padrão de legenda adotado;
- 5) Classificação morfológica do MDE de maneira automatizada para a incorporação de informações morfométricas e o posterior refinamento do mapa geomorfológico preliminar;
- 6) Refinamento e validação do mapa geomorfológico preliminar com base no mapa morfológico previamente classificado na etapa anterior. A Figura 18 a seguir apresenta o fluxograma que sintetiza as diferentes etapas envolvidas no processo.

Outros estudos realizados por meio do método de classificação orientada ao objeto, para a compartimentação geomorfológica de síntese do relevo, também podem ser encontrados em Anders et al., 2011; Baatz e Schäpe (2000); Dragut et al. (2011); Schneevoigt et al. (2008); Georgievskiy (2011); Prima et al., 2006; Siart et al. (2009); e Seijmonsbergen et al. (2011); alguns já citados anteriormente.

FIGURA 18 – Etapas para a classificação geomorfológica orientada a objetos proposta por Guida et al. (2009)

Fonte: Guida et al. (2009)

Em síntese, essas são as principais indicações técnicas de geoprocessamento que foram evidenciadas pela literatura relacionada ao mapeamento geomorfológico com

características e escalas compatíveis com as requeridas pelo Termo de Referência da Fundação Florestal (2010a).

Dessa maneira, pode-se concluir que tais possibilidades atualmente oferecidas pelas técnicas de geoprocessamento contribuem significativamente para o aprimoramento do mapeamento geomorfológico, devido ao fato dessas técnicas possibilitarem a realização de classificações automatizadas e semiautomatizadas do relevo, assim como dos outros aspectos a ele relacionados (como a pedologia e a litologia), de maneira menos subjetiva quando comparada com os métodos tradicionais. Nestes tipos de abordagem, os diferentes níveis de análise podem ser organizados hierarquicamente na forma de uma lista de atributos que variam de acordo com o padrão de legenda adotado, o que pode ser repetido, ou adaptado, às diferentes configurações espaciais encontradas na superfície terrestre.

Contudo, é importante salientar, ainda, que esses métodos e técnicas podem ser aplicados sobre qualquer tipo de MDE em média ou alta resolução espacial, sejam eles obtidos através de sensores aerotransportados do tipo LIDAR, ou através da interpolação de dados altimétricos (curvas de nível e pontos cotados), extraídos de Cartas Topográficas em escala compatível, como as do IBGE (1:50.000) e do IGC (1:10.000); ou ainda, podem ser utilizados também os MDE produzidos no âmbito do Projeto de Atualização Cartográfica do estado de São Paulo, executado pela Emplasa (2011), que possuem níveis de acurácia compatíveis com a escala 1:25.000 e a vantagem de consistir no levantamento topográfico mais recente (portanto mais atualizado) do estado, com cobertura total do seu território. O que abre um novo horizonte de oportunidades para a realização de novas experiências na busca pelo estabelecimento de modelos mais ajustados a estes tipos de dados e às diferentes combinações “morfo-pedo-geológicas” específicas, encontradas no território paulista.

A disponibilidade destes novos dados, portanto, se apresenta como um novo desafio, cientificamente fértil, a ser explorado pelos diferentes pesquisadores ligados às ciências da terra, com expectativas bastante promissoras para a obtenção de resultados de maneira mais eficiente e acurada.

Além das possibilidades de obtenção de atributos morfométricos do relevo, e do estabelecimento de correlações entre esses atributos para a compartimentação e o mapeamento geomorfológico, pedológico e geológico com base nas técnicas de geoprocessamento. Durante a realização das buscas pela literatura sobre o tema também foi

encontrado um número significativo de evidências relacionadas ao uso de MDE nos procedimentos de modelagem hidrológica para a definição e caracterização de bacias hidrográficas e de redes de drenagem. Portanto, mesmo não tendo sido selecionado para a realização da revisão formal, nesse subitem se encontram algumas considerações acerca das possibilidades de uso dos MDE para a inferência e caracterização de redes de drenagem e bacias hidrográficas com SIG.

Os principais atributos passíveis de serem extraídos através da Modelagem hidrológica de MDE consistem na estimativa de direção de fluxos hídricos superficiais (*flow direction*), na estimativa de áreas de contribuição ou acúmulo de fluxo (*catchment area* ou *flow accumulation*), na obtenção de redes de drenagem inferidas e na delimitação de bacias e sub-bacias hidrográficas (HENGL; REUTER, 2009; O'CALLAGHAN e MARK, 1984).

As direções de fluxo consistem na definição de uma única direção de fluxo hídrico para cada pixel (célula) que compõe o MDE utilizado. O algoritmo que descreve as direções do escoamento foi desenvolvido por O'Callaghan e MarK (1984) e ficou conhecido como Algoritmo Determinístico-8 (ou simplesmente D8). O procedimento é realizado através da aplicação de janelas móveis sobre o MDE que identifica o pixel de maior declive em relação aos seus 8 vizinhos (Figura 19). Dessa maneira, cada pixel ganha um valor (código) que se refere a uma das 8 possíveis direções preferenciais de escoamento para o pixel em questão.

FIGURA 19 – Cálculo da Direção Preferencial de Fluxo

Fonte: O'Callaghan e MarK (1984).

A área de contribuição ou acúmulo de fluxo (*flow accumulation*) é um atributo derivado das direções de fluxos superficiais e consiste basicamente no cálculo do número de pixels que contribuem no escoamento à montante para cada um dos pixels que compõem o MDE, a partir das direções de fluxos previamente obtidas (Figura 20). Dessa maneira, os resultados podem ser expressos tanto pelo número de pixels contribuintes quanto em medidas

de área (m², km², hectares etc.), através do cálculo da área correspondente a cada pixel do MDE.

FIGURA 20 – Conversão das Direções de Fluxos em Áreas de Contribuição.

Fonte: Hengl e Reuter (2009)

As redes de drenagens inferidas consistem na obtenção de uma rede de linhas conexas, correspondentes aos cursos fluviais de uma determinada bacia hidrográfica, a partir da definição de um valor relativo ao coeficiente de manutenção fluvial sobre as áreas de contribuição obtidas, ou seja: estabelece-se uma área mínima de contribuição necessária para o surgimento de um curso fluvial, a fim de se obter a rede de canais fluviais ocorrentes em uma determinada área de pesquisa. A aplicação desse procedimento tem como resultado um dado matricial (*raster*) binário, ou seja, composto por valores “0” (correspondente a áreas sem drenagem) e “1” (correspondentes às próprias drenagens), conforme pode ser observado na Figura 21.

FIGURA 21 – Obtenção da Rede de Drenagem inferida a partir das Direções de Fluxo e das Áreas de Contribuição

Fonte: Hengl e Reuter (2009).

No final do processo, a rede de drenagem obtida na imagem binária resultante pode ser então convertida para o formato vetorial por meio de uma simples abordagem “falso/verdadeira”, ou seja: na conversão do formato matricial para o vetorial atribui-se que os valores iguais a “0” sejam os correspondentes a áreas sem presença de drenagens, sendo, portanto, os dados que devem ser desconsiderados, e os valores iguais a “1”, correspondentes às áreas que indicam a presença de drenagens e que, portanto, devem ser as consideradas na conversão.

A adoção de um coeficiente de manutenção ou área mínima de drenagem está, de certa forma, relacionada com a escala, pois quanto maior for o limiar adotado, menor o número de cursos fluviais gerados. Geralmente, assume-se que a área mínima de drenagem é constante e o seu valor pode ser fixado tanto arbitrariamente, a partir da experiência e do conhecimento do pesquisador em relação às características físicas específicas da área pesquisada, quanto pela identificação prévia desses valores, através da análise de cartas topográficas pré-existentis ou da interpretação de imagens orbitais e de fotografias aéreas verticais.

A delimitação de Bacias e de sub-bacias hidrográficas, por sua vez, é realizada a partir da combinação das áreas de contribuição com a rede de drenagem inferida. O procedimento consiste basicamente na identificação da área de contribuição em relação a determinados pontos (células ou pixels) que apresentam ocorrência de cursos fluviais, sendo geralmente escolhidos os pontos de confluências entre dois ou mais cursos fluviais, dessa maneira a área de contribuição identificada corresponde exatamente à área da bacia hidrográfica de uma determinada drenagem ou rede de drenagens.

Esses procedimentos são utilizados principalmente para a obtenção automatizada de diferentes parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas, o que por sua vez podem subsidiar tanto a compartimentação geomorfológica quanto os procedimentos de modelagens hidrológicas de bacias, para a identificação de áreas de risco de inundação e de movimentos de massa. A título de exemplo, podem ser citados trabalhos recentemente desenvolvidos por Pareta (2003; 2011), Périco et al. (2011), Ramu e Jayashree (2013), e Rao et al. (2009).

Entre os parâmetros morfométricos passíveis de serem obtidos a partir do processamento dos dados de rede de drenagem e limites de bacias hidrográficas em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas, podem ser citados a hierarquização dos canais, conforme as proposições de Horton (1945) e Strahler (1957); o cálculo das medidas de área e

de perímetro das bacias, o cálculo do comprimento total dos canais fluviais, a densidade de drenagem, o coeficiente de manutenção, o índice de sinuosidade e de bifurcação dos canais; os índices de circularidade, forma e rugosidade das bacias; as amplitudes altimétricas, a declividade média, as orientações de vertentes predominantes, entre outros (CHRISTOFOLETTI, 1969; 1974; 1979).

É evidente que tanto os dados de base de rede de drenagens e limites de bacias, quanto os parâmetros morfométricos derivados da análise desses dados, também podem ser obtidos a partir de técnicas e procedimentos manuais, seja através da análise de cartas topográficas analógicas ou da interpretação de fotografias aéreas ou imagens orbitais. Entretanto, diversos autores têm apontado vantagens significativas das técnicas atualmente disponíveis nos SIG em relação às tradicionais principalmente no aumento da eficiência de tempo e no ganho de acurácia dos dados obtidos, conforme observam Pareta (2003; 2011), Périco et al. (2011), Ramu e Jayashree (2013), e Rao et al. (2009).

7.2.2 Mapa dos Tipos e Características Climáticas

Para o Mapa de tipos e características climáticas, o Termo de Referência da Fundação Florestal determina que deva ser realizada a caracterização do clima das UC, nas escalas locais e topoclimáticas, a partir do registro dos dados coletados, ainda que não formem séries históricas, comparando-os com os dados das estações meteorológicas mais próximas. Na falta de dados para tal caracterização, o TdR indica que poderão ser instaladas estações móveis para a obtenção desses dados. Tais caracterizações devem ser representadas em documentos cartográficos, na escala mínima de 1:50.000, que sintetizam os padrões de distribuição dos principais elementos climáticos locais (ao menos das variações de temperatura e do regime de precipitações) indicando suas relações com os principais fatores que influenciam na definição desses padrões (características fisiográficas do relevo, padrões de uso da terra e de cobertura vegetal natural, entre outros) (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a, p.12-13).

À vista disso, para a realização da revisão da literatura acerca das atuais possibilidades oferecidas pelas técnicas de geoprocessamento que podem ser utilizadas para o atendimento a essas indicações, fez-se necessário a realização de um resgate conceitual dos princípios essenciais da ciência climatológica e dos seus métodos de representação para, só então, posteriormente, serem abordadas as técnicas de geoprocessamento que podem ser aplicadas para a obtenção e o tratamento dos dados necessários, assim como dos diferentes métodos envolvidos na sua classificação e representação.

O conceito de clima foi definido por Sorre (1934) como sendo uma série de estados atmosféricos sobre um determinado lugar em sua sucessão habitual. Nessa mesma perspectiva, Monteiro (1971) propõe a incorporação da ideia de ritmo a tal definição, justificando-se pela necessidade de considerar também a realidade dos eventos extremos em confronto com as abstrações das médias, ou seja, para além da sua sucessão habitual.

De acordo com Tarifa (2004), a classificação dos diferentes tipos e unidades climáticas se dá pelo processo de identificação de padrões e semelhanças entre os elementos climáticos e os fatores que o controlam, sob as perspectivas espacial (variações nas escalas de análise) e temporal (sucessão e ritmos).

Nesse mesmo sentido, Armani (2004) define os “elementos” climáticos como sendo as propriedades físicas da atmosfera, ou seja: radiação solar, temperatura do ar, volume de precipitações, velocidade e direção do vento, pressão atmosférica, umidade relativa do ar, entre outros; e os “fatores”, como sendo constituídos pelas características físicas, biológicas e antrópicas que interagem e modificam essas propriedades.

No que se refere às variações das escalas de análise, apesar de haver uma grande diversidade de propostas taxonômicas que se propõem a estabelecer relações entre diferentes ordens de grandezas espaciais (escalas), com os fenômenos e fatores que devem ser considerados na análise, conforme pode ser observado, por exemplo, nas propostas desenvolvidas por Monteiro (1976); Fairbridge (1987); Atkinson (1987); Ribeiro (1992); Pereira, Angelocci e Sentelhas (2002); e Mendonça e Danni-Oliveira (2007); de maneira geral, as diferentes propostas têm em comum a sua fundamentação em três níveis hierárquicos de escala de análise: a macroescala (macroclima), a mesoescala (mesoclima) e a microescala (microclima).

De acordo com Mendonça e Danni-Oliveira (2007), a classificação de unidades macroclimáticas busca compartimentações no nível planetário, compreendendo áreas muito extensas da superfície terrestre. Segundo os autores a sua abrangência vai desde o planeta como um todo (clima global), passando por faixas ou zonas planetárias (clima zonal), até extensas regiões (clima regional). A extensão espacial dos compartimentos climáticos nessa unidade escalar é, geralmente, superior à ordem de milhões de km²; sendo sua definição subordinada à circulação geral da atmosfera, aos fatores astronômicos, à variação da distribuição da radiação solar no planeta nas baixas e altas latitudes, e aos fatores geográficos maiores, como grandes divisões do relevo, oceanos e continentes.

Ainda de acordo com os autores, o mesoclima consiste na unidade intermediária entre as de grandeza superior (macro) e inferior (micro) do clima. As regiões naturais no interior dos continentes e inferiores àquelas da categoria superior, como grandes florestas, extensos desertos, pradarias etc., são bons exemplos deste nível de análise, pois os autores salientam que a região por si só não possui delimitações espaciais precisas, a não ser por um ou outro elemento de destaque da paisagem.

O microclima, por sua vez, refere-se à interação que ocorre entre a superfície e os elementos climáticos, considerando-se a camada correspondente aos 2m mais inferiores da atmosfera, até 1m do subsolo; o que possui uma relação direta com a vegetação e os tipos de uso da terra (MENDONÇA e DANNI-OLIVEIRA, 2007). Segundo Stoutjesdijk e Barkman (1992), o clima dentro da vegetação pode, ainda, ser chamado de ecoclima, diferenciando-se dos microclimas em situações onde não há a presença da vegetação, geralmente associados a usos antopogênicos, como em ruas e edificações, por exemplo.

Embora haja certa unanimidade entre as diferentes propostas taxonômicas em relação às três escalas de análise climática apresentadas, diversos autores destacam a necessidade do estabelecimento de subclasses, correspondentes a classes intermediárias entre elas. Entre os quais, podem ser citados como tendo maior aplicação: os níveis de análise topoclimático e local, entendendo-se essencialmente por topoclima as áreas de dimensões inferiores a dos macroclimas e superiores a dos microclimas, cujas variações climáticas são determinadas, principalmente, por características específicas do relevo em que se encontram. O clima local, por sua vez, corresponde às áreas cujas escala de análise sofrem influências significativas do

contexto físico e antrópico no qual se localiza, como grandes áreas urbanas, grandes áreas agrícolas, maior proximidade com o litoral etc. (LIMA, 2009; 2014).

De acordo com esses princípios, a caracterização climática das UC deve ser realizada nas escalas de mesoclima, principalmente para a caracterização do clima local e dos tipos topoclimáticos, já que o Termo de Referência da Fundação Florestal estabelece que os mapeamentos temáticos devam ser realizados em escala de semidetalhe (maior ou igual a 1:50.000), conforme explicitado anteriormente.

No entanto, Serafini et al. (2008) ressaltam que apesar dos Planos de Manejo de Unidades de Conservação no Brasil demandarem da classificação de unidades climáticas em escalas de detalhe e semidetalhe, ou seja, nos níveis iguais ou inferiores ao do Mesoclima, podendo dessa maneira, também compreender os níveis de abordagens topoclimático e microclimático da proposta taxonômica de Monteiro (1976); aquele autor constata ainda que a grande maioria dos estudos climáticos presentes nesses documentos se baseiam em informações genéricas, com classificações climáticas enquadradas nas escalas regionais, oferecendo pouca contribuição aplicada à gestão dessas áreas.

De acordo ainda com os autores, ainda que as características climatológicas regionais sejam importantes e válidas para o entendimento da dinâmica atmosférica de uma determinada região, ela por si só não é suficiente para compor um cenário mais detalhado dos atributos existentes em uma área de estudo que esteja enquadrada na escala do clima local (SERAFINI et al., 2008). Entendendo-se por “local” nesse caso, conforme definido por Monteiro (1999), como sendo:

“[...] um ponto dentro do regional onde uma conjunção de fatores ‘especializa’ uma certa definição climática, nos locais ocupados por cidades, a ocorrência destes “fatores” constitui um espectro bem mais amplo pelas grandes “derivações” introduzidas pelo Homem na edificação urbana. Não apenas pelo “edificado” urbanisticamente, mas pela adição de várias alterações no quadro geoecológico, tais como represas, reservatórios, aterros, desmontes de morro, etc.” (p.28)

Este problema também foi constatado por Santos (2009) que, ao analisar a aplicação de estudos climáticos em diferentes atividades de planejamento ambiental no Brasil, relata:

[...] de forma geral, o planejamento trabalha em nível de macroclima, ou seja, utiliza dados atribuídos a grandes zonas climáticas, ou descreve o clima geral e as alterações resultantes dos aspectos da

paisagem, como relevo e altitude. São raros os trabalhos que descrevem o clima em escalas de análise superiores” (SANTOS, 2009, p. 76)

E conclui destacando as possíveis causas e consequências desse quadro, nas atividades de planejamento desenvolvidas no país:

“...no Brasil, esta decisão deve-se, à ausência de dados pontuais e suficientemente abrangentes a uma região. A ausência de estações meteorológicas e a deficiência de dados amostrais – pelo custo ou pela falta de tempo para pesquisa – são as causas desse problema. Em consequência, apesar do reconhecimento da importância do tema para tomadas de decisão, principalmente no que se refere ao uso da terra, as informações são generalizadas e muito pouco utilizadas para o ordenamento do espaço e o levantamento de alternativas regionais” (SANTOS, 2009, p. 76)

De maneira semelhante Wollmann, Simioni e Lense (2015), relatam que no Brasil, os estudos envolvendo especificamente o clima em Unidades de Conservação ainda compõem-se em uma minoria dentro da pesquisa geográfica, mesmo com a criação do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), que em seu Artigo 50º destaca: “o clima também deve ser considerado como uma das características marcantes das Unidades de Conservação, e que por essa razão, merece cadastro e proteção dos órgãos ambientais nas esferas federal, estaduais e municipais competentes” (SNUC, 2000).

Ainda de acordo com o autor, mesmo nos meios acadêmicos e científicos, as pesquisas relacionadas à classificação climática em Unidades de Conservação brasileiras são esparsas e incipientes, restringindo-se às de Tarifa (2004), Barros (2009), Lima (2009, 2014) e, especialmente, Serafini (2005, 2008, 2010), que investigaram, respectivamente, o clima em maciços litorâneos do estado de São Paulo, parque urbano, áreas de manguezais da Serra do Mar e a relação entre clima e desmatamento das veredas em uma UC, localizada em Minas Gerais; e na identificação de mesoclimas e topoclimas, no Parque Estadual de Intervales, situado na Região do Vale do Ribeira no estado de São Paulo (WOLLMANN; SIMIONI; LENSE, 2015).

Nessa mesma perspectiva, Koury et. al. (2011) enfatizam a necessidade urgente de inclusão dos estudos de climatologia em escalas de detalhe, maiores que as que vêm sendo empregadas na gestão de Unidades de Conservação brasileiras. No entanto, segundo os

autores, com exceção de Tarifa (2004) e Serafini (2010), nenhuma das demais pesquisas teve como objetivo a busca pela definição de Unidades Climáticas.

Segundo Wollmann (2015), a posse de uma delimitação espacial dos padrões de tipos climáticos que ocorrem em uma Unidade de Conservação, com base nas características climáticas locais, e nas suas relações com a topografia do relevo e os diferentes padrões de uso e de cobertura da terra, torna-se um conhecimento científico fundamental para melhor entendimento, gestão e planejamento desses ambientes que resguardam e são responsáveis pela manutenção de centenas de espécies nativas da flora e fauna.

Nessa perspectiva, os novos métodos, que vêm sendo criados conjuntamente com o avanço das tecnologias de geoprocessamento, têm contribuído para a criação de alternativas técnico-metodológicas capazes de oferecer resultados mais adequados a esse tipo de abordagem (classificações e análises climáticas em escalas de detalhe e de semidetalhe) (DOBESCH et al., 2007). Diversos autores têm relatado significativos avanços, tanto para a obtenção dos dados necessários (AGAM et al., 2007; ANDERSON M. et al. 2004; BENDIG et al., 2012; ASSAD; SANO, 2004; GAO et al., 2012; GOOSVAERTS, 2000; KARNIELI et al. 2006; KUSTAS et al., 2004; MELLO et al., 2003; SIQUEIRA et al., 2012), quanto para a realização das classificações e análises desses dados (ARMANI et al., 2007; BARROS, 2009; BEDNORZ et al. 2001; CAPUTA; PERSKI, 2005; KICIŃSKA et al., 2001; KOLENDOWICZ; BEDNORZ, 2010; PASZYŃSKI et al. 1999; SERAFINI, 2005; 2008; 2010; TARIFA, 2004; WOLLMANN; SIMIONI; LENSSE, 2015).

As principais fontes de dados de elementos climáticos que podem ser utilizados em procedimentos de classificação do clima, na escala local e topoclimática, consistem nas estações meteorológicas (fixas ou móveis), nos postos coletores de dados relacionados a elementos específicos, como os postos pluviométricos; e nos sensores de média e alta resolução espacial, sejam orbitais ou aerotransportados, que são capazes de operar no intervalo de frequência do espectro eletromagnético correspondente ao infravermelho termal (ASSAD; SANO, 2004; DOBESCH et al., 2007; GOOSVAERTS 2000; KUSTAS et al., 2004; SIQUEIRA et al., 2012).

Os sensores remotos termais são aqueles capazes de captar a radiação térmica emitida pela superfície terrestre e convertê-las em sinais digitais, que podem ser distinguidos nas imagens por diferentes níveis de cinza. A principal função da geração dessas imagens é a

possibilidade de identificar as variações do comportamento térmico entre os diferentes tipos de objetos e composições da superfície terrestre (infraestruturas, tipos de solos, de vegetação, de categorias de uso etc.) (DOBESCH et al., 2007).

Atualmente, existem imagens captadas por diversos sensores orbitais que possuem essa característica, porém nenhum deles é capaz de fornecer imagens correspondentes ao infravermelho termal em altas resoluções espaciais, compatíveis com a análise climática nas escalas de semidetalhe e de detalhe (superiores a 1:50.000); e somente um pequeno conjunto deles são capazes de fornecer imagens em médias resoluções espaciais, compatíveis com as análises mesoclimáticas desenvolvidas entre as escalas 1:50.000 e 1:100.000.

Os principais sensores orbitais que obtêm ou obtiveram imagens termais em média resolução espacial, são os presentes na série Landsat, (TM, ETM+ e LDCM) e o presente no satélite TERRA (sensor ASTER). A resolução espacial da imagem correspondente ao infravermelho termal nestes sensores é de 120m, no sensor TM (Landsat-5), 60m no ETM+ (Landsat-7), e de 90m nos sensores LDCM (Landsat-8) e ASTER (satélite TERRA).

No entanto, como esses sensores também são capazes de gerar imagens das bandas correspondentes aos comprimentos de ondas curtas, principalmente do vermelho e infravermelho próximo, em resoluções espaciais superiores às das imagens termais (30m nos sensores da série Landsat e 15m no sensor ASTER-TERRA), Kustas et al. (2003) e Anderson M. et al. (2004) propuseram um método de refinamento da resolução espacial original da banda termal nesses sensores, a partir do estabelecimento de relações diretas, por regressão estatística dos dados, entre os índices de vegetação (NDVI), obtíveis a partir das bandas de ondas curtas desses sensores (correspondentes ao vermelho e infravermelho próximo), com as suas respectivas imagens correspondentes à banda termal.

O método é conhecido como TsHARP (*thermal sharpening*), ou refinamento da banda termal em português, e a sua aplicação torna possível a obtenção de imagens termais com resoluções espaciais refinadas até a resolução das imagens das bandas curtas de cada sensor de origem, ou seja: 30m para os sensores da série Landsat e 15m para o sensor terra-ASTER, conforme pode ser observado nos trabalhos desenvolvidos por Agam et al. (2007), Anderson et al. (2004), Gao et al. (2012), Karnieli et al. (2006), e Kustas et al. (2004).

Ainda assim, devido às limitações escalares das imagens orbitais, mesmo após a geração de imagens termais com resolução espacial refinada (30m para as imagens da série Landsat e 15m para o ASTER-TERRA), somado a limitações na resolução temporal desses satélites (16 dias) e ao fato de a maioria deles nem estar mais em operação (atualmente só o Landsat-8 está em operação), vêm se destacando o uso de sensores multiespectrais portáteis, aerotransportados por mini-VANTs, na obtenção de imagens termais em alta resolução espacial.

Exemplos de uso dessa técnica podem ser encontrados em Bendig et al. (2012), Berni et al. (2009) e Nebiker et al. (2008). No caso mais recente, Beindig (2012) realizou a experiência para obtenção de dados termais e de índices de vegetação utilizando-se do sensor multiespectral Tetracam-Mini-MCA, e termal NEC-F30-IS, acoplados a uma míni-VANT do tipo MK-Okto. Como resultado, foram obtidas imagens relativas à banda do vermelho, infravermelho próximo e infravermelho termal com resolução espacial de 1m. Naquele estudo, foi feita ainda a aferição da qualidade dos dados termais obtidos na imagem, em comparação com dados obtidos diretamente no campo através o uso de termômetros, o que permitiu identificar uma baixa margem de erro do sensor, inferior a 0,5°C.

Contudo, esse conjunto de técnicas (sensores orbitais e acoplados a mini-VANT), é capaz apenas de fornecer dados, em escala de detalhe, relacionados a um dos elementos climáticos, ou seja, à temperatura de superfície.

Para a obtenção de dados relacionados a outros elementos climáticos (volume de precipitações, velocidade e direção do vento, pressão atmosférica e umidade relativa do ar) em grandes escalas, faz-se necessário o uso de estações meteorológicas (fixas e móveis) e de outros instrumentos específicos, como: psicômetros, pluviômetros e anemômetros; que podem ser coletados diretamente no campo, e localizados com o uso de receptores GNSS (ARMANI et al., 2007).

Dessa maneira, de acordo com Mello et al. (2003), os dados obtidos através desses instrumentos podem ser organizados e armazenados na forma de planilhas (tabelas), que, por sua vez, podem ser importadas em Sistemas de Informações Geográficas, e serem localizados na superfície a partir dos dados de localização desses instrumentos, através do uso de receptores GNSS.

Esses dados podem então ser submetidos a procedimentos de interpolação a fim de serem obtidas as variações espaciais desses elementos, não apenas nos pontos de coleta dos dados, mas de maneira contínua para a área analisada (DOBESCH et al., 2007; SIQUEIRA et al., 2012), conforme pode ser observado nas Figuras 22 e 23.

FIGURA 22 – Distribuição das estações meteorológicas do DAEE, IAC e INMET, disponíveis para o estado de São Paulo

Fonte: Siqueira et al., 2012

FIGURA 23 – Distribuição contínua da temperatura obtida através da interpolação dos dados das estações meteorológicas

Fonte: Siqueira et al., 2012.

Para tanto, pode ser utilizado qualquer um dos diversos interpoladores disponíveis nos SIG, como o inverso do quadrado da distância (IDW), a curvatura mínima (spline) e a Krigagem; com exceção do interpolador ANUDEM, específico para a geração de MDE hidrologicamente corrigido, conforme já abordado no item 7.2.1. Contudo, apesar de existirem algumas contestações relacionadas ao método mais eficiente de interpolação de dados meteorológicos, conforme observado em Deus et al. (2007) e Reis et al. (2005), o método por Krigagem é o mais recomendado para a maioria dos casos, conforme indicam as avaliações realizadas por Assad e Sano (2004), Goosvaerts (2000) e Mello et al. (2003).

Posteriormente à obtenção destes dados (imagens termais e modelos numéricos representativos das variações contínuas dos elementos climáticos de interesse), eles podem ser combinados (cruzados) entre si, e também com outros dados, tanto para a realização de caracterizações climáticas locais, quanto para a identificação e classificação de topoclimas e microclimas (BARROS, 2009; LIMA, 2009; 2014; e SERAFINI, 2005; 2008; 2010; TARIFA, 2004; WOLLMANN; SIMIONI; LENSSE, 2015), como demandam os Planos de Manejo de UC do estado de SP.

Para a classificação climática local, existem diversas propostas metodológicas diferentes. As mais “clássicas” e amplamente utilizadas são de dois tipos fundamentais distintos: os genéticos e os empíricos. Nas classificações genéticas (menos utilizadas), os climas agrupam-se de acordo com as suas causas físicas (fatores), enquanto as classificações empíricas (mais utilizadas) baseiam-se na combinação entre os elementos climáticos medidos, na maioria dos casos: a temperatura e a precipitação (ARMANI et al., 2007).

Entre as classificações genéticas, podem ser citadas: a proposta de Bergeron, que classifica o clima de um local com base na frequência de diferentes estados do tempo (LJLJEQUIST, 1981); a proposta de Flohn (1957) baseada em sete categorias globais de ventos predominantes, assim como na sazonalidade da precipitação; e a de Strahler (1969) que propôs um sistema baseado em 14 tipos climáticos diferentes (KAPPAS, 2009).

Por outro lado, as classificações chamadas de “empíricas” baseiam-se nas consequências das condições climáticas, utilizando-se de determinados indicadores específicos, como a vegetação, a hidrologia, a humidade e a intensidade de radiação térmica, através da identificação das frequências de ocorrência de valores limites, e do cálculo de índices. Entre esses tipos de classificações, destacam-se as baseadas em balanços energéticos

e de humidade (limites térmicos e hídricos relacionados com a vegetação e o crescimento vegetal), e as baseadas em índices bioclimáticos (relacionados ao estresse hídrico da vegetação e ao conforto climático (SENTELHAS et al., 2000).

Os sistemas de classificação empíricos são os mais utilizados pelas ciências meteorológicas e climatológicas; destacando-se, principalmente, as propostas clássicas de Köppen e Geiger (1928), Thornthwaite (1948) e de Thornthwaite e Mather (1955). No entanto, pode ser citado também como exemplo de um sistema de classificação empírico, o sistema de classificação bioclimática de Terjung (1966), que se utiliza de dados de temperatura, humidade relativa, insolação e velocidade do vento para a obtenção de índices bioclimáticos de conforto térmico. Uma descrição mais detalhada desses índices pode ser encontrada em Barry e Chorley (2003), Castillo e Sentis (1996) ou em Porta et al. (2003).

Estas classificações referidas nos parágrafos anteriores são consideradas como sendo globais, isto é, podem ser aplicadas a qualquer local da superfície terrestre. Contudo, existem também classificações com projeção regional ou local, como a classificação empírica de Schmidt e Ferguson (1951), que relaciona a quantidade de meses secos (período de estiagem) em um dado local, com a quantidade de meses húmidos; principalmente em regiões isotérmicas, como no caso das situadas no interior das zonas intertropicais. Merecem ser citadas, ainda, as classificações genéticas de Lamb (1972), e de Muller (1977), ambas baseadas no posicionamento geográfico de um determinado local em relação às principais características da circulação secundária da atmosfera (ARMANI et al., 2007; KAPPAS, 2009; SENTELHAS et al., 2000).

A estreita correspondência entre o clima local e os padrões de uso e de cobertura do solo (fitofisionomias, culturas agrícolas, silvicultura e outras categorias), observada pelos autores anteriormente citados, faz da temperatura e da precipitação, parâmetros fundamentais para a caracterização climática, uma vez que temperatura e disponibilidade de água no solo são os elementos fundamentais no controle do ciclo vegetativo das plantas nativas e das culturas agrícolas. Na maior parte das classificações conhecidas, os limites entre grupos são definidos a partir de valores de temperatura, precipitação e/ou parâmetros derivados. É o caso dos sistemas de classificações climáticas mais amplamente difundidos no mundo, como o de Köppen e de Thornthwaite (ARMANI et al., 2007; SENTELHAS et al., 2000).

Segundo Kappas (2009) a classificação climática de Köppen é empírica e, seguramente, a mais usada em todo o mundo. Foi estabelecida pela primeira vez em 1918 e baseia-se em observações da temperatura do ar e da precipitação, assim como no “grau de secura” (déficit hídrico) e na sazonalidade da precipitação (períodos húmidos e de estiagem). As suas divisões primárias correspondem aos principais tipos de cobertura vegetal do planeta (floresta equatorial, savana-estepe, deserto, floresta de folhosas ou de coníferas e tundra). Posteriormente, no entanto, houve vários contributos e modificações por outros autores, conforme se encontram referenciados na literatura, como a classificação de Köppen e Geiger (1928) e a classificação de Köppen modificada por Trewartha e Horn (1980).

Sentelhas (2000) explica que a classificação climática proposta por Köppen e Geiger (1928) baseia-se na definição preliminar de cinco grupos diferentes de climas, identificando áreas secas e climas úmidos, definidos em função da temperatura média e dos volumes médios de precipitação mensais, permitindo ainda a possibilidade de introdução de subtipos e variedades específicas, em um segundo momento, ao ser levado em consideração a amplitude térmica anual e a distribuição sazonal das chuvas.

Para tanto, tal proposta utiliza um sistema de letras (de “A” até “E”) para a distinção da zona climática que uma determinada região está inserida, recorrendo às iniciais de algumas palavras que descrevem a condição climática (em alemão) para definir os subtipos climáticos. Os cinco tipos climáticos principais são designados por uma letra maiúscula, e são delimitados com base no ciclo anual das temperaturas médias mensais do ar (climas A, C, D e E) ou na importância relativa entre evapotranspiração e precipitação anual (clima B). Os 12 subtipos climáticos, subdivisões dos 5 tipos climáticos principais, são classificados pela letra maiúscula (correspondente ao tipo climático principal) seguida por uma letra minúscula, utilizada para diferenciar os climas com base na sazonalidade da precipitação (climas A, C e D), no grau de secura (clima B) ou na temperatura do mês mais quente (clima E). Mais tarde Trewartha & Horn (1980) introduziram o tipo climático H para agrupar os climas de altitude. Um exemplo de aplicação desse sistema de classificação climática de Köppen pode ser observado no Quadro 4.

A aplicação deste sistema de classificação no estado de São Paulo permitiu distinguir ao menos quatro tipos climáticos diferentes no seu território: o Tropical Super-Úmido (Aw), o Tropical de Altitude (Cwa), o Tropical Quente e Úmido (As) e também o Subtropical Úmido

(Cfa), conforme demonstra o Centro de Pesquisa Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI, 2006).

QUADRO 4 - Exemplo da aplicação deste sistema de classificação climática de Köppen

Temperatura média Normal		Total de chuva do mês mais seco (Pms)	Total de chuva anual (P)	Descrição do Tipo de Clima segundo Köppen (Climas Úmidos)		Símbolo	
do mês mais frio	do mês mais quente						
>= 18°C	>= 22°C	>= 60mm		TROPICAL		sem estação seca	Af
		< 60mm	< 2500 - 27,27. Pms			Inverno Seco	Aw
				>= 2500 - 27,27. Pms	TROPICAL com chuvas excessivas		Am
< 18°C	< 22°C	< 30mm		SUBTROPICAL	Quente		Cwa
					Temperado		Cwb
	>= 22°C	>= 30mm		Quente	sem estação seca	Cfa	
	< 22°C			Temperado	Cfb		

Fonte: Trewartha e Horn (1980).

O Tropical Super-Úmido (Aw) ocorre na baixada litorânea e encostas da Serra do Mar com temperaturas oscilantes entre 20 e 22°C com chuvas abundantes, principalmente em Santos-SP, onde é registrado o mais alto índice de chuvas do país (4.154 mm/ano).

O Tropical de Altitude (Cwa) onde a maior parte do planalto está localizada neste tipo climático que é caracterizado por invernos secos e verões chuvosos, apresentando temperaturas médias que podem ultrapassar a 20°C. Enquanto em regiões montanhosas a temperatura pode cair até 14°C como é o caso dos Maciços de Itatiaia e Campos do Jordão.

O Tropical Quente e Úmido (As) que é naturalmente encontrado na região noroeste do estado apresenta temperaturas registradas em 24°C (próximos dos rios Grande e Paraná) podendo diminuir ou aumentar de acordo com suas respectivas altitudes. O índice pluviométrico é bastante variável entre 1.000 e 1.250 mm/ano; e o Subtropical Úmido (Cfa) predominante da região sul do estado apresenta temperaturas entre 18 e 20°C. Os verões são quentes e as chuvas bem distribuídas apresentando um índice pluviométrico de 1.500 mm/ano.

No entanto, Monteiro (1973), propôs outro tipo de classificação climática do estado de São Paulo, representado em um mapa síntese: o da “Tipologia Climática para o Estado de São Paulo”, apresentado na Figura 24. Para tanto, o autor integrou as informações dos mecanismos da circulação atmosférica com determinados fatores geomorfológicos (MARTINELLI, 2010).

FIGURA 24 – Classificação climática do estado de São Paulo proposta por Monteiro (1973)

Fonte: Martinelli (2010).

A classificação de Monteiro (1973) possui elementos da proposta de Köppen e Geiger (1928) e de Thornthwaite e Mather (1955). Estes últimos se diferenciam principalmente pela introdução do conceito de evapotranspiração potencial, a qual foi quantificada através do estabelecimento de uma relação direta entre a temperatura do ar e o potencial de evaporação. Utilizando-se da diferença entre os valores médios mensais da evapotranspiração potencial e de precipitação real, o sistema proposto classifica os períodos húmidos e de estiagem de um determinado local, através do cálculo de balanço hídrico (THORNTHWAITE; MATHER, 1955), no qual são calculados os valores médios de armazenamento de água no solo, a evapotranspiração real, e os respectivos déficits ou excessos de água no solo, geralmente

considerando uma capacidade média de armazenamento do solo de 100mm. Dessa maneira, portanto, Thornthwaite e Mather (1955) descreveram o seu sistema de classificação climática local, baseado na caracterização dos seus regimes térmico e hídrico (ARMANI et al., 2007; KAPPAS, 2009; SENTELHAS, 2000).

Essa proposta de Classificação Climática compreende o cálculo de cinco índices diferentes que são estimados a partir dos resultados do Balanço Hídrico, sendo três deles constituídos por indicadores do regime hídrico (o “Índice Hídrico”, o “Índice de Humidade” e o “Índice de Aridez”) e os outros consistidos por indicadores do regime térmico (o “Índice de Eficiência Térmica” e a “Concentração Estival da Eficiência Térmica”). Com base nesses índices, determina-se o tipo climático local e a sua respectiva disponibilidade de água no solo, conforme demonstram as equações apresentadas a seguir:

a) Regime Hídrico:

O Índice de Aridez (Ia) avalia a importância de um eventual período seco através da aplicação da equação 1:

$$Ia (\%) = D/ETP \times 100$$

O Índice de Humidade (Ihu) avalia a importância de uma eventual estação húmida através da aplicação da equação 2:

$$Ihu (\%) = S/ETP \times 100$$

Nessas equações, D refere-se ao défice anual de água, S ao excesso (ou superávit) anual, e ETP corresponde à evapotranspiração potencial anual.

Os tipos climáticos são então classificados de acordo com os valores do Índice de Aridez (Ia), que se referem ao grau e à sazonalidade da deficiência de água no solo; assim como os valores do Índice de Humidade (Ihu), que se referem ao grau e sazonalidade do excesso de água no solo.

Dessa maneira, o Índice Hídrico (Ihid) evidencia a humidade global do clima. Sendo o Ihid calculado a partir dos Índices de Humidade (Ihu) e de Aridez (Ia), conforme a equação 3:

$$Ihid (\%) = Ihu - Ia$$

Os tipos climáticos classificados pelos valores do Índice Hídrico são os seguintes: A = Super-húmido; B = Húmido (B4, B3, B2 e B1); C = Sub-húmido (C2 e C1); D = Semiárido; e E = Árido. Para efeitos de classificação climática considera-se apenas o Índice de Aridez se o clima for húmido (tipos A, B e C2) ou o Índice de Humidade se o clima for seco (tipos C1, D e E).

b) Regime Térmico:

O regime térmico de um local é avaliado pelo Índice de Eficiência Térmica (ou simplesmente Eficiência Térmica - ET) e pela Concentração Estival da Eficiência Térmica (CEET). A ET caracteriza o regime térmico local em termos anuais, e se exprime pelo valor anual da evapotranspiração potencial (ETP), calculado como função exclusiva da temperatura:

$$ET = ETP$$

Os tipos climáticos baseados nos valores do Índice de Eficiência Térmica são os seguintes: A' = Megatérmico; B' = Mesotérmico (B'4, B'3, B'2 e B'1); C' = Microtérmico (C'2 e C'1); D' = Tundra; E' = Gelo perpétuo.

A CEET caracteriza o regime térmico local em termos sazonais, exprimindo a importância relativa do trimestre mais quente do ano, através da equação 4:

$$CEET\ 1\ 2\ 3\ (\%) = ETP1 + ETP2 + ETP3$$

Onde ETP1, ETP2 e ETP3 são os valores estimados de ETP relativos aos três meses consecutivos mais quentes, e o ETP anual refere-se ao regime habitual. A CEET pode ser pequena (a'), moderada (b'4, b'3, b'2 e b'1), grande (c'2 e c'1) ou muito grande (d).

Dessa maneira, para cada um dos quatro tipos climáticos (baseados no Índice Hídrico, no Índice de Humidade/Índice de aridez, no Índice de Eficiência Térmica e na Concentração Estival de Eficiência Térmica) é atribuído um símbolo correspondente. O conjunto dos quatro símbolos consiste no próprio sistema de classificação climática local. Sendo assim, para uma completa descrição do clima devem ser transcritas as designações relativas a cada um dos símbolos obtidos.

Para a execução desses métodos de identificação e classificação climática local das UC, podem ser utilizados os dados provenientes da estação meteorológica no interior ou mais

próximas da UC. Neste caso os seus resultados são geralmente expressos na forma de gráficos, tabelas e textos descritivos, já que dificilmente serão encontrados dois tipos climáticos locais diferentes em uma mesma Unidade de Conservação. Porém, quando as UC têm no interior da sua área de abrangência, diferentes estações meteorológicas disponíveis, podem ser utilizadas as técnicas de interpolação sobre os dados para a geração de superfícies contínuas que melhor representem as variações de cada um dos elementos climáticos considerados, e até dos respectivos índices climáticos obtidos. Neste caso, os dados obtidos podem ser então utilizados para a identificação de padrões e o consequente delineamento de determinadas regiões climáticas específicas no interior da UC. Exemplos deste tipo de abordagem podem ser encontrados nos trabalhos desenvolvidos por Armani et al. (2007), Barros (2009), Sentelhas et al. (2000); Serafini et al. (2005), e Wollmann, Simioni e Lensse (2015).

Contudo, quando o levantamento exige uma investigação mais detalhada das relações entre clima, relevo, cobertura e uso da terra, a maneira mais eficiente para a definição destes padrões na forma de manchas (polígonos), principalmente nas escalas de detalhe e semidetalhe, consiste na abordagem topoclimática (THORNTHWAITE, 1953).

Conforme já citado anteriormente, a classificação na escala topoclimática visa identificar diferentes tipos de padrões no comportamento dos elementos climáticos, de acordo com determinações impostas pelas características fisiográficas do relevo e pelas variações no uso da terra e na cobertura vegetal natural (LIMA, 2009; MENDONÇA; DANNI OLIVEIRA, 2007; THORNTHWAITE, 1953)

Diferentemente das classificações na escala local, que exigem a coleção de dados dos elementos climáticos em séries de normais climatológicas (intervalos de 30 anos), que são obtidos, principalmente, a partir de estações meteorológicas fixas. A classificação do clima na escala topoclimática é realizada para identificar variações em pequenas escalas temporais, geralmente diárias (período de 24 horas), utilizando-se principalmente de estações meteorológicas móveis que são colocadas em diferentes tipos fisiográficos do relevo e em diferentes padrões de uso da terra ou de sua cobertura, justamente para identificar a influência de tais fatores no comportamento climático de um determinado lugar. Nesse sentido, podem ser mencionados como exemplos de classificações topoclimáticas, com base em técnicas de geoprocessamento, os trabalhos desenvolvidos por Caputa e Perski (2005), Kicińska et al.

(2001) e Kolendowicz e Bednorz (2010), Serafini et al. (2008), Tarifa e Armani (2004), apresentados a seguir.

Com a intenção de realizar mapeamentos topoclimáticos do Parque Estadual de Intervales, em São Paulo, Serafini et al. (2008) propôs um método para a caracterização climática em escalas local, topoclimática e microclimática a partir da combinação de dados meteorológicos regionais e locais, com dados obtidos diretamente no campo, que posteriormente foram correlacionados com informações topográficas (MDE) e de uso da terra.

Em seu estudo, o autor identificou, a partir de pontos de coleta de dados meteorológicos que foram distribuídos no interior da própria Unidade de Conservação, a existência de uma correlação direta entre as variações térmicas da UC com as suas características topográficas, o que, por sua vez, também determinam as variações nos padrões arbóreos e arbustivos locais (fitofisionomias). Dessa forma, o autor conseguiu identificar diferentes tipos de topoclimas no interior da UC, assim como as variações hídricas (de umidade relativa do ar) que foram correlacionadas com as variações de uso da terra, tanto no interior na Unidade de Conservação quanto no seu entorno, o que possibilitou a identificação de diferentes situações microclimáticas (SERAFINI et al. 2008). Dessa maneira, tal estudo aponta para uma possível alternativa metodológica capaz de gerar informações climáticas de uma dada Unidade de Conservação, em escalas e níveis de detalhamento compatíveis com os outros temas: físicos, bióticos e antrópicos; bem como, para com as necessidades demandadas pelo diagnóstico dos Planos de Manejo de UC.

De maneira semelhante, Tarifa e Armani (2004) produziram um mapa das unidades climáticas urbanas do Município de São Paulo, a partir da combinação entre dados da temperatura aparente da superfície, obtidas através do uso de imagens termais do satélite Landsat 7, com dados morfométricos do relevo (variações altitudinais, clinográficas e de orientação das vertentes), e diferentes categorias de uso da terra ocorrentes no Município.

Segundo os autores, a interação dessas características com os diversos aspectos que compõem o clima permitiu identificar, com o auxílio das respostas termais observadas nas imagens Landsat, um grande número de unidades espaciais climatologicamente peculiares, resultantes da sinergia provocada pelos efeitos da ação antrópica na configuração de variados topoclimas e microclimas ocorrentes na cidade de São Paulo (TARIFA; ARMANI, 2004).

No plano internacional foram encontradas diversas publicações correspondentes a abordagens semelhantes às propostas por Serifini et al. (2008) e por Tarifa e Armani (2004), principalmente nos trabalhos publicados por pesquisadores poloneses, tais como: Grzybowski (1983, 1986a, 1986b), Obrębska-Starkłowa (1980), Błażejczyk (1992), Tamulewicz (1997), Bednorz et al. (2001), Kicińska et al. (2001), Caputa e Perski (2005), e Kolendowicz e Bednorz (2010); designadas à classificação e ao mapeamento de unidades topoclimáticas de determinadas regiões do território polonês. Também foram encontradas classificações topoclimáticas produzidas em outros países, como: Roménia (BOGDAN et al., 1977), República Checa e (QUITT, 1992) e Alemanha (JENDRITZKY, 1990); no entanto, essas pesquisas foram realizadas em escalas menores (inferiores a 1:200.000) abrangendo a área correspondente ao território de países inteiros.

Dentre esses diferentes trabalhos citados no parágrafo anterior, o uso das técnicas de geoprocessamento tem maior destaque nos trabalhos produzidos por Caputa e Perski (2005) e Kolendowicz e Bednorz (2010), devido ao fato de que os outros trabalhos se utilizaram predominantemente de métodos e técnicas manuais, e outros nem chegaram a classificar as unidades topoclimáticas e representá-las em um mapa.

Caputa e Perski (2005) estabeleceram uma proposta metodológica para a geração de um mapa topoclimático digital do Município de Jastrzębie Zdró, localizado no sul do território Polonês (próximo a sua fronteira com a República Tcheca).

Para tanto, os autores se utilizaram de técnicas de análise espacial sobre diferentes tipos de dados geoespaciais, tais como: dados de uso da terra (áreas agrícolas, áreas urbanas, áreas com urbanização consolidada, florestas naturais e lagos), feições morfográficas do relevo (topos de morro, vertentes, vales e planícies), aspectos morfométricos do relevo (clinografia, e orientação de vertentes), características pedológicas (permeabilidade e profundidade dos solos) e aspectos climáticos locais próximos à superfície (temperatura e umidade relativa do ar); sendo estes últimos obtidos através de estações meteorológicas móveis distribuídas no Município durante um período de 24 horas. Os autores relatam que todos esses dados foram obtidos em formato digital e em níveis de acurácia compatíveis com a escala 1:50.000. A matriz de correlacionamento desses dados para a definição das classes topoclimáticas, conforme proposto por Paszyński et al. (1999), pode ser observada no Quadro 5.

QUADRO 5 – Matriz de correlacionamento para classificação topoclimática

Landuse		Morphometric terrain Feature	Slope angle	Aspect	Soil permeability	Depth to groundwater	Topoclimatic
Open areas non forest	Uplands		>5°	S	--	--	1.1
				E, W			1.2
				N			1.3
	Flat		--	--	penetrable	--	2.1
					partially penetrable		2.2
					non-penetrable		2.3
	Valeys		--	--	--	< 1m	3.1
						1 to 2 m	3.2
						> 2 m	3.3
Forested areas	Uplands and Flat		>5°	S	--	--	4.1
			<5°	--	--	--	4.2
			>5°	E, W	--	--	
			>5°	N	--	--	4.3
	Valeys		--	--	--	--	4.4
Urbanized areas	dense	Uplands	--	--	--	--	5.1a
	sparse		--	--	--	--	5.1b
	dense	Flat	--	--	--	--	5.2a
	sparse		--	--	--	--	5.2b
	dense	Valeys	--	--	--	--	5.3a
	sparse		--	--	--	--	5.3b
Lakes		--	--	--	--	--	D
Managed Green Areas		--	--	--	--	--	Z

Fonte: Caputa e Perski (2005).

Dessa maneira, os dados de entrada foram correlacionados em ambiente SIG através de procedimentos estritamente automatizados, utilizando-se de métodos estatísticos e dos métodos de agregação de classes topoclimáticas desenvolvidos por Paszyński et al. (1999) e Radosz et al. (2004), que propõem o cálculo de balanços de radiação e de humidade para diferentes características morfométricas e de cobertura da superfície, durante um período mínimo de 24 horas. A realização desses procedimentos teve como resultado um mapa topoclimático digital do Município na escala 1:50.000, com resolução espacial de 20m, distinguindo 21 classes de topoclimas diferentes, conforme pode ser observado na Figura 25.

FIGURA 25 – Classificação topoclimática do município de Jastrzębie Zdró (Polônia) a partir da matriz de correlacionamento

Fonte: Caputa e Perski (2005).

De maneira semelhante, Kolendowicz e Bednorz (2010) produziram um mapa de delimitação de unidades topoclimáticas na escala 1:25.000 para a área de abrangência do Parque Nacional de Słowiński, localizado no extremo norte da Polônia, no litoral do Mar Báltico.

Neste caso também foram aplicadas as propostas metodológicas de agregação de classes estabelecidas por Paszyński et al. (1999); no entanto, devido à pequena variação altitudinal da área pesquisada, o principal fator de determinação das classes consistiu nas variações de uso e cobertura da terra.

Como resultado, produziu-se um mapa na escala 1:25.000 para toda a área de abrangência do Parque, distinguindo-se 12 classes topoclimáticas diferentes (Figura 26).

FIGURA 26 – Classificação topoclimática do Parque Nacional de Słowiński (Polônia)

Fonte: Kolendowicz e Bednorz (2010).

Conforme exposto anteriormente, foram poucas as evidências encontradas nas buscas pela literatura relacionada ao uso de técnicas de geoprocessamento com fins de mapeamento topoclimático, sobretudo para as escalas iguais ou superiores a 1:50.000.

No entanto, entre as evidências encontradas, principalmente as de origem brasileira e polonesa, evidencia-se mais uma vez, a especial utilidade dos Sistemas de Informações Geográficas durante todo o processo, pois é através deles que são realizadas as interpolações dos dados climáticos (registrados pelas estações meteorológicas, fixas e/ou móveis, e pelos

sensores remotos), assim como os cálculos de índices e do balanço hídrico, necessários à caracterização climática local. Posteriormente, esses dados são combinados com os atributos morfológicos do relevo, gerados através dos procedimentos de análise espacial sobre os MDE, descritos no subitem anterior (7.2.1), e com os dados de uso da terra e de cobertura vegetal, que são obtidos através de procedimentos de classificação digital de imagens. O resultado consiste na própria classificação topoclimática local.

Tal constatação não apenas explicita a indispensabilidade de uso dos SIG durante o processo, como também elucida, de maneira lógica, a sequência de etapas que se apresentou como sendo comum às diferentes evidências encontradas na literatura.

Dessa maneira, espera-se que os resultados encontrados e discutidos neste subitem possam contribuir para uma maior valorização e utilização destes levantamentos (caracterização climática local e mapeamento topoclimático) nos futuros Planos de Manejo de Unidades de Conservação paulistas, tendo em vista o atual quadro de crônica subvalorização desses temas nas diversas atividades de Planejamento Ambiental no Brasil, conforme constatados por Koury et. al. (2011); Santos (2009); Serafini et al. (2008); Simioni (2013); que têm se repercutido também nos meios acadêmicos e científicos, como constatado por Wollmann, Simioni e Lensse (2015) e pela presente pesquisa, dada a baixa quantidade de evidências literárias encontradas sobre este tipo de abordagem (topoclimática).

7.2.3. Mapa De Fitofisionomias

Para o Mapa de Fitofisionomias, o TdR determina que adote a metodologia de classificação proposta pelo IBGE (1992), devendo utilizar-se dela para as classificações regionais até a escala local. Tal classificação deve ainda contemplar os diferentes estágios de sucessão e de conservação dos padrões fitofisionômicos encontrados, e possuir nível de detalhamento compatível à escala mínima de 1:50.000 (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a, p.21-23).

Porém, a busca pela literatura relacionada ao mapeamento de fitofisionomias evidenciou que, apesar de ser bastante usado, tanto por geógrafos quanto por biólogos, de fato não existe uma definição conceitual formal para o termo “Fitofisionomia”, ou mesmo para “fisionomia da vegetação”. O que se percebe é que muitas vezes o termo é utilizado como sinônimo de “formação vegetal”, ou simplesmente como a “morfologia da vegetação”.

No entanto, alguns autores chegaram a esboçar uma definição para o mesmo. Segundo Grabher e Kojima (1993) o primeiro a empregar o termo foi Humboldt, e a partir dele, alguns protótipos de definições para fitofisionomia foram criados, como em Allen (1998) que as definem como sendo a primeira impressão causada pela observação da vegetação. De maneira semelhante, Grabherr e Kojima (1993) definem fitofisionomia como uma característica morfológica da comunidade vegetal.

Griesebach, por sua vez, propôs o termo “formação” como uma “unidade fisionômica”. Segundo o dicionário de Font Quer (1953), Griesebach teria derivado este termo da palavra alemã “Vegetationsform”, utilizada por Martius. No Congresso Internacional de Botânica de 1910, realizado em Bruxelas, a Comissão de Nomenclatura estabeleceu que uma “formação vegetal” se compõe de associações, que se diferenciam em sua composição florística, mas coincidem, em primeiro lugar, nas condições estacionais e, em segundo lugar, nas suas formas biológicas (COUTINHO, 2006).

Coutinho (2006) explica que o termo “fitofisionomia” começou a ser utilizado praticamente no mesmo período que foi proposto o termo “formação”. O termo bioma, proposto mais tarde, apenas adicionou a fauna à uniformidade fitofisionômica e climática, características desta unidade biológica. Daí derivando a confusão no uso dos termos.

Fernandes (2000) explica que os diferentes padrões fisionômicos da vegetação podem ser distinguidos de acordo com as variações na configuração da cobertura vegetal em sua expressão estereognóstica, ou seja: a partir da capacidade do pesquisador em perceber e reconhecer a sua morfologia pelos padrões de cores, texturas, tamanhos, e outras propriedades físicas; permitindo assim o agrupamento de morfologias fitológicas semelhantes, seja no campo ou através da interpretação de imagens.

Portanto, e de acordo ainda com o autor, a fitofisionomia manifesta-se pelas formas de vida dos componentes florísticos, identificadas pelo desenvolvimento vegetativo (árvore,

arbusto, ervas, cipós etc.) e também pelo desenvolvimento fenológico, observado pelo comportamento foliar (FERNANDES, 2000), ou seja: sua perenidade ou estacionalidade (FREITAS e MAGALHÃES, 2012). Nesse mesmo sentido, Schneider e Finger (2000) ressaltam que, para se estudar a fisionomia da vegetação, deve-se analisar certas características, como as funções morfológicas e biológicas das espécies que formam a estrutura ou a distribuição espacial destas na comunidade, além da identificação dos conjuntos de unidades taxonômicas que compõem a floresta, como as suas espécies e famílias.

Quanto ao sistema nacional de classificação da vegetação brasileira proposto pelo IBGE (2012), e que consiste basicamente em uma revisão e atualização do sistema anterior (IBGE, 1992), o qual é indicado pelo TdR para servir como base conceitual e metodológica para o mapeamento das fitofisionomias nos Planos de Manejo de UC do estado de SP (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a); é possível observar que, apesar do termo “fitofisionomia” ser frequentemente utilizado para categorizar padrões morfológicos da vegetação em diferentes biomas do território brasileiro, esses documentos não explicitam nenhuma definição para o termo e nem mesmo para os métodos que devem ser adotados para a sua classificação.

Essa constatação evidencia a ocorrência de um contrassenso teórico-metodológico no Termo de Referência da Fundação Florestal (2010a), pois ele determina que as fitofisionomias devem ser classificadas de acordo com os métodos e critérios estabelecidos pelo IBGE (1992), que por sua vez não estabelece nenhum critério ou método de classificação para o que se refere exclusivamente ao termo “fitofisionomia”.

No entanto, é possível identificar nestes documentos (IBGE, 1992; 2012) certas definições para alguns dos termos que são frequentemente utilizados nas análises botânicas e fitogeográficas, e que melhor se aproximam às definições supracitadas para o termo “fitofisionomia”; entre os quais, destacam-se as definições para o termo “Formação” e as suas respectivas subclassificações.

Dessa maneira, segundo o IBGE (1992), o termo “Formação” foi criado por Grisebach (1872) para designar um tipo vegetacional definido, e foi posteriormente reformulado por Rietz (1954), entendendo-a como um conjunto de formas de vida vegetal de ordem superior, que compõe uma fisionomia homogênea, apesar da sua estrutura complexa.

Em uma hierarquia inferior a da “Formação” se encontram as “Classes de formação”, criadas para designar um conjunto de formações vegetais semelhantes que são reunidas por similaridade ecológica (TROLL; PAFFEN, 1963). A classe de formação caracteriza o fitoclima de uma região ecológica. O termo também é usado como sinônimo de “tipos de vegetação” (VELOSO et al., 1975; IBGE, 1992; 2012).

A partir dessas primeiras subdivisões iniciais, o sistema estabelece uma sequência de outras subclassificações até atingir à chamada: “formações propriamente ditas”; a qual corresponde ao nível de detalhamento compatível com a escala de análise de semidetalhe, ideal para execução de mapeamentos da vegetação na escala 1:50.000, conforme será exposto posteriormente.

As outras subdivisões das formações consistem na “Subclasse de formação”, conceituada como a fase climática; o “Grupo de formação”, conceituado como a fase fisiológica da formação; o “Subgrupo de formação”, criado por Veloso e Góes-Filho (1982) para conceituar a fisionomia da formação; e a “Formação propriamente dita”, criada por Ellenberg e Dombois (1967) como a quarta subdivisão hierárquica da formação, sendo conceituada como a fase ambiental da vegetação. O sistema ainda indica a possibilidade de subdividir esta última em “Subformações”, que são entendidas como uma parte integrante da formação, apenas diferenciando-se por apresentar fácies específicas que alteram a fisionomia da formação (IBGE, 1992; 2012).

Além dessa estrutura de classes e subclasses, o IBGE (1992; 2012) também estabelece um escalonamento taxonômico que relaciona as escalas de análise com as escalas de representação adequadas. Dessa maneira, as escalas de análise podem variar desde a escala “regional”, que compreende os mapeamentos entre as escalas 1:10.000.000 e 1:2.500.000, até as escalas de “detalhe” (superiores a 1:25.000); incluindo também a escala de análise “exploratória” (entre 1:1.000.000 e 1:250.000) e a escala de “semidetalhe”, que pode ser representada adequadamente entre as escalas de 1:100.000 até 1:25.000.

O agrupamento dos diferentes tipos de vegetação se dá em função de três sistemas distintos: a classificação florística, o sistema fisionômico-ecológico, e o fitossociológico-biológico (IBGE, 1992; 2012). No entanto, as aplicações desses sistemas de classificação também variam em função da escala e dos objetivos de análise. Para a distinção das

“formações” e das suas respectivas subcategorias, o IBGE (1992) determina que sejam inicialmente identificadas e classificadas as características da vegetação relacionadas à sua composição florística predominante, e posteriormente analisadas as suas características relacionadas ao comportamento fisionômico-ecológico.

A classificação florística é apropriada nas escalas de análise regionais e exploratórias que subdividam os tipos de vegetação em macrozonas. Assim, o território brasileiro está todo compreendido dentro da “Zona Neotropical”. Posteriormente distingue-se o “império florístico”, quando caracterizado por famílias endêmicas, e “regiões florísticas”, determinadas por gêneros endêmicos. As duas últimas são detectadas somente nos levantamentos detalhados da fitossociologia (IBGE, 1992; 2012).

Portanto, a primeira meta a ser atingida é a região florística que corresponde sempre a um determinado “tipo de vegetação”, com um ou mais gêneros endêmicos que o caracterizam. Uma região florística pode delimitar várias comunidades com domínios caracterizados por espécies endêmicas. Esses domínios são separados em setores, quando ocorrem espécies com variedades endêmicas (IBGE, 1992; 2012).

Nesse sentido, são consideradas como Regiões Florísticas ocorrentes no território brasileiro, a “Região Florística Amazônica” (composta por Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Sempre-Verde e Campinarana), a “Região Florística do Brasil Central” (compreendendo a Floresta Estacional Semidecidual e a Floresta Estacional Decidual), a “Região Florística Nordestina” (composta por Savana-Estépica, Floresta Ombrófila Densa; Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Estacional Semidecidual e Floresta Estacional Decidual) e a “Região Florística do Sudeste” (composta por Floresta Ombrófila Densa, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Estacional Decidual e Savana) (IBGE, 1992; 2012).

Na classificação no nível da “Formação”, por sua vez, os diferentes “tipos de vegetação” devem ser também separados por classes de formação, que correspondem à estrutura fisionômica-ecológica determinada pelas formas de vida vegetal dominantes, podendo ser florestal (dominada por macrofanerófitos e mesofanerófitos) ou não florestal (dominada por microfanerófitos, nanofanerófitos, caméfitos, hemicriptófitos, geófitos e terófitos). Para cada classe de formação, segue-se então a análise no nível de subclasse, caracterizada por dois parâmetros ligados ao clima: o Ombrófilo e o Estacional, ambos

distinguidos pela correlação das médias mensais da precipitação com o dobro da temperatura (BAGNOULS; GAUSSEN, 1957), o que pode ser checado pela adaptação dos órgãos de crescimento das plantas com o sistema de proteção ao déficit hídrico nos solos (IBGE, 1992; 2012).

Após essa subclasse, segue-se ao grupo de formação, que é determinado pelo tipo de transpiração estomática foliar e pela fertilidade dos solos. Em seguida é analisado o subgrupo de formação, que indica o comportamento das plantas segundo os seus hábitos, e finalmente a formação propriamente dita, que é determinada pelo ambiente (IBGE, 1992; 2012). O Quadro 6 a seguir apresenta o esquema de classificação das “Formações Florestais”.

QUADRO 6 – Esquema de classificação das Formações Florestais

CLASSIFICAÇÃO FITOGEOGRÁFICA					
IMPÉRIO FLORÍSTICO	ZONA	NEOTROPICAL - Principais famílias endêmicas brasileiras: Bixaceae, Cactaceae, Cannaceae, Caryocaraceae, Cyclathaceae, Cyrillaceae, Lacisternaceae, Marcgraviaceae, Quilnaceae, Sarraceniaceae e outras.			
	REGIÃO	Com 10 regiões florísticas, com 1 ou mais gêneros endêmicos em cada tipo de vegetação.			

Tipos de Vegetação				Formações	
CLASSES DE FORMAÇÕES	SUBCLASSES DE FORMAÇÕES	GRUPOS DE FORMAÇÕES	SUBGRUPOS DE FORMAÇÕES	FORMAÇÕES (Propriamente ditas)	SUBFORMAÇÕES
Estrutura/ Formas de vida	Clima/ Déficit hídrico	Fisiologia/ Transpiração e Fertilidade	Fisionomia	Ambiente/Relevo/Hábitos	Fisionomia específica (Fácies)
FLORESTAL (Macrofanerófitos, Mesofanerófitos, Lianas e Epífitos)	OMBRÓFILA (0 a 4 meses secos)	Higrófila (Distróficos e Eutróficos)	FLORESTA OMBRÓFILA DENSA	Aluvial Terras Baixas Submontana Montana Altomontana	Dossel uniforme Dossel emergente
			FLORESTA OMBRÓFILA ABERTA	Terras Baixas Submontana Montana	Com palmeiras Com cipó Com bambu Com sororoca
			FLORESTA OMBRÓFILA MISTA	Aluvial Submontana Montana Altomontana	Dossel uniforme Dossel emergente
	ESTACIONAL (4 a 6 meses secos ou com 3 meses abaixo de 15%)	Higrófila/Xerófila (Álicos, Eutróficos e Distróficos)	FLORESTA ESTACIONAL SEMPRE VERDE	Aluvial Terras Baixas Submontana	Dossel uniforme Dossel emergente
			FLORESTA ESTACIONAL SEMIDECIDUAL	Aluvial Terras Baixas Submontana Montana	Dossel uniforme Dossel emergente
			FLORESTA ESTACIONAL DECIDUAL	Aluvial Terras Baixas Submontana Montana	Dossel uniforme Dossel emergente

Fonte: IBGE (2012).

Seguindo uma abordagem semelhante, o Projeto RADAM-BRASIL classificou as principais formações vegetais originais que ocorrem no estado de São Paulo em 9 categorias distintas: Floresta Ombrófila Densa, Florestas Ombrófila Densa de Terras baixas, Floresta Ombrófila Densa de Submontana, Floresta Ombrófila Densa de Montana, Floresta Ombrófila Aberta, Floresta Ombrófila Mista, Floresta Ombrófila Mista de Montana, Floresta Estacional Semidecidual, Floresta Ombrófila Decidual de Submontana e o Cerrado, correspondente a Savana (IBGE, 1981). O mapa representativo desta classificação é apresentado na Figura 27.

FIGURA 27 – Classificação das Formações Florestais do estado de São Paulo

Fonte: IBGE (1981)

As Florestas Ombrófilas Densas são caracterizadas por sua característica ombrotérmica (IBGE, 1992, 2012), ou seja, associadas a fatores climáticos tropicais de elevadas temperaturas (médias de 25° C) e de alta precipitação, bem distribuída ao longo do ano (contendo de 0 a 60 dias secos apenas), o que determina uma situação bioecológica praticamente sem período seco.

No entanto, além dos fatores climáticos, para a classificação das “formações propriamente ditas”, devem ser levados em consideração determinados fatores topográficos e geomorfológicos nos quais elas estão inseridas, somados a determinados limiares latitudinais

de sua localização; o que, segundo o IBGE (2012), possibilita a distinção de cinco categorias de formações diferentes para as Florestas Ombrófilas Densas, a saber:

- 1) Formação Aluvial - não condicionada topograficamente e apresenta sempre os ambientes repetitivos, dentro dos terraços aluviais dos cursos fluviais;
- 2) Formação das Terras Baixas - situada em áreas de terrenos sedimentares do terciário/quaternário – terraços, planícies e depressões aplainadas não susceptíveis a inundações - entre 4° de latitude Norte e 16° de latitude Sul, a partir dos 5m a até 100m de altitude; de 16° de latitude Sul a 24° de latitude Sul de 5m até em torno de 50m de altitude; de 24° de latitude Sul a 32° de latitude Sul e de 5m até em torno de 30m de altitude;
- 3) Formação Submontana - situada nas encostas dos planaltos e/ou serras, entre 4° de latitude Norte e 16° de latitude Sul, a partir de 100m até 600m de altitude; de 16° de latitude Sul a 24° de latitude Sul, de 50m até 500m de altitude; de 24° de latitude Sul a 32° de latitude Sul, de 30m até 400m de altitude;
- 4) Formação Montana - situada no alto dos planaltos e/ou serras, entre os 4° de latitude Norte e os 16° de latitude Sul, a partir de 600 m até 2000m de altitude; de 16° de latitude Sul a 24° de latitude Sul, de 500m até 1500m de altitude; de 24° de latitude Sul até 32° da latitude Sul, de 400m até 1000m de altitude; e
- 5) Formação Alto-Montana - situada acima dos limites estabelecidos para a Formação Montana.

A Figura 28 a seguir ilustra através de um perfil esquemático a configuração de cada uma dessas Formações de Florestas Ombrófilas Densas.

FIGURA 28 - Perfil esquemático das formações de florestas ombrófilas densas

Fonte: IBGE (2012).

As Florestas Ombrófilas Abertas são caracterizadas como sendo aquelas que apresentam quatro faciações florísticas que alteram a fisionomia ecológica da Floresta Ombrófila Densa, imprimindo-lhe clareiras (áreas abertas) no interior das áreas florestadas, daí advindo o nome adotado, além dos gradientes climáticos com mais de 60 dias secos por ano, assinalados na curva ombrotérmica (IBGE, 1992; 2012). Portanto, são florestas que apresentam composições florísticas semelhantes às encontradas nas Florestas Ombrófilas Densas, mas que são marcadas por um maior espaçamento dos seus docéis.

Para a definição das formações que ocorrem nas Florestas Ombrófilas Abertas, o IBGE (1992) estabelece os mesmos critérios de subdivisão das Florestas Ombrófilas Densas. No entanto, elas são divididas em apenas quatro grupos de Formação diferentes, a saber: Floresta Ombrófila Aberta Aluvial, Floresta Ombrófila Aberta das Terras Baixas, Floresta Ombrófila Aberta Submontana e Floresta Ombrófila Aberta de Montana.

As Florestas Ombrófilas Mistas, também conhecidas como “matas de araucária” ou “pinheirais”, consistem em formações típicas do Planalto Meridional. No estado de São Paulo elas ocorrem principalmente nas altitudes mais elevadas das Serras do Mar e da Mantiqueira, muito embora algumas teorias sustentem que, no passado, durante a era glacial que marcou a transição do fim do Pleistoceno para o início do Quaternário (cerca de 18.000 a 13.000 anos A.P.), esse tipo de vegetação tenha ocupado regiões até bem mais ao norte do que estas, devido às condições paleoclimáticas específicas do período (VANZOLINI, 1973; AB’SABER, 1982).

A composição florística deste tipo de vegetação é dominada por gêneros primitivos como *Drymis* e *Araucária* (australásicos) e *Podocarpus* (afroasiático), sugerindo, em face da altitude e da latitude do Planalto Meridional, uma ocupação recente a partir de Refúgios Alto-Montanos. Nela são identificadas quatro formações da Floresta Ombrófila Mista: a Aluvial, situada em terraços antigos, associados às planícies de inundação; a Submontana, ocupando altitudes inferiores a 400m; a de Montana, situadas entre 400m e 1000m de altitude; e a de Alto-Montana, compreendendo as altitudes superiores a 1000m (IBGE, 1992; 2012), como ocorrem no estado de São Paulo. A Figura 29 a seguir ilustra o perfil esquemático característico de cada uma dessas Formações.

FIGURA 29 - Perfil esquemático das formações de florestas ombrófilas mistas

Fonte: IBGE (2012).

As Florestas Estacionais Semidecíduas são caracterizadas pela ocorrência do clima estacional que determina a semideciduidade da folhagem da sua cobertura florestal (IBGE, 1992). Na zona tropical, como no caso do estado de São Paulo, associam-se as áreas marcadas por acentuada seca hiberna e por intensas chuvas de verão, situação típica da região noroeste paulista (MONTEIRO, 1973).

Assim como no caso da Floresta Ombrófila Mista, as suas Formações são divididas em quatro grupos: Aluvial, Terras Baixas, Submontana e Montana. Isso porque este tipo florestal é bastante descontínuo e sempre situado entre dois climas, um bastante úmido e outro mais árido, sendo: superúmido na linha do Equador, árido na Região Nordeste e úmido nas Regiões Sul e Sudeste. Na Região Centro-Oeste, ocorre o clima continental estacional, aí dominando a Savana (Cerrado), que é um tipo de vegetação de clímax edáfico (IBGE, 1992; 2012).

O critério estabelecido pelo IBGE (1992) para a classificação destas Formações também é orientado por limiares altimétricos e latitudinais, assim como a associação relacionada ao seu contexto geomorfológico. Dessa maneira, a formação aluvial está sempre presente nas planícies e em alguns terraços mais antigos das calhas dos rios; a formação das Terras Baixas ocorre, geralmente, em depressões sedimentares entre 5 e 100m de altitude; entretanto em algumas áreas chega próximo a 200m de altitude, como, por exemplo, nos estados do Acre e de Mato Grosso, entre 4° de latitude Norte e 16° de latitude Sul; de 5 a 50m quando localizadas nas latitudes de 16° a 24° Sul; e de 5 a 30m nas latitudes de 24° a 32° Sul; a formação Submontana situa-se na faixa altimétrica que varia de 100 a 600m de acordo com a latitude de 4° Norte até 16° Sul; de 50 a 500m entre 16° até 24° de latitude Sul; e de 30 a

400m após 24° de latitude Sul; e a formação Montana ocorre na faixa altimétrica que varia de 600 a 2000m de altitude entre 4° de latitude Norte e 16° de latitude Sul; de 500 a 1500 m entre 16° de latitude Sul e 24° de latitude Sul; e de 400 a 1000m entre 24° e 32° de latitude Sul. O perfil esquemático característico destas formações é apresentado na Figura 30.

FIGURA 30 - Perfil esquemático das formações de florestas estacionais semidecíduas

Fonte: IBGE (2012).

As Florestas Estacionais Decíduas, também conhecidas como Florestas Tropicais Caducifólias, são caracterizadas principalmente pelo seu estrato superior ser formado de macro e mesofanerófitos predominantemente caducifólios, ou seja, que apresentam mais de 50% dos indivíduos despidos de folhagem durante a estiagem. Compreende grandes áreas descontínuas localizadas, de norte para o sul do território brasileiro, entre a Floresta Ombrófila Aberta e a Savana (Cerrado); de leste para oeste, entre a Savana-Estépica (Caatinga do Sertão Árido) e a Floresta Estacional Semidecidual (Floresta Tropical Subcaducifólia); e finalmente, ao sul da área subtropical, no vale do Rio Uruguai, entre a Floresta Ombrófila Mista (Floresta de Araucária) do Planalto Meridional e a Estepe (Campos Gaúchos) (IBGE, 1992).

Elas são identificadas, principalmente, em duas situações distintas: na zona tropical, apresentando uma estação chuvosa seguida de período seco, como ocorre no extremo Norte paulista; e na zona subtropical, sem período seco, porém com inverno frio (temperaturas médias mensais menores ou iguais a 15°C, que determinam repouso fisiológico e queda parcial da folhagem).

As Florestas Estacionais Decíduas também são agrupadas em quatro grupos de formações distintos: Aluvial, Terras Baixas, Submontana e Montana. A Figura 31 ilustra o perfil esquemático característico dessas Formações.

FIGURA 31 - Perfil esquemático das formações de florestas estacionais decíduas

Fonte: IBGE (2012).

Conforme a classificação da vegetação do estado de São Paulo realizada no âmbito do Projeto RADAM-BRASIL (IBGE, 1981), as únicas Formações ocorrentes no território paulista que ainda não foram apresentadas consistem nas Formações que compõem a Savana brasileira.

Também conhecida como Cerrado, a Savana brasileira é conceituada pelo IBGE (1992) como sendo aquela que é constituída por uma vegetação xeromorfa e que ocorre sob distintos tipos de clima. Ela reveste, principalmente, solos lixiviados aluminizados, apresentando sinúsias de hemicriptófitos, geófitos, caméfitos e fanerófitos oligotróficos de pequeno porte, com ocorrência em toda a Zona Neotropical e, prioritariamente, no Brasil Central.

O IBGE (1992) explica que o termo Savana foi adotado para classificar a vegetação do que é conhecido como “Cerrado” no Brasil, por este termo apresentar uma fitofisionomia ecológica homóloga à da África e à da Ásia. Portanto o termo Savana foi adotado como prioritário, e o termo Cerrado serve apenas como seu sinônimo regionalista.

Dessa maneira, a Savana brasileira é subdividida em quatro subgrupos de formação: Florestada, Arborizada, Parque e Gramíneo-Lenhosa; conforme demonstra o perfil esquemático representado na Figura 32.

FIGURA 32 - Perfil esquemático das formações de savanas

Fonte: IBGE (2012).

A Savana Florestada, também conhecida como “Cerradão”, consiste em uma fisionomia típica e característica, restrita a áreas areníticas lixiviadas com solos profundos, ocorrendo em um clima tropical eminentemente estacional. Apresenta sinúsias lenhosas de micro e nanofanerófitos, tortuosos com ramificação irregular, providos de macrófitos esclerófitos perenes ou semidecíduos, ritidoma esfoliado corticoso rígido ou córtex maciamente suberoso, com órgãos de reserva subterrâneos ou xilopódios, cujas alturas variam de 6 a 8m. Em alguns locais, apresenta sinúsias lenhosas de meso e microfanerófitos com altura média superior aos 10m, sendo muito semelhante, fisionomicamente, às Florestas Estacionais, apenas diferindo destas na sua composição florística (IBGE, 1992; 2012).

A Savana Arborizada (Campo Cerrado, Cerrado Ralo, Cerrado Típico e Cerrado Denso) consiste em um subgrupo de formação, natural ou antrópica, que se caracteriza por apresentar uma fisionomia nanofanerofítica rala e outra hemicriptofítica graminoide contínua, sujeitas ao fogo anual. As sinúsias dominantes formam fisionomias ora mais abertas (Campo Cerrado), ora com a presença de um *scrub* adensado (Cerrado propriamente dito). A composição florística, apesar de semelhante à da Savana Florestada, possui espécies dominantes que caracterizam os ambientes de acordo com o contexto ambiental e geográfico ocupado (IBGE, 1992; 2012).

A Savana Parque (Campo-Sujo-de-Cerrado, Cerrado-de-Pantanal, Campo-de-Murundus ou Covoal, e Campo Rupestre) consiste em uma Formação constituída

essencialmente por um estrato graminoide, integrado por hemicriptófitos e geófitos de florística natural ou antropizada, entremeados por nanofanerófitos isolados. A Savana Parque de natureza antrópica é encontrada em todo o País, enquanto a natural ocorre algumas vezes com feição de campos litossólicos e/ou rupestres. Em áreas de solos hidromórficos, típicos das planícies e depressões periodicamente inundadas, ocorrem as tipologias naturais de Cerrado-de-Pantanal, com denominações regionais diversas, caracterizadas pela presença de “covaais”, “monchões” ou “murundus” (IBGE, 1992; 2012).

Por último, as Savanas Gramíneo-Lenhosas (Campo-Limpo-de-Cerrado) são aquelas nas quais prevalecem os gramados entremeados por plantas lenhosas raquílicas, que ocupam extensas áreas dominadas por hemicriptófitos e que, aos poucos, quando manejados através do fogo ou pastoreio, vão sendo substituídos por geófitos que se distinguem por apresentar colmos subterrâneos, portanto mais resistentes ao pisoteio do gado e às queimadas intermitentes (IBGE, 1992; 2012).

O IBGE (2012) menciona ainda que os mapeamentos das Formações vegetais nas escalas de detalhe e semidetalhe, devem também distinguir alguns tipos fisionômicos particulares que são associados a regiões de contato entre diferentes tipos fisionômicos, como é o caso dos ecótonos e encraves, assim como a distinção de outras formações que são associadas a ambientes específicos, como os marinhos, os flúvio-marinhos e os refúgios ecológicos; como é o caso das formações de restingas, mangues e de campos de altitude respectivamente.

Além da classificação das formações propriamente ditas (entendidas nesta pesquisa, portanto, como sinônimos de tipos fitofisionômicos), tanto o Termo de Referência da Fundação Florestal (2010a), quanto o próprio Sistema de Classificação da Vegetação do IBGE (1992; 2012), estabelecem que sejam identificados e classificados os estágios sucessionais em que se encontram as mesmas. Para tanto, o IBGE (1992; 2012) distingue a sucessão da vegetação em cinco fases diferentes, dentro do que é entendido por Sistema da Vegetação Secundária.

O Sistema da Vegetação Secundária é entendido como os tipos vegetacionais que ocorrem nas áreas onde houve intervenção antrópica para o uso da terra, seja com finalidade mineradora, agrícola ou pecuária, descaracterizando a vegetação original primária. Assim

sendo, essas áreas, quando abandonadas, reagem diferentemente de acordo com o tempo de intervenção e abandono, e a forma de uso da terra. Porém, a vegetação secundária que surge reflete sempre, e de maneira bastante uniforme, os parâmetros ecológicos do ambiente na qual estão inseridas. A sucessão vegetal obedece ao ritmo de recuperação do solo que foi alterado pela ação antrópica. A perda da matéria orgânica pelas queimadas e da parte química pelas culturas, ou lixiviada pelas águas da chuva, empobrece rapidamente os solos tropicais (IBGE, 1992; 2012).

Dessa maneira, a fase inicial de sucessão (Fase primeira da sucessão natural) sugere uma “regressão ecológica”, em face de ser colonizada por espécies pioneiras de famílias bastante primitivas, como é o caso da *pteridoita Pteridium arachnoideum*, de distribuição mundial, e da *Poaceae Imperata brasiliensis*, de distribuição neotropical, que praticamente reiniciam o processo de formação do horizonte orgânico do solo (IBGE, 1992; 2012).

A segunda fase da sucessão natural não precisa necessariamente passar pela primeira, pois depende do estado em que foi abandonado o terreno após o cultivo agrícola. Ela é denominada popularmente como “capoeirinha”. Este estado sucessional secundário apresenta plantas lenhosas, dominadas por *Asteraceae* do gênero *Baccharis* e *Melastomataceae*, dos gêneros *Leandra*, *Miconia* e *Tibouchina*, sendo que este último domina na maioria das comunidades Submontanas das serras costeiras (IBGE, 1992; 2012).

A terceira fase da sucessão natural, apesar de ainda ser dominada pelo gênero *Baccharis*, conta uma com vegetação mais desenvolvida que a da segunda fase, apresentando também muitas plantas lenhosas de baixo porte, sendo denominada popularmente como “capoeira rala” (VELOSO, 1964). O IBGE (1992; 2012) explica que nesse estágio a vegetação já proporciona certo sombreamento do terreno por plantas de médio porte que excepcionalmente atingem alturas de até 3m, mas são bastante espaçadas entre si, com algumas espécies do gênero *Vernonia*, que começam a substituir as do gênero *Baccharis*. Observa-se que essa fase sucessional da vegetação natural só pode ser detectada em mapeamentos detalhados nas escalas maiores que 1:25.000 por meio de imagens (fotografias aéreas e sensores orbitais) de alta resolução espacial.

A quarta fase da sucessão natural já conta com uma vegetação mais complexa que as anteriores; geralmente dominada por microfanerófitos com até 5m de altura, foi denominada

por Veloso (1975) como “capoeira propriamente dita”. Segundo o IBGE (1992; 2012) esta fase consiste em um estágio sucessional que pode ser detectado por técnicas de sensoriamento remoto até a escala de 1:100.000, através da percepção de nuances das cores e dos tons de cinza nas imagens.

Segundo o IBGE (1992, 2012) a quinta e última fase da sucessão natural é geralmente dominada por *mesofanerófitos* que ultrapassam 15m de altura. É um estágio eminentemente lenhoso, sem plantas emergentes, mas bastante uniforme quanto à altura de seus elementos dominantes, na qual já podem ser encontrados muitos indivíduos do clímax circundante. Segundo Veloso (1975) esta fase apresenta uma comunidade denominada popularmente como “capoeirão”, que pode ser facilmente detectada nas escalas regionais e exploratórias (1:1.000.000 até 1:100.000) sendo difícil a sua diferenciação em relação às florestas primárias, só sendo possível nas escalas de semidetalhe e de detalhe, maiores ou iguais a 1:50.000 (IBGE, 1992; 2012).

De acordo com o que foi abordado neste subitem, até então, a classificação de todas essas formações vegetais, assim como dos estágios sucessionais de seus fragmentos secundários, varia em função da escala adotada e dos tipos de dados disponíveis para as análises (imagens e alta, média e baixa resolução espacial). No entanto, nas escalas de semidetalhe e de detalhe, como exigido nos Planos de Manejo de UC do estado, todas essas categorias necessitam ser detectadas e, por esse motivo, devem ser separadas e mapeadas como entidades independentes.

Sendo assim, apesar de haver algumas classificações das formações vegetais que compõem o território paulista, como o do Projeto RADAM-BRASIL do IBGE (1981), já citado anteriormente, eles foram realizados somente em escalas regionais, o que pressupõe um grau de generalização que inviabiliza o seu uso para a realização do inventário e do diagnóstico adequado aos Planos de Manejo de UC.

De acordo com tudo o que foi abordado até então neste subitem, pode-se dizer que, em síntese, a classificação dos diferentes tipos de formações vegetais primárias (originais), pressupõe, em um primeiro momento, a distinção da região florística às quais elas estão inseridas (Norte, Nordeste, Sudeste etc.); das suas características estratigráficas predominantes, em um segundo momento (florestal, não florestal, campestre etc.); da

estrutura dos dosséis, em um terceiro momento (densa, aberta, mista etc.); e que, posteriormente, devem ainda ser combinadas com determinadas variáveis geográficas nas quais elas estão inseridas, como: as características climáticas locais (que determinam o seu comportamento fenológico: ombrófila, estacional semidecidual e decidual), topográficas (alto montana, montana, terras baixas), geomorfológicas (planícies aluviais, planícies marinhas, planícies flúvio-marinhas) e pedológicas (que exerce maior influência, principalmente, na variação da distribuição das diferentes formações savânicas).

Para tanto, até mesmo o Termo de Referência (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a) e o próprio IBGE (1992, 2012), mencionam, como sendo indispensável, o uso das técnicas de Sensoriamento Remoto, Processamento Digital de Imagens e de Sistemas de Informações Geográficas.

Nesse sentido, a principal técnica de Sensoriamento Remoto que pode ser utilizada no processo consiste na interpretação visual de pares estereoscópios de fotografias aéreas e de imagens captadas por sensores orbitais em alta resolução espacial, principalmente através da identificação de variações nos padrões de tonalidade, cor, textura, forma, tamanho e sombras (PONZONI; SHIMABUKURO, 2009; JENSEN, 2009). O uso desses elementos na observação tridimensional de imagens é fundamental para a identificação das espécies arbóreas predominantes, a altura destes extratos, e a estrutura e espaçamento entre os dosséis (PONZONI; SHIMABUKURO, 2009), características fundamentais para as primeiras etapas de classificação das formações vegetais (IBGE, 1992; 2012).

No entanto, conforme observado por Cruz et al. (2009), estas técnicas são impregnadas de subjetividade e demandam grande esforço de edição manual, o que acaba elevando os custos e inviabilizando o seu emprego para levantamentos nas escalas de detalhe e de semidetalle sobre grandes áreas, como é o caso da maioria das Unidades de Conservação paulistas. Segundo o autor, estes fatos têm dividido a comunidade científica no que se refere às vantagens da adoção de técnicas automatizadas, a ponto de muitos estudos estarem atrelados somente a interpretações visuais.

Para que sejam evitados esses problemas, podem ser então utilizadas as técnicas de processamento e de classificação digital de Imagens. Estes procedimentos são realizados através do uso de aplicativos computacionais específicos (*softwares*), ou mesmo em ambiente

SIG, e consistem na identificação automática (ou semiautomática) de alvos, o que se dá através da seleção de amostras de pixels, nas classificações supervisionadas, ou no estabelecimento de parâmetros sobre as imagens, nas classificações não supervisionadas (NOVO, 1988; PONZONI; SHIMABUKURO, 2009).

Contudo, qualquer que seja o método adotado, a principal fonte de dados provém necessariamente dos Sensores Remotos. Nesse sentido, o estado de São Paulo conta com fotografias aéreas digitais ortorretificadas com recobrimento de todo o seu território. Elas foram obtidas entre os anos de 2010 e 2011 no âmbito do Projeto “Mapeia São Paulo” (EMPLASA, 2011), e possuem caráter multiespectral, compreendendo os canais do espectro do visível e do infravermelho próximo, com resolução espacial de 0,45m; o que as torna consideravelmente úteis para a realização de mapeamentos da vegetação nas escalas de detalhe e semidetalhe.

Além dessas ortofotos, também se destaca o potencial de uso de diversas imagens provenientes dos sensores orbitais. No mapeamento da vegetação em escalas de semidetalhe, os sensores mais comumente utilizados incluem os transportados pelos satélites Landsat, CBERS, SPOT, Geoeye, ASTER, Raideye, IKONOS, QuickBird e WorldView. O maior uso desses sensores se dá em função das suas resoluções espaciais, média resolução no caso do Landsat e alta resolução nos outros casos, alguns autores ainda categorizam os três últimos casos como sendo composto por sensores de altíssima resolução espacial.

A principal vantagem oferecida por esses sensores em relação às ortofotos é a de que as imagens orbitais são obtidas sistematicamente de maneira contínua e repetitiva, em intervalos de tempo que variam de acordo com a sua resolução temporal, o que possibilita avaliar o comportamento fenológico da vegetação em diferentes períodos e a distinção de classes de formações vegetais diferentes de acordo com a variação de padrões desse comportamento.

Como já mencionado brevemente no subitem 4.2.3 do capítulo 4, os comprimentos de onda correspondentes ao infravermelho próximo e ao vermelho são especialmente importantes para a distinção da vegetação através das técnicas de processamento digital de imagens, devido às diferentes respostas espectrais da vegetação nessas bandas.

O comportamento da vegetação na região do vermelho (V) é característico de absorção da radiação para a fotossíntese. Este fato faz com que as imagens correspondentes a este canal apresentem tons mais escuros, proporcionalmente à densidade da vegetação. Na região do infravermelho próximo (IVP), por sua vez, a vegetação apresenta um comportamento oposto, ou seja, a cobertura vegetal tende a refletir esse tipo de radiação, gerando imagens mais claras. O contraste entre essas imagens pode ser explorado de forma a gerar novas imagens que indiquem comportamentos distintos da vegetação (KARIYEVA; VAN-LEEUEWEN, 2011).

Dessa maneira, as imagens obtidas pelos sensores, que são capazes de operar nestes intervalos o espectro eletromagnético, são especialmente importantes para a classificação da vegetação. Um dos procedimentos mais amplamente utilizados consiste nas operações entre bandas para a obtenção dos Índices de Vegetação (ROUSE et al., 1973).

Os Índices de vegetação são medidas quantitativas que se utilizam nas operações entre bandas, para que seja possível obter indicações relacionadas ao vigor da atividade fotossintética e a densidade da vegetação, podendo ser utilizados também para a distinção de fitofisionomias e para a estimativa de biomassa (HUETE, 1988).

Entre os principais índices de vegetação aplicados nesses tipos de análise, podem ser citados o Índice de Vegetação da Razão Simples (JORDAN, 1969) e o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada-NDVI (ROUSE et al., 1973), que são os pioneiros. Posteriormente, derivados desses índices, outros foram sendo criados para melhor se ajustarem a determinadas situações específicas da paisagem local. E o caso do Índice de Vegetação Perpendicular (PVI) (RICHARDSON; WIEGAND, 1977), do Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (SAVI) (HUETE, 1988), do Índice de Vegetação Resistente a Atmosfera (ARVI) (KAUFMAN; TANRÉ, 1992), do Índice Global de Monitoramento Ambiental (GEMI) (PINTY; VERSTRATE, 1992), e do Índice de Vegetação Aprimorado (EVI) (JUSTICE et al., 1998).

No entanto, Bannari, Morin e Bonn (1995) ponderam observando que, de maneira geral, os diferentes índices de vegetação não possuem um padrão universal de aplicabilidade, pois diferentes fatores podem intervir no comportamento espectral da vegetação, tais como: as condições atmosféricas, a calibração dos sensores, a geometria de iluminação solar, a umidade do solo, entre outros. Além disso, em um ambiente heterogêneo, onde existem diferentes

formações vegetais e outros elementos de cobertura da superfície terrestre, o estudo baseado em índices de vegetação torna-se ainda mais complexo, sobretudo no caso das imagens de média resolução espacial. Portanto, a escolha de um índice de vegetação em detrimento de outro, para qualquer aplicação, deve ser feita de maneira cuidadosa, pois cada ambiente tem suas próprias características e diferentes índices podem servir como indicador de um mesmo tipo fisionômico, dependendo das suas especificidades.

Apesar da diversidade de índices e das ponderações que devem ser levadas em consideração para a escolha do mais adequado, a busca por diferentes publicações relacionadas à classificação da vegetação revelou que o índice mais amplamente utilizado continua a ser o NDVI. Ao atravessar a literatura, este índice é o que aparece mais frequentemente nos trabalhos relacionados a estudos da vegetação a partir da aplicação de técnicas de sensoriamento remoto e de processamento digital de imagens.

O Índice de Vegetação Diferencial Normalizado (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI) consiste no cálculo da diferença (subtração) dos valores de reflectância do infravermelho próximo em relação ao vermelho, dividido pela soma dos valores de reflectância desses mesmos canais. Como resultado, tem-se uma imagem composta por pixels que possuem a mesma resolução espacial das bandas de entrada e que apresentam valores entre zero e um, sendo que os pixels com valores próximos a zero indicam uma baixa atividade fotossintética e, portanto, uma baixa presença de vegetação, enquanto valores próximos a um indicam uma alta atividade fotossintética e maior presença da vegetação (WANG; TENHUNEN, 2004).

Como as imagens orbitais são obtidas de maneira sistemática e repetitiva, o NDVI também pode ser utilizado para detectar mudanças dinâmicas das espécies vegetais relacionadas ao seu comportamento fenológico, a partir das análises multitemporais, ou seja, através da análise de cenas tomadas em períodos distintos. Dessa maneira, portanto, o NDVI pode ser usado para refletir as mudanças periódicas e dinâmicas de determinadas formações vegetais específicas (GEERKEN et al., 2005), como no caso das florestas decíduas e semidecíduas que variam drasticamente as suas atividades fotossintéticas e a área ocupada pelas folhas dos seus dosséis durante as diferentes estações do ano (LENNEY et al., 1996). Outros estudos neste sentido também são encontrados em Bagan et al. (2005), em Domacx e Suzen (2006), em Gad e Kusky (2006), e em Shrestha e Zinck (2011).

Além dos Índices de Vegetação, também merecem ser destacados os diferentes métodos de classificação digital de imagens. Para tanto, podem ser utilizados qualquer um dos métodos de classificação supervisionada e não supervisionada brevemente mencionados no subitem 4.2.3 do Capítulo 4. No entanto a busca por diferentes publicações recentes relacionadas à classificação digital de imagens para a classificação da vegetação revelou uma forte tendência da incorporação de novos métodos de abordagem ao processo, resultando em certo “aprimoramento” dos métodos considerados como sendo mais “clássicos” ou “tradicionais”, apresentados naquele momento.

É muito comum que uma mesma fitofisionomia tenha diferentes características espectrais em imagens provenientes de diferentes tipos de sensor. Da mesma maneira que diferentes tipos fisionômicos podem possuir um comportamento espectral semelhante, o que dificulta a obtenção de resultados precisos através dos procedimentos de classificação supervisionados e não supervisionados clássicos tradicionais (DOMACX; SUZEN, 2006; GAD; KUSKY, 2006; GEERKEN et al., 2005; SHRESTHA; ZINCK, 2011). Tais constatações têm levado a comunidade científica a uma procura constante pelo aprimoramento desses métodos de classificação.

Nesse sentido, têm sido observados significativos progressos no desenvolvimento de classificadores mais eficientes para extrair diferentes características das coberturas vegetais a partir de imagens de sensoriamento remoto, como, por exemplo, Stuart et al. (2006), que desenvolveram classificadores contínuos, ou seja, baseados na lógica difusa *fuzzy*; usando dados Landsat-7 (sensor ETM+) para distinguir diferentes grupos de formações no interior das Savanas neotropicais e na definição de suas fronteiras em relação às matas ciliares. Através de seus estudos eles então provaram que classificações contínuas obtiveram melhores resultados do que a classificação Maxver, especialmente nas áreas cujas características da ocupação antrópica configuram em ambientes mais complexos, devido à diversidade de culturas agrícolas da região.

De acordo com os autores, o uso da classificação contínua dos dados através de funções *fuzzy* permite reter a variabilidade dos dados na integridade, sem as simplificações ou generalizações das análises booleanas, onde uma área só pode ser classificada de maneira discreta (STUART et al., 2006).

Em outro tipo de abordagem, Sohn e Rebello (2002) realizaram classificações supervisionadas e não supervisionadas através do uso do classificador por ângulos espectrais (*Spectral Angle Mapper* - SAM), levando em consideração o fato de que o comportamento espectral dos mesmos tipos fitofisionômicos contêm variações entre si devido a efeitos atmosféricos e topográficos. A análise baseada em ângulos espectrais ajudou a identificar as distâncias entre pares de assinaturas destes tipos fitofisionômicos para a sua classificação, e foram aplicados com sucesso, tanto para a distinção de comunidades vegetais naturais quanto na distinção entre diferentes tipos de uso da terra.

Meneses e Almeida (2012) explicam que o *Spectral Angle Mapper* consiste em um classificador que realiza a distinção das classes por similaridade espectral de cada pixel da imagem em relação à determinada referência proveniente de bibliotecas espectrais que podem ser extraídas no campo, com o uso de espectro radiômetros, ou na própria imagem. Para isso, ele compara o ângulo entre espectral de referência com as informações espectrais contidas em cada pixel da imagem. O procedimento gera dois tipos de arquivos: a imagem SAM e as “*rule images*”. A imagem SAM é o resultado da classificação com uma cor predeterminada para cada espectro de referência (*endmembers*). As *rule images* apresentam o ajuste dos ângulos para todos os pixels da imagem, sendo uma imagem para cada *endmember*.

Em um estudo de monitoramento da vegetação natural Mediterrânea, Sluiter (2005) investigou uma grande variedade de métodos de classificação da vegetação. Primeiramente, dois métodos diferentes foram explorados, um por classificação randômica (*Random-Forest*) e outro por máquinas de vetores de suporte (*Support Vector Machine* - SVM); ambos apresentaram melhores desempenhos do que as técnicas tradicionais de classificação Maxver e K-médias. Em um segundo momento, em vez de utilizar a informação espectral por pixel para extrair classes específicas da vegetação, Sluiter (2005) aplicou uma técnica de avaliação por domínio espacial, ou técnica de classificação contextual, chamada SPARK (*Spatial Reclassification Kernel*), principalmente para a distinção de classes específicas que não foram extraídas através dos métodos de análise baseados em pixels (*Random-Forest* e *Support Vector Machine*) utilizados no primeiro momento. A execução desses procedimentos permitiu a distinção com êxito de diferentes classes de vegetação até o nível dos grupos e comunidades de formações florestais (SLUITER, 2005).

Classificadores contextuais são métodos que incorporam a informação da vizinhança (contexto) nas análises espectrais dos pixels a fim de melhorar o resultado da classificação. Eles funcionam de acordo com a suposição de que pixels próximos tendem a pertencer a uma mesma classe. Os seus resultados são expressos em probabilidades (de um pixel pertencer a uma determinada classe) sob a perspectiva da lógica bayesiana (BESAG, 1989).

Resultados semelhantes aos encontrados por Sluiter (2005) também foram obtidos por Im e Jensen (2005), que utilizaram um modelo de correlação sobre três imagens obtidas em diferentes datas para detectar alterações da vegetação, através da relação contextual dos pixels com os seus vizinhos. Assim como Sluiter (2005), Im e Jensen (2005), também se utilizaram do método SPARK, integrando-o com informações auxiliares e informações contextuais, e desenvolveram um modelo de classificação de imagem espaço-temporal, chamado de *Auxiliary Data Classification Model* (ADCM), ou, em português: Modelo de Classificação por Dados Auxiliares. Os autores verificaram que o método ADCM aumentou a acurácia geral do mapeamento, bem como a acurácia da classificação relativa de cada uma das classes.

Apesar do surgimento de uma grande variedade de métodos e técnicas para a classificação de imagens multiespectrais, Amarsaikhan e Douglas (2004) observam que as informações fornecidas por cada sensor individualmente, muitas vezes podem ser insuficientes, inconsistentes e imprecisas, dependendo da sua aplicação. Nessa perspectiva, a possibilidade de se realizar fusões entre imagens obtidas por diferentes sensores, especialmente com diferentes resoluções espaciais, consiste em uma técnica potencialmente eficaz para o aprimoramento da classificação da vegetação.

Nesse mesmo sentido, Zhu e Tateishi (2006) destacam que o mapeamento da vegetação frequentemente tem demandado a integração entre diferentes tipos de imagens, que possuem diferentes informações temporais e espectrais, com variadas resoluções espaciais. Segundo os autores, tal integração pode ser efetuada a partir da aplicação de técnicas de fusão de imagens. Para tanto, diversos estudos recentes vêm desenvolvendo novos algoritmos de fusão (AMARSAIKHAN; DOUGLAS 2004; ZHANG 2004; ZHU; TATEISHI 2006). Dentre eles, o procedimento mais comum consiste na fusão entre imagens pancromáticas, de alta resolução espacial, com imagens multiespectrais, de médias e baixas resoluções espaciais.

À vista disso, Behnia (2005) comparou quatro algoritmos diferentes que são frequentemente adotados para a fusão de imagens, a saber: transformação por componentes principais, transformação de *brovey*, filtro baseado na modulação da intensidade (*smoothing*) e a transformação HSI (cor, matiz e saturação); e conclui que cada um deles melhora a resolução espacial da imagem eficazmente, mas distorce as assinaturas espectrais originais das imagens multiespectrais. Para resolver este problema, algumas técnicas podem ser aplicadas. Zhang (2004) desenvolveu um algoritmo de aperfeiçoamento de cores normalizadas para mesclar imagens multiespectrais com resoluções espaciais inferiores, com imagens pancromáticas em maiores resoluções espaciais. Ao mesmo tempo, Zhu e Tateishi (2006), baseando-se na fusão estatística de imagens de satélite multitemporais, desenvolveram um novo modelo de classificação, por fusão de imagens temporais, para a distinção de classes de cobertura do solo, e verificou um melhor desempenho do que os encontrados a partir de métodos convencionais.

Ao invés de projetar novos algoritmos de fusão, Colditz et al. (2011) testaram vários métodos diferentes de fusão de imagens para estudar seus impactos sobre a acurácia das classificações de uso da cobertura do solo, que vão desde técnicas comuns, como: *brovey*, matiz-cor-saturação (IHS) e transformação por análise de componentes principais; até abordagens mais complexas, como a fusão de imagens multissensores e multirresoluções, também conhecidas como análises de misturas espectrais.

O emprego da abordagem por Redes Neurais Artificiais (RNA), com a aplicação da lógica difusa (*fuzzy*), também pôde ser observado na literatura relacionada à classificação de tipos fisionômicos da vegetação. As RNA são apropriadas para a análise de qualquer tipo de dados, independentemente das suas propriedades estatísticas. A RNA tem se mostrado muito útil para extrair informações relacionadas a tipos de vegetação em áreas mais complexas (FILIPPI; JENSEN, 2006). Berberoglu et al. (2010), combinando RNA e análises de textura para classificar tipos de cobertura vegetal mediterrânea, alcançou uma acurácia superior a 85%, maior do que a acurácia obtida através do uso do classificador Maxver, baseado exclusivamente em pixels. No entanto, uma desvantagem do RNA é que a sua aplicação exige uma alta capacidade de processamento do computador, principalmente quando o procedimento envolve um grande volume de dados e de amostras de treinamento (BERBEROGLU et al., 2010; FILIPPI; JENSEN, 2006).

O uso de redes neurais artificiais vem se destacando na classificação digital dos dados obtidos por sensoriamento remoto devido ao fato desses métodos procurarem simular a eficiência do cérebro humano para o processamento de grandes quantidades de dados provenientes de fontes diversas. Os neurônios do cérebro humano recebem sinais de determinados neurônios e produzem respostas que são enviadas para outros. Nesse mesmo sentido, abordagens matemáticas baseadas nas ações de neurônios biológicos podem ser implementadas para processar e interpretar diferentes tipos de dados digitais. Enquanto não é possível reproduzir a complexidade do cérebro humano, as redes neurais artificiais, estruturadas em uma arquitetura de elementos processadores simples, têm alcançado êxito em várias aplicações, incluindo o processamento e a classificação de dados obtidos por sensoriamento remoto.

De acordo com Pao (1989) as redes neurais artificiais podem ser entendidas como estruturas matemáticas transformadoras de dados, onde o objetivo é associar os elementos de um grupo de dados com os elementos de um segundo grupo. A utilização das abordagens neurais no Processamento Digital de Imagens é adequada, principalmente pela grande habilidade demonstrada para a geração de resultados mais acurados que os métodos tradicionais de classificação e por permitir a incorporação de conhecimentos *a priori* no processo.

Em outro exemplo de aplicação da lógica difusa (*fuzzy*), Vashney et al. (2012) empregaram um sistema de classificação por árvore de decisão para determinar proporções de classe dentro um pixel e, assim, melhor identificar tipos fitofisionômicos de transição. Apesar das técnicas de classificação, que se utilizam das lógicas não rígidas, como as lógicas *fuzzy* e bayseana, serem inerentemente atraentes para o mapeamento de formações vegetais de transição, a maneira mais adequada para a representação dos resultados ainda é uma questão polêmica no meio científico, uma vez que, mesmo as formações vegetais de transição, devem ser representadas de maneira discreta nos mapeamentos fitofisionômicos, ou seja, devem compor uma única classe distinta das demais e delimitadas por polígonos, não em diferentes probabilidades de pertencer a uma ou a outra classe. Esses problemas aumentam ainda mais quando a formação se encontra em uma zona de contato entre mais de dois tipos de formações diferentes.

Para solucionar estes problemas, Hill et al. (2007), assim como Hansen et al., (2006) sugerem a atribuição somente das duas classes predominantes para cada um dos polígonos de transição. Os autores relatam que as principais vantagens das classificações difusas por árvores de decisão é que elas são pouco exigentes computacionalmente e de rápido processamento, além de não pressupor o uso de suposições estatísticas (HANSEN et al., 2006; HILL et al., 2007).

O classificador por árvores de decisão foi criado como um método alternativo de classificação de imagens de alta resolução espacial, podendo fornecer melhores resultados do que a classificação por máxima verossimilhança ou por Redes Neurais Artificiais (MAHESH; MATHER, 2003; PAL; MATHER, 2003). O processo básico de aplicação do método envolve a divisão repetida de um conjunto de dados amostrais em subconjuntos cada vez mais bem definidos com base em testes de aferição dos valores que caracterizam uma classe. Posteriormente, podem ser incorporados diversos tipos de dados auxiliares ao processo por meio do estabelecimento de regras hierarquicamente estruturadas. Essas regras podem ser aplicadas às imagens, a fim de produzir mapas e inventários precisos para análise espacial da cobertura da vegetação (TOOKE et al., 2009).

A incorporação de dados obtidos em atividades de campo, assim como de dados ambientais auxiliares (modelos digitais do terreno, dados climáticos, entre outros) também podem melhorar a capacidade de distinção entre classes fitofisionômicas. Estudos têm mostrado que a distinção entre classes de vegetação pode ser beneficiada pela incorporação do conhecimento especializado através do emprego de regras empíricas sobre dados auxiliares para extrair temáticas específicas, como as diferentes espécies, grupos e comunidades de formações florestais (GAD; KUSKY, 2006; SHRESTHA; ZINCK, 2011).

Outros estudos relacionados à classificação da vegetação por árvores de decisão foram encontrados em Carvalho-Júnior et al. (2008) e Xu et al. (2005). Estes últimos avaliaram a utilidade desse classificador para o mapeamento do uso e cobertura da terra a partir de dados multiespectrais e hiperespectrais, e compararam o seu desempenho com os classificadores por Redes Neurais e Maxver. Eles concluíram que o desempenho dos classificadores por árvores de decisão em imagens hiperespectrais tende a ser limitado; no entanto, resultados de melhor qualidade foram alcançados nas imagens multiespectrais. Concluíram ainda que o classificador por árvores de decisão pode ser muito útil em determinadas circunstâncias,

principalmente quando os tipos de vegetação são estreitamente associados a outros recursos naturais, como o clima, o tipo de solo e a topografia, por exemplo. Sendo que algumas espécies de vegetação só podem crescer em áreas com elevação superior a um determinado nível, ou em uma situação micro ou topoclimática específica. Dessa maneira, estes dados podem ser incorporados dentro da “árvore” para auxiliar no processo de classificação das diferentes espécies e comunidades de formações florestais (CARVALHO-JÚNIOR et al., 2008; XU et al., 2005).

De maneira semelhante, Domacx e Suzen (2006) realizaram uma classificação fisionômica da vegetação em escala de semidetalhe para a região das montanhas de Amanos (sul da Turquia) usando imagens Landsat-7 (ETM+) e o sistema de classificação por árvores de decisão. Os autores relatam que incorporaram dados ambientais climáticos e topográficos no estabelecimento de regras, o que proporcionou uma melhora significativa da acurácia alcançada, quando comparada com o método de classificação por Máxima Verossimilhança (Maxver) tradicional.

Tal como referido nos parágrafos anteriores, atualmente existem muitos métodos de classificação de imagens para a extração de informações relativas à vegetação, com uma ampla variedade de aplicações. O emprego combinado de múltiplos métodos de classificação tende a aumentar a qualidade dos resultados. Contudo, devem ser tomados alguns cuidados para a adoção de um método em detrimento de outro, pois estes “classificadores melhorados” geralmente são projetados e desenvolvidos para solucionar problemas específicos sobre regiões que possuem características ambientais particulares.

Além disso, a discriminação de formações e espécies vegetais de uma única imagem só é possível onde a composição química das folhas, o seu teor de umidade e a estrutura dos dosséis, culminam em uma assinatura espectral única. Sendo assim, a classificação bem sucedida deve se basear na extração da assinatura espectral pura para cada espécie ou formação (fitofisionomia) específica, o que é muitas vezes ditado pela resolução espacial da imagem e pelo momento (data e hora) do seu registro (ASNER; HEIDEBRECH, 2012; VARSHNEY; ARORA, 2014). Dessa maneira, as pesquisas relacionadas à verificação dos melhores algoritmos de classificação de imagens, para a realização de análises das composições vegetais, consistem em um campo em constante evolução do sensoriamento

remoto e do processamento digital de imagens, pois não existe um “supermétodo” de classificação que possa ser aplicado universalmente.

Além destes métodos e técnicas citados nos parágrafos anteriores, que podem ser aplicados sobre diferentes tipos de imagens multiespectrais de média e alta resoluções espaciais, como as obtidas pelos satélites Landsat, SPOT, Geoeye, Raideye, IKONOS, QuickBird e WorldView; a pesquisa pela literatura recente relacionada às possibilidades técnicas de sensoriamento remoto e de processamento digital de imagens para o mapeamento e classificação da vegetação, permitiu identificar que, nos últimos anos, também vem se destacando o desenvolvimento de alguns métodos de classificação para serem aplicados exclusivamente sobre imagens hiperespectrais, principalmente daquelas obtidas pelos sensores AVIRIS e Hyperion.

Diferentemente das imagens multiespectrais, que geralmente possuem no máximo 12 canais (bandas espectrais) diferentes, ocupando largos intervalos do espectro eletromagnético, as imagens hiperespectrais incluem centenas de bandas correspondentes a pequenos intervalos do espectro. Devido a essa característica, os sensores hiperespectrais têm sido bastante utilizados para a identificação de assinaturas espectrais (pela relação entre reflectância e absorbtância) de espécies específicas nos estudos voltados para a composição florística das diferentes formações vegetais encontradas na superfície terrestre. Nesse mesmo sentido, a identificação de assinaturas de diferentes formações e comunidades de espécies vegetais também vem sendo aplicada, principalmente nos estudos baseados em análises de mistura espectral de pixels utilizando imagens hiperespectrais.

Um dos sensores mais utilizados nestes estudos é AVIRIS, cujo nome consiste na sigla para *Airborne Visible Infraed Spectrometer*. O AVIRIS é um sensor óptico aerotransportável (não orbital) que proporciona imagens calibradas em 224 bandas espectrais contíguas, em comprimentos de onda que vão desde 400nm (nanômetros) a até 2500nm (ou 0,4 a 2,5 micrômetros). A informação espectral contida dentro desses intervalos pode ser utilizada para identificar, medir e monitorar os diversos componentes da superfície terrestre, como espécies, comunidades e formações vegetais; com base nas suas assinaturas características da absorção molecular e da dispersão de partículas. Como os sensores AVIRIS são aerotransportados, a resolução espacial das imagens obtidas por eles varia de acordo com a altura de voo. No

entanto, têm se observado com maior frequência o uso de imagens com a resolução espacial de 20m (média da resolução espacial), obtidas a aproximadamente 20.000m de altura.

Em um dos estudos usando imagens AVIRIS, Li et al. (2005) classificou a vegetação presente em planícies flúvio-marinhas em San Pablo, na Califórnia-EUA. Os resultados foram satisfatórios, considerando o sucesso em classificar duas das principais espécies de vegetação associadas a este ambiente, a *Spartina* e a *Salicornia*, que, no caso, cobriam 93,8% do total da área mapeada. De maneira semelhante, Rosso et al. (2005) classificaram diferentes tipos de vegetação em ambientes húmidos (planícies fluviais) localizados em São Francisco, na Califórnia-EUA, através do uso de imagens AVIRIS multitemporais para o monitoramento da evolução fenológica da vegetação local, com a finalidade de fornecer novos conhecimentos capazes de subsidiar a gestão sustentável dos ecossistemas em regiões marcadas pela presença de solos húmicos e hidromórficos.

Assim como as imagens dos sensores aerotransportados AVIRIS, também vem sendo bastante utilizados para classificação da vegetação os dados hiperespectrais adquiridos pelo sensor orbital Hyperion, a bordo do satélite Earth Observing-1 (EO-1). O sensor Hyperion fornece imagens hyperspectrais, separadas em 220 canais (bandas espectrais) diferentes, que variam de 400nm (nanômetros) a até 2500nm, em uma resolução espacial de 30 metros. A área imageada pelo instrumento consiste em um retângulo de 7,5km de lado por 100 km de comprimento e fornece dados espectrais detalhados em todos os 220 canais.

Galvão et al. (2005) avaliaram a possibilidade de uso das imagens obtidas pelo sensor Hyperion para discriminação de variedades de cana de açúcar, cultivadas na região Norte do estado de São Paulo (região de Franca-SP). Os resultados mostraram que todas as cinco variedades cultivadas na região puderam ser discriminadas através do uso dos dados provenientes do sensor. Dessa maneira, esse estudo evidencia a capacidade de uso das imagens hyperspectrais para a distinção de diferentes espécies de plantas, o que, por outro lado, tende a ser mais complexo usando apenas imagens multispectrais clássicas (separadas em menos bandas, e correspondentes a intervalos espectrais mais amplas).

Embora os procedimentos gerais (pré-processamento e classificação) para imagens hiperespectrais sejam os mesmos daqueles necessários para a classificação das imagens multispectrais, o processamento de dados hiperespectral continua sendo um desafio. É

necessário, portanto, um conhecimento bastante especializado, tanto das características espectrais das imagens quanto do comportamento espectral dos objetos presentes na superfície (assinaturas espectrais), além da necessidade do uso de aplicativos computacionalmente eficientes para processar centenas de bandas diferentes (VARSHNEY; ARORA, 2014).

Dessa maneira, para a extração de espécies, comunidades e formações vegetais específicas nas imagens hiperespectrais, geralmente é necessária a obtenção prévia de um conjunto de bibliotecas de suas assinaturas espectrais (XAVIER et al., 2006). É possível que, em determinadas situações, as bibliotecas para algumas classes de vegetação já se encontrem previamente disponíveis. No entanto, para a maioria dos casos, a biblioteca de assinatura espectral das diferentes classes de vegetação a serem identificadas deve ser construída. Para tanto, devem ser levantados dados de “verdades” terrestres, obtidos por meio do uso de instrumentos espectrômetros e espectrorradiômetros hiperespectrais. Nesses casos, os levantamentos de campo devem ser planejados para que sejam efetuados no mesmo instante de captura das imagens, ou seja: de forma sincrônica, para que sejam evitados equívocos no seu processo de classificação (THENKABAIL; LYON; HUETE, 2011).

Em síntese, esses diversos métodos e técnicas de classificação da vegetação, com base nas suas assinaturas espectrais, podem ser aplicados para a identificação de espécies (composição florística) assim como das suas características estratigráficas predominantes, etapas essenciais para a designação das primeiras características das formações vegetais (distinção entre florestas, campos, savanas etc.), conforme estabelecido pelo sistema de classificação do IBGE (1992; 2012). Além dessas características, tais métodos também podem ser empregados para a caracterização das formações em um segundo nível, ou seja: aquele relacionado à estrutura dos seus dosséis (necessária à distinção entre florestas densas, abertas, mistas etc.).

Ainda baseados nas suas características espectrais, alguns dos métodos de classificação discutidos também podem ser aplicados para a identificação dos comportamentos fenológicos da vegetação frente às variações de temperatura e umidade ao longo do ano (Ombrófila, Estacional Semidecidual e Decidual), ou relacionadas ao seu estágio de sucessão atual (estágio inicial, segunda fase de sucessão, terceira fase de sucessão etc.), principalmente através da aplicação dos métodos capazes de utilizarem imagens multitemporais nas suas análises.

No entanto, conforme observado por diversos autores, a distinção do comportamento fenológico da vegetação pode ser também realizada através do uso de dados auxiliares, principalmente os climáticos e topográficos, a partir da utilização do conhecimento *a priori* de como se dá esta relação (Fitofisionomia- Clima-Relevo) em um determinado tipo de ambiente. Além disso, para a classificação completa das diferentes formações vegetais propriamente ditas, o IBGE (1992; 2012) também estabelece que elas devem ser classificadas em função das características topográficas às quais estão inseridas (Alto Montana, Montana, Terras Baixas), podendo ser utilizados, nestes casos, os Modelos Digitais de Elevação como dados auxiliares, eventualmente sendo necessários ainda o uso de mapas geomorfológicos e pedológicos para a distinção de formações específicas, como as diferentes formações savânicas e as que são condicionadas por influências fluviais, marinhas, flúvio-marinhas, como no caso das Formações Pioneiras.

Foram encontrados na literatura diversos tipos de estudos que objetivaram a classificação da vegetação mediante a aplicação dos diferentes métodos discutidos neste subitem e que atendem aos preceitos estabelecidos por esse sistema. No entanto, a título de exemplo, foram selecionados três casos correspondentes a publicações nacionais brasileiras: o mapeamento fitofisionômico da vegetação presente no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, realizado por Carvalho Júnior et al. (2008); o mapeamento das fitofisionomias da região de Cabo Frio-RJ, realizado por Bohrer et al. (2009); e a proposta metodológica para a classificação fitofisionômica da vegetação, realizada por Santiago et al. (2014).

Carvalho Júnior et al. (2008) realizaram a classificação fitofisionômica da vegetação presente no Parque Nacional da Serra dos Órgãos, situado na região serrana do estado do Rio de Janeiro. Para tanto, os autores utilizaram imagens provenientes do satélite ASTER que foram submetidas à classificação não supervisionada por SCM (*Spectral Correlation Mapper*) e que posteriormente foram correlacionadas a índices de vegetação, NDVI e EVI, extraídas dessas mesmas imagens para uma classificação prévia das primeiras características Fitofisionômicas (estratigrafia e estrutura dos dosséis). Posteriormente foi gerado um MDE por interpolação dos dados altimétricos (curvas de nível e pontos cotados) das cartas do IBGE correspondentes a área de estudo na escala 1:50.000. Desse MDE foram então extraídas de maneira automatizada algumas características morfométricas da área de estudo como a clinografia e a orientação de vertentes. Por último, os dados obtidos através da classificação da imagem ASTER foram combinados aos do MDE por árvores de decisão, o que resultou na

distinção de cinco tipos fitofisionômicos diferentes e uma classe associada a usos antrópicos (agropecuária), conforme pode ser observado na Figura 33.

FIGURA 33 – Mapa produto da classificação fitofisionômica da vegetação por Árvore de Decisão

Fonte: Carvalho Júnior et al. (2008).

Em outro tipo de abordagem, Bohrer et al. (2009), realizaram a classificação fitofisionômica da região que envolve o Município de Cabo Frio, o que é considerada pelos autores como um centro de diversidade vegetal e biológica. Para tanto, foi utilizado o classificador supervisionado *Maxver* para distinção estratigráfica e estrutural da vegetação, que posteriormente foram correlacionadas com dados climáticos, pedológicos e geomorfológicos com o uso da lógica difusa fuzzy. Como resultado, foram detectados 12 tipos fitofisionômicos diferentes e outras oito classes correspondentes a outros tipos de cobertura (não vegetais), conforme ilustrado na Figura 34.

FIGURA 34 – Classificação fitofisionômica da vegetação de Cabo Frio - RJ

Fonte: Bohrer et al. (2009).

De maneira diferente, Santiago et al. (2014) elaboraram uma proposta metodológica para a classificação das fitofisionomias presentes na região Noroeste do estado de Minas Gerais, a partir da aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) sobre imagens Landsat (ETM+), para a distinção das proporções dos componentes que são representados em cada pixel das imagens, ou seja: a análise de mistura espectral por pixel, para sua decomposição em diferentes proporções de radiância que podem ser utilizados para a identificação de componentes puros (proporção de cada classe contida no interior de um único pixel). Posteriormente, o resultado da aplicação do MLME foi submetido à classificação não supervisionada com o uso do algoritmo Isoseg. No final, o produto da classificação foi refinado através da interpretação visual diretamente no monitor. Como resultado obteve-se um mapa de fitofisionomias da área estudada com a distinção de 10 classes diferentes, sendo três delas alteradas pelas atividades pecuárias presentes na região, conforme ilustrado na Figura 35.

FIGURA 35 – Classificação fitofisionômica por Modelo Linear de mistura espectral

Fonte: Santiago et al. (2014).

Interessante notar que, dos quatro exemplos citados, esse foi o único que foi submetido a algum procedimento de aferição de qualidade de mapeamento; no caso, foram utilizados os índices de exatidão total e kappa, que apresentaram 81,6% (de exatidão total) 0,72 (de concordância kappa), o que representam bons resultados, considerando que o único classificador utilizado foi um não supervisionado e que não foram utilizados dados auxiliares no processo de classificação.

Dessa maneira, portanto, este subitem procurou demonstrar como o uso de técnicas de geoprocessamento, principalmente das técnicas de Sensoriamento Remoto e de Procedimentos Digital de Imagens, podem ser aplicados para o atendimento da demanda de classificação e mapeamento de fitofisionomias em Unidades de Conservação do estado de São Paulo, obedecendo aos preceitos estabelecidos pelo Termo de Referência da Fundação

Florestal (2010a) e do Sistema de Classificação da Vegetação brasileira, estabelecido pelo IBGE (1992; 2012).

Contudo, é importante ponderar que, apesar da ampla variedade atualmente disponível, tanto de fontes de dados diversas (imagens multiespectrais e hiperespectrais, e em média, alta e altíssimas resoluções espaciais) quanto das técnicas e metodologias de uso dessas imagens para a classificação da vegetação, os elevados custos envolvidos na obtenção desses dados, principalmente das imagens de altas resoluções espaciais e espectrais, ainda consiste em uma significativa limitação a ser superada, o que tem feito com que as imagens gratuitas, sobretudo as obtidas pelos satélites da série Landsat, ainda sejam as mais utilizadas nesses tipos de mapeamentos no Brasil e no mundo.

Nessa perspectiva, a disponibilidade de ortofotos recentes (2010-2011), em alta resolução espacial (1m), compreendendo a banda espectral correspondente ao infravermelho próximo, e com cobertura total do território paulista, como as disponibilizadas pelo Projeto Mapeia São Paulo executado pela Emplasa (2011), emerge como uma promissora alternativa para a classificação fitofisionômica da vegetação ocorrente no estado em escalas de detalhe, inclusive para a elaboração de Planos de Manejo futuros.

Além disso, é interessante observar que os diferentes produtos dos mapeamentos, cujas possibilidades técnico-metodológicas foram objetos de revisão dos subitens anteriores, como a classificação climática local, topoclimática e geomorfológica (incluindo a morfografia, morfometria, pedologia e geologia), consistem exatamente nos tipos de dados mais utilizados como auxiliares à classificação das diferentes formações vegetais (fitofisionomias), especialmente para o emprego do método de classificação por árvores de decisão (mais utilizado e que tem apresentado os melhores resultados).

Desse modo, tal constatação evidencia ainda mais a importância dos diferentes métodos revisados em cada um desses subitens anteriores, não apenas para a produção dos próprios mapeamentos temáticos específicos de cada submódulo que compõe os Planos de Manejo de UC do estado, de maneira estanque, mas também para dar suporte a outros mapeamentos temáticos demandados para o diagnóstico das Unidades de Conservação, no caso as fitofisionomias.

Entretanto, é importante salientar ainda que também foram encontradas na literatura publicações que obtiveram significativo sucesso na classificação de fitofisionomias mediante a aplicação do método de classificação orientada a objetos, conhecido pelas siglas OBIA (*Object Based Image Analysis*) ou GEOBIA (*Geographic Object Based Image Analysis*). Porém, para evitar a redundância da revisão da literatura relacionada aos temas de “mapeamento de fitofisionomias” e de “mapeamento de uso da terra” (objeto de revisão do próximo subitem), esse método de classificação encontra-se discutido e apresentado no próximo subitem, constando inclusive alguns exemplos específicos da sua aplicação para a classificação e o mapeamento fitofisionômico da vegetação.

7.2.4 - Mapa de Uso da Terra

O TdR determina que o Mapa de Uso da Terra seja representado na escala 1:50.000, e que nele se encontrem identificadas e localizadas as principais atividades econômicas desenvolvidas na UC e no seu entorno, como: agrícolas, pecuárias, florestais, minerais, industriais, urbanas e outras; de maneira que seja possível subsidiar a identificação de tendências na evolução do uso da terra na área da UC e no seu entorno, salientando os problemas ambientais decorrentes, existentes ou potenciais, relacionados ao desenvolvimento dessas atividades (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a, p. 29).

Na verdade, com exceção da indicação da escala mínima de mapeamento, tais indicações pouco contribuem para nortear os métodos e técnicas que devem ser levados em consideração para a execução desse mapeamento. Em função disso, portanto, para a realização da revisão da literatura recente relacionada às possibilidades tecnológicas atuais do geoprocessamento que são passíveis de serem entregues para a sua execução (mapeamento de uso da terra), foi realizado, primeiramente, um breve resgate sobre o conceito de uso da terra, assim como sobre os princípios técnico-metodológicos que envolvem esse tipo de mapeamento, conforme estabelecidos e/ou adotados pelo principal órgão que possui esta competência no Brasil: o IBGE.

Tal escolha, deu-se em função do fato de que a pesquisa (busca) pela literatura relacionada ao tema evidenciou a recorrência de uma certa confusão conceitual no uso dos termos “uso da terra” (“*Land use*” em inglês) e “cobertura da terra” (ou “*Land cover*”), apresentando-se, por vezes, até modificados para “uso do solo” e “revestimento”, sendo comum o emprego desses termos como sinônimos entre si. Além disso, os Manuais Técnicos produzidos pelo IBGE são referências de nível nacional na definição e no estabelecimento de normas e parâmetros técnicos para esse tipo de mapeamento temático.

Para a definição do termo “Uso da Terra” é necessário, *a priori*, que sejam compreendidos e definidos os termos “Terra”, “Uso” e “Cobertura”. Para tanto, pode-se recorrer ao “sistema básico de classificação da cobertura e do uso da terra”, estabelecido pelo IBGE em 2013 mediante a publicação do “Manual Técnico de Uso da Terra” (IBGE, 2013), que consiste em uma versão revisada e atualizada do documento de mesmo nome publicado pelo próprio IBGE em 2006 (IBGE, 2006). Ambos os documentos foram publicados com a intenção de padronizar os conceitos, as normas e os métodos que envolvem a produção desses tipos de mapeamentos no Brasil, em consonância com as proposições estabelecidas pela FAO (1976), internacionalmente reconhecidas e amplamente adotadas.

Dessa maneira, de acordo com o referido documento (IBGE, 2013, p.43), nas temáticas de “Uso e Cobertura da Terra”, o termo “Terra” deve ser entendido como:

[...] o segmento da superfície do globo terrestre definido no espaço e reconhecido em função de características e propriedades compreendidas pelos atributos da biosfera, que sejam razoavelmente estáveis ou ciclicamente previsíveis, incluindo aquelas de atmosfera, solo, substrato geológico, hidrologia e resultado da atividade do homem.

Para a definição de “Cobertura da Terra”, o IBGE (2013) adotou a proposta concebida por Anderson et al. (1979, p. 20), que a define como os diferentes “elementos da natureza como a vegetação (natural e plantada), água, gelo, rocha nua, areia e superfícies similares, além das construções artificiais criadas pelo homem, que recobrem a superfície da terra”.

Para o termo “Uso da Terra”, por sua vez, entende-se como “a função socioeconômica” das coberturas da terra, como por exemplo: agricultura, habitação, lazer, conservação ambiental, turismo etc. (IBGE, 2013, p. 44).

Dessa maneira, o “uso da terra” refere-se exclusivamente às funções sociais e econômicas dos diferentes padrões de “cobertura da terra” encontrados na superfície terrestre, sejam eles naturais ou antropogênicos. Nesse sentido, portanto, a classificação das fitofisionomias abordada no subitem anterior (subitem 7.2.3) consiste em uma classificação de diferentes tipos de “cobertura da terra”, no caso associadas a formações vegetais, que podem ter diferentes funções sociais (tipos de “usos”) atrelados a elas. Por exemplo: uma determinada cobertura vegetal de florestas pode referir-se a diferentes categorias de uso, como: a silvicultura, a conservação ambiental, o turismo e o lazer. Podendo inclusive, compreender mais de um tipo de uso simultaneamente, dependendo da escala de análise e de mapeamento. Como no caso de uma Unidade de Conservação que consista em um Parque Turístico, caso do PETAR no estado de São Paulo, que pode possuir no seu interior áreas destinadas, especificamente, para apreciação turística ou lazer. Em uma escala que não contemple a identificação de categorias de uso internas à UC, ela pode, todavia, ser classificada somente na categoria de conservação ambiental.

Outros autores também fizeram propostas que vão ao encontro dessas definições, ressaltando a utilidade desses mapeamentos, como em Ross (1994) que define o uso da terra como a forma pela qual o espaço geográfico é ocupado pelo homem, sendo esse o responsável pelas práticas de gestão do território e de usos sobre os ecossistemas e os recursos naturais existentes. Ainda segundo o autor, esses mapas podem revelar uma espécie de retrato instantâneo da manifestação dinâmica das relações socioeconômicas de um território, o que os tornam especialmente úteis às atividades de planejamento e de ordenamento territorial.

Nessa mesma perspectiva, Rosa (2007, p.163) descreve que a expressão “uso da terra” pode ser entendida como sendo a forma pela qual o espaço está sendo ocupado pelo homem. Dessa maneira, e de acordo ainda com o autor, “o estudo do uso da terra e ocupação do solo consiste em buscar conhecimento de toda a sua utilização por parte do homem”.

De maneira semelhante, Deák (1985) explicita que o termo “uso da terra”, diz respeito à combinação entre uma modalidade de uso (atividade) com a forma de assentamento (cobertura). Para o autor, a principal finalidade deste levantamento, é regular e controlar por leis de zoneamento ou leis de uso da terra, as diversas atividades e assentamentos no espaço geográfico.

Assim como identificado na presente pesquisa, Araújo-Filho et. al. (2007) relatam que os conceitos relativos ao uso da terra e à cobertura da terra são muito próximos, por isso, muitas vezes são usados indistintamente como sinônimos. Para o autor, “cobertura da terra” está diretamente associada com tipos de cobertura natural ou artificial, que é de fato o que as imagens de sensoriamento remoto são capazes de registrar, pois elas não registram atividades diretamente. Cabe ao intérprete a busca pelas associações entre reflectâncias, texturas, formas etc., para derivar informações acerca das atividades de “uso” que são exercidas nos diferentes padrões de “cobertura” identificados pela interpretação de imagens.

Nesse mesmo sentido, e também condizente com as propostas do IBGE (2013), Clawson e Stewart (1965), descrevem o emprego do termo “Uso da terra” como sendo apropriado para designar a manifestação física das atividades antropogênicas na superfície terrestre; e por “cobertura” como a identificação dos tipos de vegetação e das construções artificiais que recobrem a superfície terrestre.

Além das definições conceituais terminológicas, o sistema proposto pelo IBGE (2013) também estabelece que a classificação dos padrões de uso da terra deve obedecer a três níveis hierárquicos de análise (Nível I, Nível II e Nível III), que variam de acordo com a escala de mapeamento.

A estrutura hierárquica dos diferentes níveis de análise é estabelecida através de uma relação direta entre classes e subclasses de um nível mais elevado para o seu subsequente, ou seja: iniciando no primeiro nível, que descreve características mais gerais de “cobertura da Terra”, segue-se para o segundo nível, que dividem as classes do primeiro em subclasses de “usos da terra”, ocorrendo da mesma maneira no terceiro nível em relação ao segundo. No nível mais elevado são utilizados poucos critérios para definir as classes, enquanto nos níveis mais baixos (II e III) o número de critérios aumenta, dando maior consistência para ordenar os variados níveis de informação.

Dessa maneira, a divisão hierárquica do Sistema de Classificação é composta da seguinte maneira: o Nível I possui 5 categorias (ou classes) relativas às “coberturas da terra”; o Nível II possui 12 categorias relativas a diferentes “usos da terra”; e o Nível III explicita o uso da terra “propriamente dito” (IBGE, 2013, p. 42), dividido em 85 categorias diferentes. As classes de nível mais detalhado estão contidas nas classes de menor detalhe. Os nomes das classes contêm normalmente uma referência à classe de nível anterior em que se incluem.

Cada classe é provida de um código que representa por completo a sua posição na estrutura hierárquica, por exemplo: Classe 1 – nível I; Classe 1.1 – nível II; Classe 1.1.1 – nível III. Uma parte da estrutura de relação entre as categorias que integram estes diferentes níveis de análise são apresentadas na Tabela 2 a seguir.

TABELA 2 – Sistema de Classificação de coberturas e usos da terra proposto pelo IBGE (2013)

Nível I Classe	Digito II	Nível II Subclasse	Digito III	Nível III Unidades*
1 - Áreas Antrópicas Não Agrícolas	1.1	Áreas Urbanizadas	1.1.1	Vilas
			1.1.2	Cidades
			1.1.3	Complexos industriais
			1.1.4	Áreas urbano-industrial
			1.1.5	Outras áreas urbanizadas
	1.2	Áreas de Mineração	1.2.1	Minerais metálicos
			1.2.2	Minerais não metálicos
2 - Áreas Antrópicas Agrícolas	2.1	Culturas Temporárias	2.1.1	Graníferas e cerealíferas
			2.1.2	Bulbos, raízes e tubérculos
			2.1.3	Hortícolas e floríferas
			2.1.4	Espécies temporárias produtoras de fibras
			2.1.5	Oleaginosas temporárias
			2.1.6	Frutíferas temporárias
			2.1.7	Cana-de-açúcar
			2.1.8	Fumo
			2.1.9	Cultivos temporários diversificados
			2.1.10	Outros cultivos temporários (abóbora, trevo forrageiro, etc.)
	2.2	Culturas Permanentes	2.2.1	Frutíferas permanentes
			2.2.2	Frutos secos permanentes
			2.2.3	Espécies permanentes produtoras de fibras
			2.2.4	Oleaginosas permanentes
			2.2.5	Cultivos permanentes diversificados
			2.2.6	Outros cultivos permanentes
	2.3	Pastagens	2.3.1	Pecuária de animais de grande porte
			2.3.2	Pecuária de animais de médio porte
			2.3.3	Pecuária de animais de pequeno porte
	2.4	Silvicultura	2.4.1	Reflorestamento
			2.4.2	Cultivo agroflorestal
	2.5	Uso não identificado	2.5.1	Uso não identificado

Fonte: (IBGE, 2013 p. 46).

Esses diferentes níveis de análise também possuem relação direta com as escalas de mapeamento; ou seja, a distinção de categorias em um determinado nível é mais adequada a uma determinada escala de mapeamento. De acordo com o IBGE (2013), o Nível I é geralmente aplicado para os levantamentos de uso e cobertura da terra nas escalas

esquemáticas e exploratórias (até 1:750.000), o Nível II relaciona-se com os levantamentos de reconhecimento de baixa e média intensidade (até a escala 1:100.000), e o Nível III é utilizado para os reconhecimentos de alta intensidade e para os levantamentos semidetalhados (até a escala 1:25.000); conforme pode ser constatado na Tabela 3 a seguir, que relaciona esses níveis de levantamentos com as escalas de mapeamento.

TABELA 3 – Relação entre os níveis de detalhamento dos mapeamentos e as suas escalas nominais

Níveis de levantamentos	Escalas usuais	Distância no terreno em Km, para cada 1cm no mapa	Área mínima mapeável	
			ha	Km2
Ultradetalhados	1:500	0,005	0,001	0,00001
	1:1 000	0,01	0,004	0,00004
	1:2 000	0,02	0,016	0,00016
	1:5 000	0,05	0,10	0,0010
Detalhados	1:7 000	0,07	0,19	0,0019
	1:8 000	0,08	0,25	0,0025
	1:10 000	0,10	0,40	0,004
	1:15 000	0,15	0,90	0,009
	1:20 000	0,20	1,60	0,016
Semidetalhados	1:25 000	0,25	2,50	0,025
	1:30 000	0,30	3,60	0,036
	1:50 000	0,50	10	0,10
Reconhecimento de alta intensidade	1:50 000	0,50	10	0,10
	1:60 000	0,60	14,4	0,14
	1:75 000	0,75	22,5	0,22
	1:100 000	1	40	0,4
Reconhecimento de média intensidade	1:100 000	1	40	0,4
	1:150 000	1,5	90	0,9
	1:200 000	2,0	160	1,6
	1:250 000	2,5	250	2,5
Reconhecimento de baixa intensidade	1:250 000	2,5	250	2,5
	1:300 000	3	360	3,6
	1:500 000	5	1.000	10
	1:750 000	7,5	2.250	22,5
Exploratórios	1:750 000	7,5	2.250	22,5
	1:1 000 000	10	4.000	40
	1:2 500 000	25	25.000	250
Esquemáticos	1:5 000 000	50	100.000	1.000
	1:10 000 000	100	400.000	4.000
	1:15 000 000	150	900.000	9.000

Fonte: IBGE (2007).

O sistema deixa ainda em aberto a possibilidade de inclusão de novos níveis (subclasses para as classes de Nível III) para a execução de levantamentos nas escalas de detalhe e ultradetalhe.

A observação dessas relações entre os Níveis de análise e as escalas de mapeamento, também são importantes para a escolha das imagens que podem ser utilizadas para a classificação de uso e cobertura da terra, pois também há uma relação direta entre a resolução espacial das imagens digitais obtidas por Sensoriamento Remoto e a escala dos diferentes tipos de levantamentos realizados através delas.

De acordo com os requisitos de qualidade de mapeamentos impostos pela Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR), mediante o Decreto Federal nº 89.817, de 20 de junho de 1984, que estabeleceu as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional, para os mapeamentos serem classificados na classe A, ou seja, serem considerados como de maior precisão e acurácia, eles devem apresentar um Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) com erro planimétrico igual ou inferior a 0,5mm na escala do mapa (BRASIL, 1984).

Devido a essa determinação da CONCAR, muitos trabalhos que vêm sendo produzidos no Brasil têm utilizado a resolução espacial da imagem como definidora da escala adequada de mapeamento, através do estabelecimento de uma relação direta entre ela (resolução espacial) com a medida estabelecida para a classe A de mapeamento (0,5 mm); ou seja, a resolução espacial da imagem seria equivalente a 0,5 mm do mapa produzido a partir dela (imagem). Dessa forma, seria possível identificar a escala máxima de mapeamento oferecida pela imagem (BOGGIONE et al. 2009). Por exemplo: uma imagem com resolução espacial de 30m (como a Landsat ETM+) seria adequada para a produção de mapeamentos até a escala 1:60.000, visto que 30m corresponderia a 0,5 mm no mapa.

No entanto Wolf e Dewitt (2000) observaram que a frequência máxima com que uma cena pode ser representada através de uma imagem é dada pela frequência de Nyquist, ou seja, a metade da frequência de amostragem. A frequência de amostragem é dada pelo tamanho do pixel quando a função de espalhamento do ponto (*Point Spread Function*) é menor do que o espaçamento entre linha e colunas. Assim, somente alvos com tamanho de pelo menos dois pixels podem ser representados pela imagem em questão. Portanto, nessa

lógica, os menores objetos que podem ser representados na imagem não são equivalentes a um único pixel, mas sim a dois pixels.

Dessa maneira, a escala máxima de mapeamento oferecida pela imagem seria determinada pela correspondência entre o tamanho equivalente a dois pixels da imagem com o 0,5 mm estabelecido pela CONCAR. Por exemplo: uma imagem com resolução espacial de 30m (como a Landsat ETM+), é adequada para a produção de mapeamentos até a escala 1:120.000, tendo em vista que 60m (valor equivalente a dois pixels da imagem) corresponde a 0,5 mm no mapa.

Entretanto, Meneses e Almeida (2012) esclarecem que essas duas abordagens para o cálculo da escala de mapeamento oferecidas pelas imagens digitais provenientes de Sensores Remotos estão equivocadas, pois elas levam em consideração o “erro planimétrico admissível” (0,5 mm) que foi estabelecido pela CONCAR para as cartas e mapas de classe A, enquanto o correto seria considerar a precisão gráfica; ou seja, a menor grandeza medida no terreno é capaz de ser identificada e representada em um mapa, o que equivale a 0,2 mm, conforme foi estabelecido pela ABNT mediante a publicação da NBR 13133, em 30 de Junho de 1994 (ABNT-NBR, 1994).

O erro gráfico está relacionado com a exatidão planimétrica do produto cartográfico, sendo intimamente relacionada com a sua escala. Ele é o menor comprimento gráfico que se pode obter em uma representação cartográfica. Como a escala é uma relação de proporção entre uma representação gráfica e a superfície terrestre representada, a exatidão dessa representação é dada em função da relação entre o erro gráfico e a escala do documento cartográfico, e para imagens seria equivalente a um pixel da mesma (MENESES e ALMEIDA, 2012):

$$\begin{aligned}E_g &= 0,0002 \times F_e \\E &= 1/F_e\end{aligned}$$

Equação 5

sendo, E_g = erro tolerável em metros

E = escala do documento cartográfico

F_e = fator de escala do documento cartográfico

Portanto, tomando por base a equação 5, a Tabela 4 apresenta a relação entre diferentes possibilidades de resolução espacial encontradas nas imagens digitais com as escalas máximas de mapeamento que podem ser adotadas.

TABELA 4 – Relação entre escala máxima de mapeamento e resolução espacial de imagens de Sensoriamento Remoto Orbital

Escala Máxima	Resolução Espacial	Área relativa a 1 pixel (m ²)
1:500	0,1	0,01
1:1.000	0,2	0,04
1:2.500	0,5	0,25
1:5.000	1	1
1:10.000	2	4
1:25.000	5	25
1:50.000	10	100
1:100.000	20	400
1:150.000	30	900
1:500.000	100	10.000

Fonte: Elaborada pelo autor em 2015

Cabe ressaltar que o cálculo das escalas expostas acima desconsidera possíveis erros provindos do processo de georreferenciamento e ortorretificação das imagens, que pode variar de acordo com o erro médio quadrático (RMSE) obtido no processo.

Sendo assim, como a escala mínima para a classificação e o mapeamento de uso da terra exigida pelo TdR da Fundação Florestal (2010a) é de 1:50.000, as imagens que podem ser utilizadas para a sua execução devem ter resolução espacial maiores ou iguais a 10m, de acordo com os pressupostos estabelecidos pela ABNT (ABNT/NBR-13133, 1994) e observados por Meneses e Almeida (2012).

Tal constatação limita as possibilidades de execução deste mapeamento, somente para imagens com alta e média/alta resolução espacial, ou seja, superior a 10m. A Tabela 5, a seguir, apresenta a relação de alguns satélites (sensores orbitais) que apresentam essa característica, informando as suas respectivas resoluções espaciais, anos de lançamento e países de origem.

TABELA 5 – Sensores de alta resolução espacial

SATÉLITES DE SENSORIAMENTO REMOTO DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL			
IKONOS-2	USA	1999	1 m
QUICKBIRD	USA	2001	60 cm
ALOS	JAPÃO	2006	2,4 m
CARTOSAT-2	INDIA	2007	2,5 m
FORMOSAT-2	TAIWAN	2006	2,5 m
GEOEYE-1	USA	2008	41 cm
KOMPASAT-2	KOREA	2006	1m
WORLDVIEW-2	USA	2009	50 cm
ORBVVIEW-3	USA	2003	1 m

Fonte: Meneses e Almeida (2012).

Podem ser considerados ainda para os levantamentos de uso e de cobertura da terra em escalas iguais ou superiores a 1:50.000, as imagens obtidas através do satélite SPOT, que possui resolução espacial de 10m; do Rapdeye, com resolução espacial de 6,5m; do ALOS, com resolução espacial de 10m; e do Pléiades, com resolução espacial de 2m; considerando somente as resoluções espaciais das suas imagens multiespectrais, que são as mais importantes para a classificação digital do uso e cobertura da terra.

Para a identificação das classes de uso da terra nessas imagens, a proposta metodológica do IBGE (2013) baseia-se nas técnicas de Processamento Digital de Imagens, mas menciona também a necessidade de realização de levantamentos bibliográficos, estatísticos e de campo, para serem utilizados como dados auxiliares à classificação digital das imagens.

A interpretação estereoscópica de fotografias aéreas verticais com base nos elementos de interpretação de imagens é, sem dúvida, o método mais tradicional para a classificação e mapeamento de uso da terra (ANDERSON et al., 1979; KELLER, 1969). No entanto, assim como observado nos mapeamentos geomorfológicos e fitofisionômicos, desde ao menos o surgimento das imagens orbitais e dos Sistemas de Informações Geográficas, a partir da década de 1970, a fotointerpretação estereoscópica vem sendo superada pelas novas opções oferecidas por estas tecnologias (LUCHIARI, 2005). Provavelmente, seja em função disso, que a proposta metodológica constante na versão atualizada do “Manual Técnico de Uso da Terra” do IBGE (2013), é inteiramente direcionada a classificação digital de imagens.

Entretanto, apesar de se basear no uso de técnicas de Processamento Digital de Imagens sobre produtos do Sensoriamento Remoto, principalmente das imagens orbitais, pode ser constatado que a proposta metodológica do IBGE (2013), não se difere significativamente das propostas tradicionais de classificação digital de imagens. Uma vez que nelas são indicadas a necessidade de aplicação das correções geométricas e radiométricas, para assegurar a qualidade das interpretações, assim como a aplicação de técnicas de realce e de filtragens para o reconhecimento das assinaturas espectrais associadas às diferentes classes de uso da terra, previamente identificadas e localizadas nos levantamentos de campo como uso de receptores GNSS. Essa sequência de procedimentos é também citada pela maioria dos autores que se propuseram a descrever os métodos típicos da classificação digital de imagens (CAMPBELL, 1983; CROSTA, 1992; GONZALEZ; WOODS, 2000; INPE, 2001; JENSEN, 1986; 2009; LILLESAND; KIEFER, 1987; LUCHIARI; KAWAKUBO; MORATO, 2011; NOVO, 1988; MOREIRA, 2001; RICHARDS, 1986), conforme já brevemente apresentado na Revisão Conceitual das técnicas de PDI (subitem 4.2.3).

Após a identificação das assinaturas dos alvos (classes de uso da terra) objetos de mapeamento, o método proposto pelo IBGE determina que seja realizada a classificação da imagem, mediante o uso de classificadores supervisionados ou não supervisionados. A Figura 36 a seguir ilustra de maneira sintetizada a sucessão de etapas envolvidas no processo descrito acima.

Diversos autores também têm sintetizado o processo de classificação por Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto de uma forma bastante semelhante a essa proposta do IBGE (2013), como em Fonseca et al. (2009) que apresentam a sucessão de etapas ilustradas na Figura 37. Na Figura 38 é apresentada a sucessão de etapas proposta por Meneses e Almeida (2012), que também é muito semelhante a às anteriores, apesar de ser mais completa, por descrever o rol de opções específicos para cada uma das etapas.

FIGURA 36 – Síntese das etapas de classificação digital de coberturas e usos da terra proposta pelo IBGE (2013)

Fonte: IBGE (2013).

FIGURA 37 – Síntese das etapas de classificação digital de coberturas e usos da terra proposta por FONSECA et al. (2009)

Fonte: Fonseca et al. (2009).

FIGURA 38 – Síntese das etapas de classificação digital de coberturas e usos da terra proposta por MENESES e ALMEIDA (2012)

Fonte: Meneses e Almeida (2012).

No entanto, outros autores, como Blaschke e Strobl (2001), Burnett e Blaschke (2003), e Fisher (1997), ressaltam que os métodos tradicionais de classificação de imagens (supervisionados e não supervisionados) foram concebidos durante as décadas de 1980 e 1990, principalmente para a classificação de imagens orbitais multiespectrais de média e baixa resolução espacial, únicas disponíveis na época. Nesse mesmo sentido, Hay et al. (2001) e Blaschke et al. (2004) observam que essas imagens possuem a característica de apresentarem pixels relativamente “grosseiros”, ou seja, são constituídas por pixels geralmente maiores ou próximos ao tamanho dos objetos de interesse de classificação.

Com o surgimento de imagens de alta resolução espacial, verificado especialmente a partir do fim da década de 1990 e início do século XXI, conforme apresentado na Tabela 5, diversos autores passaram a questionar a eficiência da aplicação desses métodos tradicionais de classificação sobre as novas imagens de alta resolução espacial disponíveis, o que, de maneira semelhante à verificada na revisão da literatura do mapeamento de fitofisionomias (abordada no subitem 7.2.3), levou a comunidade científica a conceber novos métodos mais ajustados às características desses dados (BLASCHKE; STROBL, 2001; BLASCHKE, 2010). Entre eles, podem ser citados os métodos de classificação por Redes Neurais Artificiais (FILIPPI; JENSEN, 2006; FOODY, 2004; HANSEN et al., 2006; HILL et al., 2007; KAVZOGLU; MATHER, 2004); por Árvores de decisão (DE-FRIES; CHAN, 2000; LAWRENCE; WRIGHT, 2001; MAHESH; MATHER, 2003; PAL; MATHER, 2003; XU et al., 2005); por classificadores contextuais (SHARMA e SARKAR, 1998; STUCKENS et al., 2000; TANSEY et al., 2004; XU et al., 2003); por SVM (BENNET et al., 1999; CHAPELLE et al. 1999; SZUSTER et al., 2011; TZOTSOS; ARGIALAS, 2008); por SAM (LAWRENCE et al., 2004; JOSEPH et al. 1996; SOHN; REBELLO, 2002); e por classificadores híbridos (DEBEIR et al., 2002; LU e WENG, 2004; STEELE, 2000; VATSAVAI; SHEKHAR, 2002).

Esses métodos de classificação, citados no parágrafo anterior, são os mesmos que foram apresentados e discutidos no subitem 7.2.3 (mapeamento de fitofisionomias), então chamados naquela ocasião de “classificadores melhorados”.

Contudo, a pesquisa pela literatura ainda mais recente, posterior ao ano de 2005, relacionada à produção de mapas de uso da terra em escalas de semi-detalle e de detalle, conforme exigido pelo Termo de Referência da Fundação Florestal (2010a), e mediante o uso de imagens de alta resolução espacial, que são as compatíveis com os levantamentos nessas escalas, evidenciou uma forte tendência contemporânea do emprego do método de

classificação por “Análise de Imagens Baseada em Objetos”, ou *Object Based Image Analysis* (OBIA), pois este tipo de abordagem representou a maioria das evidências encontradas para estas condições: mapeamentos de uso e de cobertura da terra em escalas superiores a 1:50.000, através da classificação de imagens de alta resolução espacial. Em menor quantidade que este, foram encontrados também trabalhos desenvolvidos com o uso de sistemas de classificação por Redes Neurais Artificiais, por Árvores de decisão, por classificadores contextuais, por SVM e SAM, e através do uso de classificadores híbridos, já citados anteriormente.

À vista desses fatos, e somado ao fato de que as principais características dos métodos tradicionais de classificação digital de imagens já foram discutidas no item 4.2.3 da Revisão Conceitual (capítulo 4), da mesma maneira que os principais métodos “melhorados” de classificação também já foram abordados e discutidos no subitem 7.2.3, para evitar a repetitividade e a redundância das revisões entre os diferentes temas selecionados (Mapeamento Geomorfológico, Climático, Fitofisionômico e de Uso da Terra) optou-se, no presente subitem, por realizar a revisão integrada da literatura apenas no que se refere às principais técnicas envolvidas nesse método de classificação (OBIA) para o mapeamento de cobertura e de uso da terra.

Entretanto, é importante ressaltar que o método OBIA pode ser aplicado para uma ampla variedade de finalidades que vão além da definição de classes de cobertura e uso da terra sobre imagens de sensoriamento remoto, sendo que algumas já foram apresentadas nesta pesquisa (como no subitem 7.2.1 referente ao Mapeamento geomorfológico). Uma revisão mais abrangente da literatura relacionada ao método pode ser encontrada em Bian (2007), em Blaschke (2010), e em Blaschke et al. (2014), que abordam a sua evolução conceitual e sua diversificada possibilidade de aplicação para diferentes tipos de levantamentos e análises socioambientais.

Desse modo, nos próximos parágrafos são apresentados e discutidos, de forma sintética, os principais conceitos e procedimentos técnicos e operacionais que permeiam a utilização desse método e, no final, são ainda apresentados alguns exemplos de sua aplicação, não apenas para a produção de mapas de cobertura e uso da terra nas escalas de detalhe e de semidetalhe (iguais ou superiores a 1:50.000), mas também para a identificação de tendências na dinâmica de uso e ocupação da terra, que também consiste em uma das exigências

requeridas pelo Termo de Referência da Fundação Florestal (2010) para esse tipo de mapeamento.

O método de classificação de imagens orientado ao objeto (OBIA), também conhecido como GEOBIA (BIAN, 2007; HAY; CASTILLA, 2008), assim como nos casos dos “classificadores melhorados”, surgiu da necessidade de criação de métodos de classificação que fossem mais adequados às imagens de alta resolução espacial; ele, inclusive, também pode ser colocado dentro dessa categoria (“classificadores melhorados”), já que foi concebido para a mesma finalidade deles e na mesma época (durante a década de 1990 e início do século XXI). No entanto, ele ainda se encontra em evolução, pois novos procedimentos vêm sendo constantemente criados e incorporados ao método, o que tem ampliado a sua utilização, principalmente nos meios acadêmicos científicos, e aprimorado ainda mais a qualidade dos resultados obtidos pela sua aplicação em situações geográficas diversas e sobre diferentes tipos de imagens. Devido a essas características, alguns autores chegaram a categorizá-lo como um “novo paradigma” da classificação digital de imagens (BLASCHKE, 2010; HAY; CASTILLA, 2008) e até das análises espaciais e modelagens desenvolvidas com SIG (BIAN, 2007; BLASCHKE et al., 2014), chegando a ser considerado como uma subdisciplina das Ciências de Informações Geográficas (BLASCHKE et al., 2014; HAY; CASTILLA, 2008).

Apesar disso, assim como na ponderação realizada no subitem 7.2.3 para os outros classificadores melhorados, merece ser salientado que o método OBIA também deriva dos classificadores tradicionais, pois incorpora muitos dos seus processos mais consagrados, como a segmentação e coleta de amostras de treinamento com base nas assinaturas espectrais dos alvos-objetos de mapeamento. Entretanto, além desses procedimentos, típicos de qualquer método de classificação digital tradicional, ele também incorpora algumas das abordagens dos classificadores melhorados, a análise contextual (usada nos classificadores contextuais), o estabelecimento de regras com o uso de dados auxiliares (comum nas classificações por “árvores de decisão”), além de algumas características intrínsecas do método de fotointerpretação analógica de imagens.

Segundo Bian, (2007), o conceito de orientação ao objeto tem origem nas ciências da computação e só foi introduzido pela primeira vez na comunidade geográfica no final de 1980, no trabalho publicado por Egenhofer e Frank (1987). Desde então, tem aparecido com maior frequência na literatura relacionada ao Processamento Digital de Imagens,

Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas. A adoção da abordagem orientada a objetos com SIG e *softwares* de PDI reflete a influência do rápido desenvolvimento da tecnologia da informação durante a década de 1990.

Hay e Castilla (2008), entretanto, observam que a análise por orientação a objetos (OBIA) também é usada em muitas disciplinas diferentes (Biomedicina, Astronomia, Microscopia, Ciências da Computação etc.), e só mais recentemente vem sendo usada no SIG e PDI de Sensoriamento Remoto; para esses casos, os autores sugerem então o uso do termo “GEOBIA”, sigla correspondente a “*Geographic Based Image Analysis*”, para enfatizar o componente geográfico da sua aplicação no Processamento Digital de Imagens e nos Sistemas de Informação Geográfica. De fato, o que tem se observado é uma maior adoção deste termo (GEOBIA) nas pesquisas mais recentes que se utilizaram deste método.

Os autores salientam que os classificadores digitais tradicionais tratam as imagens de Sensoriamento Remoto como se elas fossem constituídas por pixels isolados, não em uma malha composta por padrões espaciais. Consequentemente, os parâmetros estruturais de pleno direito da imagem, ou seja: cor, tom, textura, padrão, forma, sombra, contexto etc., foi deixado de lado por essa abordagem, só podendo ser explorada manualmente por intérpretes humanos (HAY; CASTILLA, 2008).

No entanto, desde o início do século XXI, alguns *softwares* comerciais têm sido criados especificamente para o delineamento e análise de objetos sobre imagens de sensoriamento remoto (em contraposição à abordagem por pixels individuais), como é o caso do *e-Cognition*, do *InterIMAGE* e do ENVI através do módulo *Feature Extraction*. Nesse “novo” tipo de abordagem é possível simular, através de diferentes tipos de rotina, os elementos de interpretação de imagens clássicos do método de fotointerpretação analógica. Isso é feito mediante o estabelecimento de limiares relacionados aos atributos dos “objetos”, tais como a forma, ao padrão, à textura, ao contexto etc.; bem como à sua associação com outros tipos de dados. Para apreensão das principais características do método, será definido a seguir o que é entendido por “objeto”, “segmentação multirresolução”, ou “multinível”, e “rede semântica hierárquica” dos objetos, que são as principais características que distinguem o método dos demais.

Segundo Bian (2007), os objetos representam entidades que se distinguem em uma imagem, como por exemplo: um tipo de cultura agrícola, atividades minerárias, áreas urbanas;

ou até mesmo uma casa, uma árvore, um veículo; dependendo da escala de análise e da resolução espacial da imagem utilizada.

Nesse sentido, portanto, ao menos do ponto de vista técnico, qualquer entidade ou característica da paisagem pode ser classificada como um objeto, a sua capacidade de identificação depende apenas da escala e do tipo de imagem utilizada. No entanto, no que se refere exclusivamente à classificação de usos e coberturas da terra, Wand (1989) e Egenhofer e Frank (1992) observam que duas características fundamentais estão associadas aos objetos: eles devem ser passíveis de localização absoluta na superfície terrestre (georreferenciados) e devem ser representados de maneira discreta (com limites rígidos definidos).

Tal concepção relacionada ao termo “objeto” em GEOBIA também vai ao encontro da proposição de Rumbaugh et al., (1991; 2004) de que o objeto é composto por atributos e comportamentos em uma única entidade. Sendo as suas principais características: a identidade, a classificação, o polimorfismo e a herança.

Os autores explicam que a Identidade representa a subdivisão dos dados em entidades discretas e distintas denominadas de objetos, assim como preceituado por Wand (1989) e Egenhofer e Frank (1992). Por classificação entende-se o ato de agrupar objetos com a mesma estrutura de dados e com o mesmo comportamento espectral e de outros atributos, sendo cada objeto uma instância (entidade) de uma classe. Polimorfismo consiste na capacidade de diferentes operações (rotinas de aplicativos) atuarem de modos diversos em classes diferentes. Por herança entende-se o compartilhamento de atributos e operações entre classes com base em um relacionamento hierárquico (RUMBAUGH et al., 1991; 2004; BLASCHKE, 2010).

Dessa maneira, os pilares que sustentam o método de classificação por GEOBIA, e que o diferencia dos outros métodos de classificação digital de imagens, consistem no princípio da segmentação multirresolução (ou multinível) e a utilização da semântica dos objetos estruturada em uma rede hierárquica de descritores.

O princípio da segmentação multirresolução consiste essencialmente na aplicação de algoritmos estatísticos sobre uma imagem digital para que se possam reduzir as informações da imagem em regiões (ou objetos) homogêneas. Diversos algoritmos de agregação podem ser utilizados. em geral, a sua disponibilidade varia de acordo com o aplicativo (*software*) utilizado. É importante, porém, ressaltar que a qualidade da segmentação depende não apenas do algoritmo selecionado, mas de um apropriado ajuste de seus parâmetros, o que geralmente

demanda a realização de vários testes para atingir o nível de classificação dos objetos desejados.

A segmentação leva em consideração várias características da imagem, como a homogeneidade e heterogeneidade espacial (forma) e espectral (tonalidade, cor, sombra e textura), que definem cada um dos segmentos através do crescimento de regiões (agregação de pixels vizinhos).

Segundo Blaschke (2010) os segmentos são regiões geradas por um ou mais critérios de homogeneidade e heterogeneidade em uma ou mais dimensões. O algoritmo de segmentação multirresolução baseia-se no crescimento de regiões, no qual cada pixel é classificado em um único segmento da imagem, baseando-se na definição de homogeneidade das informações espectrais e espaciais da imagem. O processo não precisa, necessariamente, ser realizado sobre uma única imagem, ele pode compreender diferentes cenas obtidas por diferentes tipos de sensor inclusive.

Segundo Esch et al. (2008) o processo de segmentação é aplicado através de pelo menos três parâmetros definidos pelo intérprete: a escala (dimensão dos objetos), a tonalidade/cor (informação espectral dos objetos) e a forma (compacidade/suavidade das bordas dos objetos). O parâmetro de escala determina a heterogeneidade máxima de objetos em uma imagem em função do tamanho mínimo ou máximo desejado para esses objetos; assim, um parâmetro de escala com valores maiores produz necessariamente objetos ou regiões maiores.

O parâmetro tonalidade/cor refere-se às características espectrais dos objetos e é definido por um valor de agregação através do qual os objetos espectralmente similares são agregados. Por último, o parâmetro de forma consiste basicamente na união dos parâmetros de compacidade e suavidade, em que o parâmetro compacidade é definido pela razão da área do objeto e o raio da circunferência abrangente, e o parâmetro de suavidade expressa o limite entre objetos, em que, quanto mais fractal, maior o índice de forma.

Dessa maneira, a segmentação multirresolução gera, em um primeiro momento, segmentos (ou regiões) correspondentes a grandes classes que, posteriormente, são refinadas em sucessivas subclasses mais detalhadas pela introdução de critérios semânticos relacionados aos atributos dos objetos. Nesse tipo de segmentação cada subclasse herda, necessariamente, todas as propriedades de sua superclasse, acrescentando suas próprias

características exclusivas; ou seja, ela obedece a uma estrutura hierárquica de segmentação, na qual classes maiores são subdivididas em menores, sucessivamente, até atingir a classificação dos objetos, ou do nível de detalhe de interesse. Desse modo, a partir de duas classes distintas e mais abrangentes, vão se formando subdivisões sucessivas que mantêm a relação de dependência com as classes de nível superior. Assim, as propriedades da superclasse não precisam ser repetidas em cada subclasse (BLASCHKE, 2010). A Figura 39, apresentada a seguir, ilustra este conceito de segmentação multirresolução do método GEOBIA.

FIGURA 39 – Segmentação Multirresolução da abordagem GEOBIA

Fonte: Blaschke (2014).

Segundo Blaschke (2014) a classificação em GEOBIA é construída em uma estrutura de classes e superclasses, a qual mantém a relação de dependência entre elas, que são subordinadas pelo conhecimento adquirido através da introdução de regras de decisão sobre as propriedades (atributos) que compõem os objetos de interesse de classificação.

Este conhecimento adquirido é empregado no processo de classificação através da implementação de uma rede semântica hierárquica relacionada aos atributos dos objetos que melhor os descrevem nas imagens. Dessa forma, ela é responsável por armazenar o conhecimento do intérprete sobre a área de estudo, e é com base nela que os objetos são classificados.

Dessa maneira, pode-se dizer, portanto, que a semântica dos objetos consiste no conhecimento *a priori*, ou adquirido pelo intérprete, sobre alguns atributos específicos dos objetos que podem ser utilizados para a sua classificação. De maneira geral, esses atributos são correspondentes a alguns dos elementos utilizados na fotointerpretação analógica, conforme já citado anteriormente. Em GEOBIA, os principais são: textura, forma, padrão e contexto. De acordo com Blaschke (2014), a semântica consiste na incorporação da “sabedoria do usuário” ao processo de classificação, através do estabelecimento de regras sobre diferentes atributos (aspectos) dos objetos.

Segundo Witten et al. (2011), a rede semântica hierárquica da abordagem GEOBIA incorpora os mesmos princípios do classificador por Árvore de decisão pois se utilizam da mesma abordagem “dividir-e-conquistar”. Segundo o autor, em ambas as abordagens a classificação de regiões (classes), que possuem diversos descritores associados, é decomposta em subregiões (subclasses) e, recursivamente, a mesma estratégia é aplicada a cada subregião, adicionando testes à árvore que está sendo construída, sempre se esforçando em encontrar os atributos nos quais o conjunto de objetos (regiões/classes) possa ser dividido da melhor maneira possível. Esse processo é também conhecido como “top-down” dos atributos para as classes (WITTEN et al., 2011). A Figura 40 ilustra o sistema de estabelecimento de regras por árvores de decisão que foram incorporados à abordagem GEOBIA.

Desse modo, a participação do intérprete no processo é efetuada através da identificação de feições utilizando a interpretação visual e as características existentes nos objetos de interesse de classificação. Para tanto, Sousa et al. (2015) explicam que são utilizados modelos descritores auxiliados por diversos outros dados que compõem a rede semântica de definição das classes e dos objetos de interesse de classificação. Os autores ainda ressaltam que a construção da base de conhecimento é uma das tarefas mais importantes para a classificação dos objetos e, no entanto, uma das mais trabalhosas, devido à dificuldade para selecionar, entre uma grande quantidade de atributos fornecida pelos objetos, quais descrevem melhor as classes às quais eles pertencem.

FIGURA 40 – Sistema de estabelecimento de regras por Árvores de Decisão incorporado à abordagem GEOBIA

Fonte: Witten et al. (2011, p. 69).

A rede semântica hierárquica pode ser gerada de duas maneiras: de forma heurística pelo usuário, testando iterativa e interativamente os descritores, as funções e os seus limiares para a melhor discriminação das classes (semelhante à abordagem por árvores de decisão); ou de forma automática, através da aplicação de técnicas de mineração de dados (HAN; KAMBER, 2006).

Han e Kamber (2006) explicam que a mineração de dados é utilizada para diminuir a necessidade de realização de testes sobre os melhores descritores para a definição dos objetos de interesse. Ela consiste na extração da base de conhecimento em um grande volume de dados por meio de métodos inteligentes. O modelo derivado da mineração pode ser

representado de várias formas, a mais comum é através de árvores de decisão representadas por um fluxograma em estrutura de árvore, já abordada no subitem anterior (subitem 7.2.3), e que são facilmente convertidas em regras de classificação.

Segundo Sousa et al. (2015), o objetivo da mineração de dados é extrair o conhecimento de grandes volumes de dados, a partir da procura por padrões consistentes, que representam classes particulares de objetos. Os primeiros pacotes de *software* para mineração de dados surgiram em meados da década de 1990, em ambiente acadêmico. Na atualidade, já existem algumas dezenas de ferramentas comerciais para mineração de dados, identificadas pelo termo inglês *data mining*, desenvolvidas por empresas como SAS (*Enterprise Miner*) e a IBM (*Intelligent Miner*).

Em síntese, portanto, pode-se dizer que a abordagem GEOBIA permitiu avanços significativos na classificação e interpretação de imagens através da utilização de parâmetros não somente estatísticos, como nos métodos tradicionais, mas também geométricos, topológicos, contextuais e de relacionamento semântico entre classes, aproximando-se dos processos cognitivos humanos de interpretação de imagens. Por isso, o método de classificação de imagens por GEOBIA tem se apresentado como a forma mais completa e integrada de se representar em termos computacionais o conhecimento de um especialista humano para a interpretação automática de imagens de Sensoriamento Remoto (NOVACK, 2009).

Nesse mesmo sentido, diversos autores ressaltam que a principal vantagem oferecida por esse tipo de análise é a de permitir a simulação da visão contextual de um intérprete humano, por meio de múltiplos níveis de classificação, que são interligados na implementação das redes semânticas hierárquicas, o que não é possível através das técnicas convencionais, que consideram somente as informações espectrais contidas no pixel para a classificação (BIAN, 2007; BLASCHKE, 2010; BLASCHKE et al., 2014; HAY; CASTILLA, 2008; MARPU, 2009; NAVULUR, 2006; RUMBAUGH et al., 1991, 2004; SOUSA et al., 2012, 2015).

É interessante observar ainda que, além das vantagens técnicas constatadas pelos diversos autores anteriormente citados, a classificação hierárquica multinível, intrínseca à abordagem GEOBIA, também se apresenta útil para atender aos pressupostos de classificação, também em níveis, estabelecidos pelo IBGE (2013). E que, inclusive, preceitua a manutenção

da dependência entre os níveis inferiores (mais detalhados) com os níveis superiores (mais genéricos), assim como necessariamente ocorre na classificação multirresolução da abordagem GEOBIA.

Tendo visto essas características e conceitos essenciais que envolvem o método de classificação por GEOBIA, nos próximos parágrafos são apresentados e discutidos alguns exemplos da sua aplicação para diferentes propósitos relacionados ao uso e cobertura da terra.

Myint et. al., (2011), realizaram uma avaliação da capacidade do método GEOBIA para classificar áreas urbanas na região de Phoenix, no Arizona – EUA, através de imagens *QuickBird*. Além da classificação por GEOBIA, os autores também utilizaram classificadores supervisionados “tradicionais” para comparar os resultados. Dessa maneira, os autores puderam conferir que abordagens por pixels são menos eficazes para a identificação de classes de uso urbano do que por GEOBIA. O resultado obtido através dele foi aferido com base na construção de uma matriz de confusão, o que evidenciou uma acurácia global do método de 90,4%, ante os 67,60% correspondente ao melhor resultado das abordagens por pixel. Desse modo os autores constataram que a utilização de diferentes atributos extraídos dos objetos foi decisiva para garantir o bom desempenho da metodologia.

Petropoulos et al. (2012) também avaliaram a eficácia da classificação por GEOBIA, dessa vez utilizando imagens do sensor hiperspectral Hyperion para o mapeamento de cobertura e uso da terra atual do Município de Chania, situado na ilha de Creta na Grécia. Para tanto os autores compararam a qualidade do mapeamento (índice Kappa) obtido através do método GEOBIA, com o obtido através do classificador supervisionado SVM. Desse modo, os autores então concluíram que o desempenho do método GEOBIA, que obteve índice Kappa de 0,789, foi ligeiramente superior ao do SVM, que obteve índice Kappa de 0,719.

Em Powers et. al. (2015), o método GEOBIA foi aplicado sobre imagens SPOT, para identificar e classificar possíveis perturbações ambientais sobre a floresta boreal, causadas por indústrias de petróleo e gás situadas na região nordeste da província de Alberta, no Canadá. Os autores puderam classificar a vegetação local em diferentes estágios de sucessão, e constataram que através da abordagem por GEOBIA foi possível obter resultados precisos de classificação com uma exatidão de 88%. Além disso, os resultados evidenciaram a natureza complementar do conjunto de atributos descritivos, em que descritores de todos os três grupos

definidos (ou seja: espectrais, contextuais e propriedades geométricas dos objetos) mostraram-se altamente relevantes para a eficiência da classificação.

Stow et. al. (2012) utilizaram GEOBIA para classificação dos diferentes níveis socioeconômicos correspondentes às áreas residenciais da Região Metropolitana de Accra, em Gana, através de imagens Quickbird. Os autores verificaram a ocorrência de baixos valores de erros da comissão e omissão para quase todas as classes mapeadas, exceto as de alto nível socioeconômico. No entanto, ao incorporar índices de NDVI na classificação, esses erros foram reduzidos consideravelmente.

Vieira et. al. (2012) aplicou o método GEOBIA para o mapeamento de culturas de cana de açúcar, situadas na região norte do estado de São Paulo. Para tanto, os autores utilizaram da técnica *Data Mining* (mineração de dados) para a construção da rede hierárquica semântica. Nesse caso os autores avaliaram que o uso dessas técnicas apresentaram altos níveis de exatidão global e de índice Kappa, na classificação das culturas de cana, atingindo 93,99% e 0,87 respectivamente. Os autores ressaltam que a utilização de diferentes atributos do objeto, extraídos por mineração de dados, foi significativamente importante para garantir o bom desempenho do método (GEOBIA).

Doxani et. al. (2012) desenvolveram um método para a detecção automática de mudanças urbanas sobre imagens multitemporais. Para tal, técnicas de filtragem não lineares foram incorporadas ao GEOBIA. A metodologia desenvolvida foi aplicada a um conjunto de dados disponíveis (imagens de satélite de alta resolução), correspondentes a cinco diferentes aquisições. Em particular, o conjunto de dados incluiu três ortoimagens Quickbird, com resolução espacial de 0,65m, adquiridas em 2003, 2007 e 2008; e duas ortoimagens Ikonos, com resolução espacial de 1m, adquiridas em 2000 e 2006. Todas as imagens retratam a mesma parte da cidade de Thessaloniki, no norte da Grécia. Como resultado, os autores puderam identificar as mudanças ocorridas no período e a definição de tendências relacionadas à expansão urbana no futuro.

Chen et. al. (2014) aplicaram o método OBIA sobre duas cenas de datas diferentes provenientes do sensor SPOT para a detecção de mudanças de áreas urbanas, periféricas e rurais, localizadas em três cidades da Carolina do Norte, nos EUA. Os autores destacam que esta abordagem apresentou uma melhor performance do que os métodos tradicionais baseados exclusivamente em pixels, testados na ocasião.

Kawashima et al. (2013) se utilizaram da abordagem GEOBIA para a detecção da vegetação de mangue, restinga e diferentes formações florestais ocorrentes no Parque Estadual da Restinga de Bertiooga, no estado de São Paulo. A aplicação do método envolveu a geração do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (SAVI) e Índice de Vegetação Triangular (TVI), a partir de imagens QuickBird. Para a definição dos melhores descritores da vegetação de mangue nesses diferentes índices, foi utilizada a técnica de Mineração de Dados (*Data Mining*). Com base nos resultados da mineração de dados foi então construída uma rede semântica hierárquica por árvores de decisão, para a classificação específica das áreas ocupadas por vegetação de mangue.

No final do processo, os autores ainda avaliaram o desempenho das técnicas empregadas para a execução do método GEOBIA neste caso, através do cálculo de exatidão global (60%) e índice kappa (0,68). Segundo os autores, a classe Mangue obteve o menor erro de omissão na classificação, ao contrário das outras classes de tipologia de vegetação, como a Restinga e a Floresta. Desse modo, os autores avaliam que o processo de classificação obteve bom desempenho para acertar as áreas prováveis de ocupação de mangue na área de estudo; contudo, os outros tipos florestais obtiveram um desempenho mais fraco de classificação, apresentando considerável erro de omissão para a classe Restinga. Dessa forma, ressalta-se a necessidade de melhor delineamento experimental para a definição da Restinga na área de estudo (KAWASHIMA et al., 2013).

Wiggers e Ribeiro (2015) utilizaram o método de classificação por RNA combinado ao GEOBIA sobre imagem Rapideye, utilizando dados obtidos por VANT como verdades de campo para aferição da classificação. Neste caso, os autores então concluíram que a combinação da abordagem RNA ao método GEOBIA pôde reduzir significativamente a complexidade da análise, e também destacam a importância da GEOBIA para evidenciar outros elementos da cena, como textura e padrões geométricos das classes, além das informações espectrais, que não podem ser aplicadas através da aplicação exclusiva do método RNA. Ainda segundo os autores, as imagens obtidas por VANT colaboraram para a validação dos resultados, pois através delas que foram selecionadas as amostras para a construção da matriz de confusão e cálculo do índice Kappa. O valor do índice Kappa obtido neste caso foi de 0,90, resultado de qualidade excelente na classificação, destacando a eficiência dos métodos utilizados.

Outra pesquisa que buscou avaliar a eficiência de diferentes técnicas passíveis de serem empregadas através do método de classificação GEOBIA foi a realizada por Laliberte et al. (2012), onde foram avaliados três métodos diferentes de implantação da rede semântica para a classificação de diferentes espécies de vegetação, características do semiárido da região sudoeste dos Estados Unidos. Apesar da obtenção de bons resultados de classificação nos três modelos semânticos hierárquicos testados, os autores sugerem que uma nova avaliação seja aplicada sobre outras regiões geograficamente semelhantes.

Estas pesquisas apresentadas acima foram desenvolvidas para atender a problemas específicos relacionados a coberturas (POWERS et al., 2015; VIEIRA et al., 2012) e usos da terra (CHEN et al., 2014; STOW et al., 2012), ou para avaliar o desempenho do classificador GEOBIA em relação a outros classificadores (MYINT et al., 2011), ou ainda para avaliar a possibilidade de incorporação de novas técnicas ao método (DOXANI et. al., 2012; KAWASHIMA et al., 2013; LALIBERTE et. al., 2012; PETROPOULOS et al., 2012; VIEIRA et. al., 2012; WIGGERS; RIBEIRO, 2015).

A seguir serão apresentadas algumas pesquisas desenvolvidas especificamente para a classificação de tipos de cobertura e uso da terra de maneira global, ou seja: para o mapeamento de todas as classes de cobertura e/ou uso da terra que estão contidas dentro de uma determinada região ou cena específica. Além disso, é importante destacar que elas são compatíveis com os requisitos estabelecidos pelo IBGE (1992, 2012, 2013), assim como os estabelecidos pelo Termo de Referência da Fundação Florestal (2010a).

Wężyk et al. (2012) fizeram um mapa de uso da terra de detalhe (com acurácia compatível até a escala 1:25.000) para toda a província de Malopolska, localizada na região sul da Polônia, que possui uma área de aproximadamente 15.000 km², o que corresponde a praticamente um quinto de todo o território polonês. Os autores relatam que o projeto exigiu o envolvimento de importantes medidas técnicas e tecnológicas, incluindo a aquisição de imagens atuais de alta resolução espacial (Imagens Rapieye e ortofotos aéreas) e a adoção de procedimentos automatizados de classificação por GEOBIA. A área mapeada, segundo os autores, inclui 22 municípios, 182 vilas e seis Parques Nacionais. Os principais dados utilizados foram Imagens Rapideye (5m de resolução espacial) de 2010 e 2011 e ortofotos digitais (RGB) de 2009 e 2010, com 0,25m de resolução espacial.

Anteriormente à classificação, os autores relatam que foi necessário realizar a correção geométrica, a ortorretificação, a análise de componentes principais e a geração de NDVI nas cenas Rapideye. As ortofotos foram reamostradas para 2,5m de resolução espacial e posteriormente foram fusionadas às imagens Rapideye. A aplicação do método GEOBIA (segmentação e implementação da rede semântica hierárquica) foi realizada sobre a imagem fusionada (produto da fusão das cenas Rapideye com as ortofotos reamostradas), utilizando-se ainda da imagem correspondente ao NDVI como dado auxiliar. A Figura 41 apresenta alguns exemplos da classificação realizada em duas situações diferentes: áreas predominantemente rurais e de conservação ambiental, e áreas predominantemente urbanas (WEŻYK et al., 2012).

FIGURA 41 – Classificação de cobertura e uso da terra em áreas rurais (acima) e áreas urbanas (abaixo) por GEOBIA

Fonte: Weżyk et al. (2012).

Apesar da quantidade de tempo despendida no processamento dos dados (50 horas só para realizar a segmentação inicial, e mais de 30 dias para a classificação final, ou seja, para a definição de todos os objetos de interesse na imagem segmentada), os autores relatam que os resultados foram consideravelmente satisfatórios, e foram obtidos em um período

relativamente “curto” de tempo, dada a dimensão da área mapeada e o grau de detalhamento obtido na classificação, principalmente no que se refere à distinção entre diferentes culturas agrícolas existentes no entorno das Unidades de Conservação e das cidades da região mapeada (foram identificadas culturas de batata, aveia, trigo, e outros grãos e leguminosas em diferentes estágios de maturação e crescimento) (WEŹZYK et al., 2012). A Figura 42 ilustra os resultados finais da classificação de cobertura e uso da terra da Província de Maloposka.

FIGURA 42 – Mapa final de coberturas e usos da terra por GEOBIA da província de Malopolska (Polônia)

Fonte: Weżyk et al. (2012).

Os autores ainda relatam que, no final do processo, o mapa então obtido na classificação por GEOBIA foi comparado com outro mapa de uso da terra preexistente, datado de 1952. Tal comparação serviu para a detecção de mudanças de uso no território da Província. Desse modo, os autores puderam identificar que a maioria das mudanças ocorreu em áreas urbanas (crescimento de 6,3%) e florestas (crescimento de 8,2%). As áreas de todas as outras classes diminuíram, inclusive, as das atividades agrícolas identificadas (WEŹZYK et al., 2012).

Este projeto apresenta um exemplo de sucesso no uso das técnicas de geoprocessamento, tanto para a geração, quanto para a atualização e análise de mapas de uso da terra com base na abordagem GEOBIA. Outros estudos que obtiveram bons resultados na aplicação de GEOBIA, com objetivos semelhantes a este, podem ser encontrados em Cleve et al. (2008); Deng et al. (2009); e Saadat et al. (2011).

Em outro tipo de investigação, dessa vez mais específico para a classificação e o mapeamento de tipos de cobertura da terra associadas à vegetação, principalmente para a identificação de padrões fitofisionômicos ocorrentes no Parque Nacional do Itatiaia, Colares et al. (2013) aplicaram o método GEOBIA sobre imagens obtidas pelo satélite ALOS (sensor AVNIR-2) no ano de 2009, utilizando como dado auxiliar um MDE gerado através da interpolação dos dados vetoriais provenientes de cartas topográficas do IBGE na escala de 1:50.000. Ambos se encontram ilustrados na Figura 43. Para o uso das imagens ALOS/AVNIR-2 (10m de resolução espacial), os autores realizaram a sua ortorretificação, usando o MDE gerado como referência, e a sua correção atmosférica (COLARES et al., 2013).

FIGURA 43 – Imagem ALOS/AVNIR-2 do Parque Nacional do Itatiaia

Fonte: Colares et al. (2013).

O Parque Nacional do Itatiaia localiza-se na Serra da Mantiqueira, na fronteira dos estados do Rio de Janeiro e Minas Gerais, próximo à fronteira destes com o estado de São Paulo. Ele abrange os municípios de Alagoa (MG), Bocaina de Minas (MG), Itamonte (MG), Itatiaia (RJ) e Resende (RJ), e conta com uma área de aproximadamente 30 mil hectares.

Segundo os autores a segmentação e classificação da imagem foi realizada no software *InterIMAGE*, no qual foram aplicadas algumas técnicas de PDI para a classificação, como a extração da média entre as bandas, da entropia, do brilho, e de outras operações utilizadas para a definição das superclasses, no primeiro nível de segmentação por GEOBIA (COLARES et al., 2013). Uma síntese desses procedimentos encontra-se ilustrada na Figura 44.

FIGURA 44 – Síntese dos procedimentos de aplicação do método GEOBIA utilizado na classificação de coberturas da terra do Parque Nacional do Itatiaia

Fonte: Colares et al. (2013).

Para a otimização da classificação, os autores construíram duas redes semânticas hierárquicas separadas. A primeira foi aplicada exclusivamente sobre o NDVI, gerado a partir da imagem ALOS, para separar a vegetação de áreas de não vegetação. Como resultado desse primeiro nível de segmentação, foram separadas as classes de floresta e campo. Posteriormente, essas classes foram ainda subdivididas em alto montana e montana, nas áreas de floresta; e campo de altitude e herbácea, na classe de campo. Essas subdivisões foram

realizadas através da utilização do MDE como dado auxiliar, mediante o estabelecimento de limiares altitudinais de ocorrência de cada tipo fitofisionômico objeto de classificação (COLARES et al., 2013). A segunda rede semântica subdividiu as regiões classificadas como “não vegetação” no primeiro nível da segmentação, em classes correspondentes a áreas urbanas, solo exposto por queimadas, nuvens, rochas e corpos d’água (COLARES et al., 2013), conforme ilustrado na Figura 45.

FIGURA 45 – Rede semântica hierárquica aplicada para a classificação fitofisionômica da vegetação do Parque Nacional do Itatiaia

Fonte: Colares et al. (2013).

A classificação final resultou em um mapa temático de cobertura da terra compreendendo a distinção de diferentes fitofisionomias ocorrentes na área do Parque e no seu entorno, conforme pode ser observado na Figura 46.

FIGURA 46 – Produto da classificação de fitofisionomias do Parque Nacional do Itatiaia por GEOBIA

Fonte: Colares et al. (2013).

Os autores ainda destacam que a metodologia de classificação por GEOBIA em duas etapas propiciou melhor separação das classes de cobertura da terra, obtendo um índice Kappa de 0,7 e uma exatidão global da classificação de 73% (COLARES et al., 2013).

Em outra pesquisa para classificação da cobertura vegetal, dessa vez efetuada até o nível das “comunidades vegetais”, Whiteside e Bartolo (2012) empregaram a abordagem GEOBIA sobre três cenas captadas pelo sensor do satélite WorldView-2, no ano de 2010, para classificar diferentes comunidades vegetais associadas a florestas paludosas, típicas de “várzea” (locais situados nas planícies de inundação, compostos por solos hidromórficos e que são sujeitos a inundações frequentes causadas pelo extravasamento do canal fluvial), ocorrentes no Parque Nacional de Kakadu, que abrange 28.000 km² da região Norte da Austrália.

A classificação envolveu alguns procedimentos de pré-processamento, como a ortorretificação das imagens a partir de pontos de controle coletados no campo com o auxílio de receptores GNSS diferenciais, a calibração radiométrica das três cenas e sua mosaicagem. Posteriormente, foram extraídos diferentes índices de vegetação das imagens, como o NDVI, o FDI (LUCAS, 2006) e o EVI (HUETE, 2002). A rede hierárquica semântica foi então construída sobre as informações espectrais das imagens, utilizando-se também dos índices de vegetação como dados auxiliares. As assinaturas espectrais das diferentes comunidades vegetais objetos de classificação foram obtidas através de observações de campo auxiliadas por espectro-radiômetros e receptores GNSS diferenciais (WHITESIDE; BARTOLO, 2012).

Os autores relatam ainda que a definição dos limiares de compacidade e forma dos objetos foi feito de maneira interativa, através de repetitivos testes, até a definição do tamanho de regiões (polígonos) representativos dos objetos (comunidades vegetais) de interesse. Como resultado eles puderam identificar e classificar 12 comunidades de espécies vegetais dominantes na planície, conforme ilustra a Figura 47. Os resultados ainda foram submetidos a um processo de aferição e validação a partir de 100 amostras levantadas no campo, as quais foram confrontadas com os resultados da classificação para a construção de uma matriz de confusão, o que revelou um excelente resultado da classificação, apresentando um grau de concordância próximo a 100% (WHITESIDE; BARTOLO, 2012).

Por fim, os autores destacam a viabilidade de aplicação da abordagem GEOBIA para o mapeamento de comunidades vegetais de várzea usando imagens de alta resolução espacial. Segundo eles, o mesmo método vai ser aplicado sobre imagens registradas nos anos subsequentes para monitorar a variação anual entre as comunidades mapeadas (WHITESIDE; BARTOLO, 2012). Outros exemplos que obtiveram sucesso na aplicação de GEOBIA para a classificação da cobertura vegetal em escalas de detalhe podem ser encontrados em Fernandes et al. (2012); Kawashima et al. (2013); e Wiggers e Ribeiro (2015).

FIGURA 47 – Produto da classificação de fitofisionomias do Parque Nacional de Kakadu (Austrália) por GEOBIA

Fonte: Whiteside e Bartolo (2012).

Em Sheeren et al. (2012) a abordagem GEOBIA foi utilizada para a detecção de mudanças de usos e coberturas da terra, ocorridas durante os últimos 60 anos no entorno do Parque Nacional dos Pirineus, situado no extremo sudoeste da França. Utilizando-se, para tanto, de um conjunto de fotografias aéreas digitais e analógicas, obtidas entre as escalas 1:20.000 e 1:30.000, em sete períodos distintos: 1942, 1953, 1962, 1976, 1983, 1993 e 2003.

Os autores relatam que, além de avaliar as mudanças ocorridas no entorno do Parque, eles também queriam avaliar a eficácia do método GEOBIA para a classificação de coberturas e usos da terra, tendo como únicas fontes de dados fotografias aéreas históricas e atuais. O processo envolveu diversas etapas: pré-processamentos convencionais, como a digitalização, o georreferenciamento e a ortorretificação das fotos; segmentação das imagens ortorretificadas; e a classificação e validação dos mapeamentos (SHEEREN et al., 2012). Os resultados obtidos pela execução destas etapas podem ser conferidos na Figura 48.

FIGURA 48 – Classificação multitemporal das coberturas e usos da terra do Parque Nacional dos Pirineus (sudoeste da França) por GEOBIA

Fonte: Sheeren et al. (2012).

Demonstrando satisfação com os resultados obtidos, os autores destacam a vantagem da utilização do método GEOBIA nas análises multitemporais realizadas; pois, segundo eles, depois de validada a classificação do conjunto de fotografias aéreas mais recentes, as mesmas regras descritoras dos atributos dos objetos classificados e validados nesse primeiro momento, ou seja, a rede semântica hierárquica estabelecida, pôde ser reaplicada nos conjuntos de fotografias aéreas mais antigas, o que proporcionou uma significativa economia de tempo e garantiu a coerência entre as classificações. Além dessas considerações, os autores ainda sinalizam para a possibilidade de integração dos dados obtidos, com dados climáticos e socioeconômicos multitemporais, para a construção de novos modelos dinâmicos que sejam capazes de evidenciar a interdependência entre essas variáveis (climáticas, socioeconômicas, e de coberturas e usos da terra), para a projeção de possíveis alterações futuras na paisagem local (SHEEREN et al., 2012).

Em outra pesquisa para detecção de mudanças, tanto das classes de coberturas (vegetação e outras coberturas), quanto de usos da terra (urbanos e agrícolas), Seabra e Cruz (2013) aplicaram o método GEOBIA para a classificação de imagens Landsat em quatro diferentes períodos: 1975, 1985, 1995 e 2010; que se encontram ilustradas na Figura 49.

FIGURA 49 – Imagens Landsat utilizadas para a classificação multitemporal de coberturas e usos da terra ocorrentes na bacia hidrográfica do rio São João - RJ

Fonte: Seabra e Cruz (2013).

A região estudada foi a bacia hidrográfica do rio São João (BHRSJ) situada a oeste da Bacia Hidrográfica da Baía da Guanabara, na Região das Baixadas Litorâneas do estado do Rio de Janeiro, a qual possui uma área de 2.160 km². Os autores destacam a importância estratégica e ambiental da BHRSJ para o estado do Rio de Janeiro, pois ela consiste em uma das principais fontes de abastecimento hídrico da região, além de também possuir um alto grau de endemismo de espécies, sendo o principal abrigo dos últimos remanescentes de Mata Atlântica nas áreas de baixada no estado, com vegetações em diferentes estágios de conservação.

A aplicação do método GEOBIA para a classificação das quatro imagens Landsat nesse caso, deu-se a partir da execução das seguintes etapas: segmentação, classificação supervisionada com o uso da lógica fuzzy e construção da rede semântica hierárquica baseada em descritores morfológicos e contextuais sobre o resultado da classificação supervisionada, o que permitiu a conversão das classes difusas (produtos da classificação supervisionada pela lógica fuzzy) em classes discretas (SEABRA; CRUZ, 2013). Os resultados da classificação das quatro imagens podem ser observados na Figura 50.

FIGURA 50 – Classificação multitemporal de coberturas e usos da terra ocorrentes da Bacia hidrográfica do rio São João – RJ, por GEOBIA

Fonte: Seabra e Cruz (2013).

Depois de gerados, os mapas temáticos de cobertura e uso da terra foram então inseridos em um ambiente SIG, onde foram processadas análises que forneceram subsídios para a compreensão e localização das mudanças ocorridas na BHRSJ nos últimos 35 anos e, consequentemente, forneceram elementos importantes para análise da evolução da paisagem na bacia (Figura 51).

FIGURA 51 – Mudanças nas coberturas e usos da terra na Bacia hidrográfica do rio São João

Fonte: Seabra e Cruz (2013).

Apesar de, nesse caso específico, terem sido utilizadas imagens Landsat (sensores MSS e TM) que possuem média resolução espacial, esse é mais um exemplo de que a

aplicação do método GEOBIA tem se mostrado consideravelmente útil e vantajoso, tanto para as classificações de cobertura e uso da terra atuais quanto para a realização de análises multitemporais de detecção de mudanças dessas classes, em diferentes tipos de sensores, inclusive os que produzem imagens de mais altas resoluções espaciais, como no caso de Węzyk et al. (2012) que se utilizaram de ortofotos e imagens Rapdeye para a classificação atual e detecção de mudanças na Província de Malopolska na Polônia, já abordados anteriormente. Outras pesquisas relacionadas à classificação de usos e cobertura da terra por GEOBIA, para a detecção de mudanças, são encontradas em Bajracharya et al. (2010); Chant e Kelly (2009); Chen et al. (2012); Feitosa et al. (2011); e Leite et al. (2011).

A título de conclusão sobre o que foi apresentado e discutido neste subitem, pode-se dizer que as possibilidades oferecidas pelo “novo paradigma” GEOBIA (BIAN et al. 2007; BLASCHKE, 2010; 2014), podem bem atender às indicações explicitadas no Termo de Referência da Fundação Florestal (2010a) e no sistema de classificação proposto pelo IBGE (2013). Isso porque o TdR estabelece que a escala mínima de mapeamento de uso da terra nos Planos de Manejo de UC do estado de SP deve ser a de 1:50.000. Meneses e Almeida (2012) observaram que somente imagens de média/alta resolução espacial (que possuem valores menores ou iguais a 10m de resolução) são adequadas para mapeamentos nessa escala (ABNT-NBR, 1994). A literatura evidenciou que a classificação por GEOBIA é a que tem fornecido os melhores resultados sobre esses tipos de imagens (BLASCHKE, 2010; 2014; BIAN, 2007; HAY; CASTILLA, 2008; MARPU, 2009; MYINT et. al., 2011; NAVULUR, 2006; NOVACK, 2009; POWERS et. al., 2015; RUMBAUGH et al., 1991; 2004; SOUSA et al., 2012; VIEIRA et. al., 2012).

Além disso, como já observado anteriormente, a abordagem multinível de segmentação do método GEOBIA atende à exigência da classificação em níveis do IBGE (2013); e também pode ser utilizada para atender aos preceitos da classificação e o do mapeamento de formações vegetais (fitofisionomias) estabelecidos pelo IBGE (1992, 2012), conforme apresentado nos exemplos das pesquisas desenvolvidas por Colares et al. (2013), Sheeren et al., (2012), e Whiteside, Bartoloa e Stabenb (2012); e que também podem ser encontradas em Fernandes et al. (2012); Kawashima et al. (2013); e Wiggers e Ribeiro (2015).

Outra característica requerida pelo Termo de Referência da Fundação Florestal (2010a), para o mapeamento de uso da terra, é que ele deve ser capaz de evidenciar tendências de alterações futuras. Desse modo, foram apresentados alguns exemplos, nos quais a

identificação dessas tendências, são sustentadas pelas análises multitemporais de detecção de mudanças das classes de coberturas e usos da terra em diferentes períodos, como foram encontradas em Bajracharya et al. (2010); Chant e Kelly (2009); Chen et al (2012); Deng et al. (2009); Doxani et. al., (2012); Feitosa et al., (2011); Leite et al., (2011); Seabra e Cruz (2013); Sheeren et al., (2012); e Wężyk et al. (2012).

Para a realização dessas classificações, seja da cobertura da terra para o mapeamento de fitofisionomias, ou mesmo do próprio uso da terra (objeto de revisão deste subitem), o estado de São Paulo conta atualmente com um acervo de imagens obtidas pelos satélites SPOT, entre os anos de 2007 e 2010 (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE, 2014), e Rapideye, de 2008 a 2013 (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, 2013), ambas com cobertura de todo o território do estado e apresentando resolução espacial plenamente compatíveis à escala 1:50.000; além das ortofotos de 2010 já destacadas no subitem anterior.

Essas imagens (SPOT e Rapieye) têm a vantagem, em relação às ortofotos, de serem obtidas de maneira sinóptica, ou seja, em intervalos regulares de acordo com a resolução temporal dos satélites; o que as torna significativamente úteis para o mapeamento de uso da terra nos Planos de Manejo de Unidades de Conservação do estado, devido à possibilidade de identificação de tendências mediante a realização de análises multitemporais sobre essas imagens.

Dessa forma, o presente subitem, praticamente como uma continuidade do subitem anterior, procurou demonstrar com base nas literaturas encontradas as principais possibilidades atuais de aplicação das técnicas de geoprocessamento para a classificação e o mapeamento de coberturas (fitofisionomias) e usos da terra, de maneira compatível com os preceitos estabelecidos, tanto pelo Termo de Referência da Fundação Florestal (2010a), quanto pelos sistemas de classificação propostos pelo IBGE (1992, 2012, 2013), também indicados pelo Termo de Referência.

No próximo e último subitem deste capítulo, são discutidas as principais técnicas de aferição de qualidade de mapeamentos temáticos, algumas das quais já citadas, que podem ser utilizadas tanto para a identificação de possíveis ajustes necessários, quanto para a própria validação desses levantamentos.

7.2.5 – Avaliação da qualidade de mapeamento temático

Segundo Felgueiras (2001), os dados produzidos a partir de técnicas de geoprocessamento são sempre, em essência, o resultado da manipulação de dados espaciais armazenados em meio digital. Para o autor, a informação necessária aos processos decisórios é o resultado da modelagem computacional desses dados espaciais, que buscam melhor representar a realidade geográfica em questão. Esse procedimento de modelagem usando geoprocessamento é aplicado através de modelos computacionais que representam objetos e fenômenos ambientais.

A diversidade da realidade geográfica conduziu a uma noção de “camadas” para representar a informação espacial em meio digital. Cada “camada” é entendida como uma representação de um conjunto de elementos da realidade geográfica, ou seja, um nível de informação espacial da realidade modelada.

A partir dessa definição, as propriedades ambientais são, portanto, “camadas” de dados. Desse modo, a capacidade de integração de dados espaciais nos SIG significa operar sobre níveis de informação espacial diferenciados. Como a cada nível cabe a representação de um conjunto de elementos da realidade modelada, o resultado de uma operação multinível precisa se preocupar com a distorção da realidade geográfica modelada (FELGUEIRAS, 2001).

De maneira semelhante, Antunes e Lingnau (1997) observam que as diversas atividades de conservação, preservação, planos de manejo e planejamentos requererem diversos tipos de mapeamentos representativos da situação atual da área em questão. Os mapas temáticos então produzidos nessas atividades são tidos geralmente como corretos. No entanto, sabe-se que erros, desde a obtenção dos dados até a geração de um mapa, podem ocorrer em diferentes níveis e escalas. Portanto, é necessário que todas as classes que compõem um mapa temático sejam associadas a um controle de qualidade, de tal maneira que elas possam ser aferidas e validadas.

Desse modo, Antunes e Lingnau (1997) salientam que um mapeamento temático só pode ser utilizado como fonte fidedigna de informações quando são associados a processos de avaliação da acurácia dos dados que o compõe, pois eles são às bases para a realização das

avaliações socioambientais e as tomadas de decisão. Entretanto, o autor constata que “raramente mapas temáticos provenientes de classificação digital, ou mesmo da fotointerpretação analógica, apresentam um relatório de acurácia das informações, apesar da maioria dos *softwares* de SIG atuais possuírem ferramentas para tal fim” (ANTUNES; LINGNAU, 1997, p.2).

Corroborando com tais constatações, Felgueiras (2001) relata que a avaliação da qualidade dos mapeamentos temáticos produzidos para as atividades de planejamento no Brasil, tem sido frequentemente negligenciada, inclusive nos meios acadêmicos e científicos. Segundo o autor, esse problema “crônico” tem comprometido a qualidade das próprias decisões que são tomadas a partir desses levantamentos.

Dessa maneira, pode-se então concluir que se a principal vantagem do SIG reside na sua capacidade realizar análises a partir da integração de múltiplos tipos de dados geoespaciais relacionados a uma mesma área geográfica e em um único sistema (BURROUGH; MCDONNEL, 1998). Quando um novo conjunto de dados é importado para o SIG, são também importados os erros contidos nesses dados. Portanto, é primordial que o usuário, o analista e o tomador de decisões estejam cientes disso e compreendam as limitações que envolvem o uso desses dados nas suas análises.

Nesse mesmo sentido, Congalton (1991) observa que a utilização de SIG não garante soluções corretas se não houver controle da qualidade dos dados a serem incorporados. Nessa perspectiva, Lobão et al. (2005) levanta a seguinte questão: sem mensuração de erros, como avaliar a qualidade dos dados gerados e garantir que as informações abstraídas não se constituem impróprias para o uso destinado?

Em função desses fatos constatados e das questões levantadas, muitos esforços têm sido empregados na formulação de estratégias para que o SIG, com sua capacidade de análise multinível, forneça, também, informação quantitativa com respeito à qualidade dos produtos gerados pelas operações envolvidas. A qualidade desses produtos depende da qualidade dos dados espaciais, em primeira instância, da qualidade de cada nível de informação utilizado na análise e, também, do tipo e dos parâmetros da equação utilizada para integrar os diferentes planos de informação utilizados (FELGUEIRAS, 2001).

Neste item, contudo, serão abordadas somente as principais técnicas que podem ser empregadas para a avaliação da acurácia temática de mapeamento, ou seja: a acurácia

relacionada ao produto final da classificação digital, não dos dados utilizados no processo e nem dos processamentos sobre eles realizados, pois essas questões já foram abordadas nos próprios subitens de revisão dos temas (subitem 7.2.1, 7.2.2, 7.2.3 e 7.2.4), quando discutidos os principais dados de entrada que podem ser utilizados para a classificação e mapeamento destes temas. Ainda assim, podem ser citadas algumas pesquisas que discutem essas questões de maneira mais específica e detalhada, como em Felgueiras (2001) em que se encontra uma discussão sobre possíveis erros que podem ser inseridos por procedimentos de interpolação; em Camargo et al. (2007) e Valeriano (2008) encontra-se uma discussão sobre métodos de avaliação da acurácia posicional de MDE com alguns exemplos de aplicação. Em Meneses e Albuquerque (2012), encontra-se uma discussão sobre procedimentos de avaliação da acurácia posicional de dados obtidos por sensores remotos (imagens orbitais e fotografias aéreas) com a descrição de alguns métodos de correção (georreferenciamento e ortorectificação).

Segundo Congalton (1991), independentemente das técnicas e metodologias de mapeamento digital e do tipo de resultado produzido, mensurar de alguma maneira a acurácia dos mapas gerados tem se tornado uma preocupação crescente. Conhecer a qualidade é fundamental para orientar a tomada de decisões sobre o uso do mapa, pois permite avaliar sua adequação às demandas de diferentes usuários.

Para que um mapa temático produzido, seja ele qual for, possua validade e aplicabilidade, é necessária a realização da sua validação com base em amostragens representativas e verificação dos limites das unidades de mapeamento, o que pode ser utilizado inclusive para fins de refinamento, tanto do modelo utilizado na classificação, quanto dos seus próprios resultados (CONGALTON, 1991).

Contudo, antes de serem abordadas as técnicas que podem ser empregadas para aferição e validação desses dados (mapas temáticos) é necessário que sejam compreendidos os conceitos de “acurácia”, “precisão”, “exatidão” e “tipos de erros” das classificações temáticas.

Segundo Husch et al. (1982), a acurácia é apresentada pelo desvio padrão da amostragem em relação ao seu valor real. Já a precisão é obtida através do cálculo do desvio padrão dos valores obtidos por um conjunto de amostras. Dessa maneira, a precisão é entendida, portanto, como uma medida de dispersão das amostras, enquanto a acurácia está

relacionada à proximidade de uma observação ou medida em relação ao seu valor real. Já a exatidão refere-se à perfeição ou ausência de erro em uma determinada medida, classificação ou cálculo (ANTUNES; LINGNAU, 1997). A Figura 52 ilustra essas diferenças básicas entre “precisão” e “acurácia”; no exemplo “a”, os dados possuem baixa precisão e baixa acurácia; no exemplo “b”, alta precisão e baixa acurácia; no caso “c”, uma baixa precisão e alta acurácia; e no caso “d”, uma alta precisão e acurácia.

FIGURA 52 – Diferenças entre Precisão e Acurácia

Fonte: Husch et al. (1982).

Segundo Thapa et al. (1992), qualquer tipo de medição ou representação temática, mesmo que apurada, está sujeita a erros. Para os autores, tais erros podem ser de três tipos diferentes:

- 1) Erros grosseiros, que são causados pela falta de atenção do observador na leitura de valores nos equipamentos ou escalas. Esses tipos de erros podem ser detectados e eliminados imediatamente após as medições através de leituras múltiplas;

- 2) Erros sistemáticos, que ocorrem durante os levantamentos devidos às condições do meio, imperfeições nos equipamentos ou mesmo limitações inerentes aos dados, as quais não foram consideradas pelo usuário ou analista;
- 3) Erros aleatórios, que ocorrem ao acaso ou acidentalmente. Ao contrário dos anteriores, ocorrem ora em um ora em outro sentido e não podem ser vinculados a nenhuma causa específica. Eles geralmente apresentam uma distribuição normal.

Desse modo, pode-se, então, associar à precisão: os erros aleatórios ou acidentais; e a acurácia: aos efeitos dos erros aleatórios e sistemáticos conjuntamente (THAPA et al., 1992), ou seja, uma observação pode ser considerada como exata se não tiver ocorrido o erro sistemático. A falta de exatidão das observações é geralmente oriunda dos erros sistemáticos e tende a se acumular em um mesmo sentido. Considerando uma amostragem, a acurácia seria expressa pelo desvio-padrão da amostra em relação ao valor real da população. A precisão poderia ser relacionada ao desvio-padrão da média da amostra. Desse modo, é possível que uma amostragem possua uma alta precisão, ou seja, um pequeno desvio em relação à média e, ao mesmo tempo, devido à falta de exatidão, um grau de acurácia inferior.

Segundo Antunes e Lingnau (1997), esses três tipos de erros citados acima podem ocorrer a nível amostral ou não. O erro amostral é ocasionado por apenas uma parte da população amostrada e é expresso pelo erro padrão. Se erros amostrais não ocorrem, então, o erro padrão seria a medida adequada para expressar o grau de acurácia do mapeamento temático de inventário.

Segundo Hord e Brooner (1976), é certo que os erros possam ocorrer em diferentes níveis, ou seja, na aquisição de dados, no processamento dos dados, e até na verificação dos resultados obtidos. Esses diferentes tipos de erros muitas vezes não são distinguíveis ou mensuráveis. Na obtenção de dados a partir de imagens de satélite, por exemplo, os erros podem ser primários ou secundários. Erros primários são ocasionados devido ao sensor, às condições do meio (variações de temperatura, umidade, iluminação) ou até mesmo na própria interpretação da imagem. Os erros secundários são aqueles introduzidos pelo usuário/analista durante o processamento ou classificação dos dados.

Entretanto, Montgomery e Schuch (1993) observam que qualquer mapa temático produzido através da classificação de dados geoespaciais, em ambiente de Sistemas de

Informações Geográficas, é passível de avaliação de acurácia de mapeamento. De acordo com os autores, tal avaliação pode ser aplicada sobre dois enfoques fundamentais: o posicional e o temático.

A avaliação posicional se refere a acurácia espacial do mapa, o que é variável de acordo com a sua escala. Por exemplo, mapas na escala 1:50.000, podem incorporar erros posicionais dos objetos nele representados de até 25 metros (BRASIL, 1984), considerando as mais diversas fontes possíveis destes “erros”, como a resolução espacial da imagem utilizada, a acurácia posicional do receptor GNSS utilizado, a escala das cartas topográficas utilizadas, a acurácia vertical do MDE utilizado, entre outras fontes de dados que podem ser utilizadas no processo de classificação temática. Sendo assim, a acurácia posicional do mapeamento está diretamente vinculada à acurácia posicional dos dados de origem (primários ou secundários, diretos ou auxiliares) que foram utilizados no processo de classificação temática.

A avaliação temática, por sua vez, se refere exclusivamente à acurácia da classificação das diferentes categorias que compõem o mapa, ou seja: o grau de concordância entre às classes representadas no mapa e a sua ocorrência (ou não) na própria realidade.

Dessa maneira, elas também são dependentes da acurácia posicional dos dados utilizados, pois devem levar em consideração o grau de generalização desses dados. No entanto, esse “grau de generalização”, que se dá em função da adequabilidade escalar dos dados de origem, pode ser descontado durante o processo de avaliação temática. Por exemplo: em uma compartimentação morfológico-morfométrica do relevo derivada de uma MDE que possui acurácia posicional compatível até a escala 1:50.000. A avaliação da acurácia temática dos compartimentos classificados no mapeamento deve levar em consideração, *a priori*, que diferenças posicionais de até 25 metros entre os limites dos compartimentos, representados no mapa com relação às verificações de campo, devem ser incorporados sem que signifique necessariamente um “erro” da classificação temática. Tendo em vista que o próprio dado de origem já possui essa margem de erro posicional intrínseca a ele. Portanto, o enfoque deste subitem, conforme já mencionado anteriormente, debruça-se sobre os métodos que podem ser empregados para a avaliação da acurácia temática de mapeamento, pois as questões relacionadas à adequabilidade dos dados já foram abordadas nos respectivos subitens de revisão dos temas abordados (geomorfologia, clima, fitofisionomia e uso da terra).

Além destas questões de caráter mais conceitual, Brites et al. (1996) salientam que os métodos de avaliação de acurácia podem ser superestimados ou subestimados, dependendo da estratégia de amostragem empregada na determinação dos dados de referência. Por isso, segundo o autor, faz-se necessário tomar alguns cuidados para que a coleção das amostras de referência seja a mais representativa possível.

Segundo Stehman et al. (1992), a inferência amostral é o processo de generalização de dados amostrais para fazer conclusões sobre uma determinada população. O padrão de amostragem é um sistema comumente aplicado quando técnicas de amostragem são utilizadas na avaliação da acurácia temática de mapeamentos.

Belart et al. (2002) avaliam que, para determinar uma dentre as múltiplas opções de métodos de controle da qualidade de classificações temáticas que podem ser empregadas em ambiente SIG, deve-se levar em conta determinados aspectos relacionados às medidas de controle de qualidade de um mapeamento, sendo eles: a escolha da unidade amostral mais adequada; o tamanho das amostras; e a distribuição destas amostras, tanto no mapa como um todo, quanto nas diferentes classes temáticas nele representadas.

Para a escolha do tipo de unidade amostral existem diversas recomendações que variam em função do tipo de trabalho, da finalidade, da escala, dos meios e das informações auxiliares. No entanto, elas se dividem em três tipos básicos: por pixel, por polígonos e por pontos (Belart et al., 2002).

Nas classificações de imagens, a utilização de pixels individuais é a mais recomendada (ARONOFF, 1989; BELART et al., 2002; JANSSEN, 1994), principalmente quando este tipo de unidade amostral tenha sido utilizado na própria classificação, como ocorre nos procedimentos de classificação de imagens digitais.

A escolha de polígonos como unidade amostral é recomendada por Jensen (1986), principalmente em casos onde existam dificuldades de acesso às áreas nas quais as amostras serão distribuídas. Caso seja possível o acesso a essas áreas, Brito (2008) recomenda a utilização da amostragem por pontos.

A amostragem por pontos consiste basicamente na distribuição de um conjunto de pontos sobre uma determinada região geográfica objeto de mapeamento, podendo ser também realizada sobre um mapa ou uma imagem de referência (BRITO, 2008).

Quanto à distribuição das unidades amostrais, ela pode ser aplicada através de, ao menos, duas formas diferentes: a amostragem aleatória simples (ou casual) e a amostragem aleatória estratificada (ou sistemática) (BELART et al., 2002).

Segundo Stehman (1992), a amostragem casual ou aleatória simples é a mais utilizada devido à sua facilidade de aplicação. Ela pode ser obtida selecionando aleatoriamente “n” unidades amostrais sobre o mapa produto da classificação temática, que são utilizados para serem averiguados (obtenção das “verdades” locais de classificação). Em posse dos resultados obtidos por tais averiguações é possível, então, determinar a proporção de unidades corretamente classificadas em relação ao número total de unidades verificadas, o que é feito através de uma simples matriz de contingência. O procedimento de distribuição aleatória dessas unidades amostrais é um recurso comum e de fácil aplicação nos SIG.

No entanto, Congalton e Green (2009) observam que a amostragem aleatória simples não considera o peso de cada uma das classes, ou seja, classes maiores tendem a ser representadas por um número maior de pontos de amostragem do que classes menores, prejudicando a avaliação individual destas últimas. Para solucionar esse problema, o autor sugere a adoção de uma amostragem aleatória estratificada, na qual o usuário deve então proceder, em primeiro lugar, uma divisão do mapa em grupos de estratos que são correspondentes às próprias classes reais, e posteriormente proceder à amostragem aleatória dentro de cada um destes estratos (classes).

Uma vantagem da utilização da amostragem estratificada é a maior precisão da estimativa da acurácia de classes específicas, pois as classes definem os estratos, e o procedimento de amostragem é escolhido para aumentar a precisão da estimativa da acurácia ou dos erros de comissão contidos em cada classe. Apesar de ser um pouco mais complexa que a distribuição aleatória simples, a distribuição estratificada também pode ser realizada sem grandes esforços com o uso dos SIG (CONGALTON; GREEN, 2009; FOODY, 2002; STEHMAN, 1992).

Em todo caso, seja qual for o método de distribuição de amostras adotado, Congalton e Green (2009) recomendam que sejam coletadas (no campo, na imagem ou no mapa de referência utilizado) um mínimo de 50 amostras de avaliação para cada classe mapeada. Entretanto, o autor pondera que esse número pode variar, para mais ou para menos, de acordo com a escala, ou o nível de detalhamento desejado, assim como o tamanho da área mapeada.

Observadas essas características fundamentais do processo de aferição de qualidade de mapeamento, nos próximos parágrafos serão apresentados e discutidos, de maneira igualmente sucinta, os principais métodos que podem ser empregados para a obtenção de medidas de acurácia das classificações temáticas.

De maneira geral, tem-se observado na literatura, principalmente na relacionada à avaliação das classificações realizadas através do processamento digital de imagens de sensoriamento remoto, o uso frequente da matriz de contingência (também conhecida como “matriz de confusão” ou “matriz de erros”), a partir da qual são calculados os coeficientes (ou índices) de concordância média, Tau e Kappa (ARONOFF, 1989; CHUVIECO; CONGALTON, 1990; CONGALTON; GREEN, 2009; HELLDEN et al., 1980; JANSSEN, 1994; LILLESAND et al. 2004; MONTGOMERY; SCHUCH, 1993; STEHMAN, 1992; ROSENFELD; FITZPATRICK-LINS, 1986; THAPA et al., 1992).

Apesar desses métodos de avaliação serem mais utilizados para avaliar classificações de imagens digitais, Congalton e Green (2009) salientam que tais métodos podem ser também empregados para avaliar qualquer tipo de mapeamento temático, como de fato têm sido empregados nos mapeamentos geológicos, pedológicos, geomorfológicos etc. Exemplos de aplicação desses métodos de aferição sobre estes tipos de mapeamentos temáticos citados podem ser encontrados em Barbosa et al. (2010), Blaschke e Dragut (2006), Camargo et al. (2007; 2009), Giles e Franklin (1998), Lacerda et al. (2009).

A matriz de contingência consiste em uma das maneiras de aferir a acurácia da classificação temática realizada, e é a base para a geração dos coeficientes de concordância. Chuvieco e Congalton (1990) explicam que ela apresenta de forma resumida os resultados da classificação temática em relação a uma “verdade” de referência, que pode ser a própria imagem (na classificação de imagens), ou um mapa temático fidedigno preexistente, ou até mesmo verificações realizadas diretamente no campo com o auxílio de receptores GNSS; em qualquer desses casos, gera-se então uma distribuição binomial (matriz) correspondente aos resultados da classificação em relação às “verdades” das classes. França e Sano (2011) demonstram, através de um exemplo, como é estruturada a matriz de contingência (Figura 53).

FIGURA 53 – Exemplo de Matriz de Contingência

		Classificação				
		1	2	...	c	Total
V e r d a d e	1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1c}	x_{1+}
	2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2c}	x_{2+}
	:	:	:	:	:	:
	c	x_{c1}	x_{c2}	...	x_{cc}	x_{c+}
	Total	x_{+1}	x_{+2}	...	x_{+c}	n

Fonte: França e Sano (2011).

Desse modo, cada frequência observada na matriz corresponderá também a uma frequência esperada, a qual é calculada sob uma determinada hipótese de acordo com as regras da probabilidade (ROSENFELD; FITZPATRICK-LINS, 1986). A frequência observada na diagonal sublinhada em vermelho na Figura 54 apresenta a concordância entre o esperado (verdadeiro) e o que foi observado (classificado) em cada categoria. Desse modo, essa diagonal expressa o conjunto de amostras que foram corretamente classificadas. A coluna marginal direita (Total da Classificação) consiste no número total de amostras da classificação para cada categoria. A linha marginal inferior (Total da Verdade) corresponde ao número de amostras verificadas para cada categoria. Os outros valores que não se encontram na diagonal em vermelho correspondem às amostras que foram erroneamente classificadas.

Através dessa matriz é possível, então, calcular tanto a acurácia média global da classificação, quanto a acurácia média relativa a cada classe (ou categoria) mapeada. A estatística descritiva da acurácia média, também conhecida como exatidão global (HELLDEN et al., 1980), é calculada dividindo-se o total de amostras verificadas como corretamente classificadas (somatório da diagonal principal) pelo número total de amostras utilizadas na avaliação. Congalton e Green (2009) explicam que a acurácia média consiste em um índice lógico, ou seja, em uma simples proporção de concordâncias entre as amostras que não é desenvolvido em bases probabilísticas ou matemáticas. Por exemplo: se em um universo total de 200 amostras de avaliação (obtidas na imagem, no campo ou num mapa de referência) 150 amostras apresentaram concordância entre o que foi classificado e a verdade apurada, obtêm-

se então o valor de 0,75 de acurácia média da classificação, ou 75% de concordância entre a classificação realizada e os dados de referência utilizados para avaliação.

De maneira semelhante, também é possível calcular a acurácia média relativa a cada classe, dividindo-se o número de amostras corretamente classificadas em uma única classe pelo número total de amostras correspondentes à verdade desta classe. Através desse cálculo também é possível obter os valores médios dos erros de omissão ou comissão de cada classe. Os erros de comissão consistem na quantidade de amostras que foram incluídas em uma determinada classe à qual elas não pertencem de fato na realidade. Por outro lado, os erros de omissão são aqueles relacionados à exclusão de amostras em relação à classe à qual elas pertencem de fato. Essas medidas de acurácia de classificação para cada classe individualmente (omissão e comissão) também são conhecidas como “acurácia do produtor” e “acurácia do usuário” respectivamente (CONGALTON, 1991; HORD; BROONER, 1976; ROSENFELD; FITZPATRICK-LINS, 1986).

Contudo, Congalton e Green (2009) observam que o cálculo do índice de acurácia médio global não é o mais apropriado para definir completamente a confiabilidade do mapeamento, pois ele considera apenas os resultados da diagonal principal da matriz no seu cálculo. Devido a esse fato, os autores consideram pertinente a adoção de índices que considerem a matriz por completo, ou seja, utilize todos os elementos (conjuntos de amostras) presentes na matriz para a efetuação do cálculo, e não somente os elementos presentes na sua diagonal principal.

Nesse caso, os procedimentos mais adotados na medição da acurácia das classificações temáticas são os coeficientes Kappa e Tau (CONGALTON; GREEN, 2009). Estes coeficientes consistem em medidas de acurácia baseadas na diferença entre a concordância real na matriz (concordância entre os dados classificados e os dados de referência, indicada na diagonal principal) e a concordância probabilística que é indicada pelo total das linhas e das colunas da matriz de contingência.

Cohen (1960) define Kappa como um coeficiente de concordância para escalas nominais que calcula a proporção de concordância depois que a concordância atribuída à casualidade é retirada de consideração. O coeficiente Kappa considera todos os elementos da matriz de contingência em vez de apenas aqueles que se situam na sua diagonal principal, ou seja, estima a soma da coluna e linha marginais. Segundo Cohen (1960), o coeficiente Kappa

mede o grau de concordância em escalas nominais, assumindo que: as amostras são independentes; as classes ou categorias da escala nominal são independentes e mutuamente exclusivas; e tanto o classificador quanto os pontos de referência operam de forma independente.

Para facilitar o entendimento desses coeficientes de concordância, Antunes e Lingnau (1997) construiu uma tabela que relaciona o nome desses coeficientes e de seus respectivos criadores, com as equações utilizadas para sua obtenção e os intervalos de valores correspondentes aos possíveis resultados de suas aplicações, o que pode ser observado na Tabela 6.

TABELA 6 – Equações para obtenção dos coeficientes de concordância mais utilizados para avaliação da acurácia de classificação temática

Acurácia	Fórmula	Interpretação
Concordância Total (HELLDEN, et al., 1980)	$P_o = \frac{\sum X_{ii}}{N}$	$0 \leq P_o \leq +1$
Coeficiente de concordância Kappa (COHEN, 1960)	$\kappa = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e}$	$-1 \leq \kappa \leq +1$
Coeficiente de Concordância Tau (KLECKA, 1980)	$\tau = \frac{P_o - P_r}{1 - P_r}$	$-1 \leq \tau \leq +1$

Fonte: Antunes e Lingnau (1997).

A “concordância total” nesse caso consiste na acurácia média global, onde P_o para toda a matriz de erros é dado pela razão do somatório da diagonal principal ($\sum X_{ii}$), dividido pelo número total de observações (N).

O coeficiente de concordância Kappa demanda do cálculo da concordância de cada classe (P_e), que é expresso pelo somatório do produto dos elementos das linhas e colunas marginais ($\sum X_{i+} \times X_{+i}$) pelo número total de observações ao quadrado. Segundo Antunes e Lingnau (1997), P_e traduz a proporção de elementos atribuídos a determinada classe ao acaso. Obtendo-se então os valores de P_o e P_e é possível calcular a concordância Kappa global da classificação. O valor positivo de Kappa sugere que o valor observado de concordância é maior que a concordância ao acaso esperada. O valor $\kappa = 1$ ocorre quando houver total

concordância entre os pontos de referência e as categorias classificadas (COHEN, 1960; ANTUNES; LINGNAU, 1997).

O coeficiente de concordância Tau baseia-se em uma probabilidade (Pr) que é estabelecida *a priori* (CHUVIECO; CONGALTON, 1990), ou seja, a concordância esperada (Pr) pode ser obtida antes mesmo de elaborar a matriz de erros. Pr é expresso por $1/n$, onde “n” refere-se ao número de categorias ou classes. Pode ser considerado ainda se a classificação das categorias foi efetuada com a mesma probabilidade ou não (THAPA et al., 1992). Sua interpretação é feita da mesma forma que a do coeficiente Kappa (ANTUNES; LINGNAU, 1997). Contudo, nesse caso se considera a mesma probabilidade *a priori* para todos os objetos classificados. No caso de diferentes probabilidades, Pr também pode ser calculado baseado em diferentes probabilidades *a priori*, para cada classe.

Naeset (1996) justifica que Tau pode ser mais adequado, pois estima as concordâncias ao acaso. Entretanto, diversos autores têm constatado que o coeficiente de concordância Tau apresenta valores muito próximos aos do coeficiente Kappa, principalmente quando todas as classes possuem uma mesma probabilidade.

Segundo Bishop et al. (1975), o coeficiente de concordância Kappa também pode ser determinado para categorias individuais, ou seja, o mesmo cálculo também pode ser aplicado para a definição da acurácia relativa a cada classe individualmente, obtendo-se assim os seus respectivos erros de omissão e comissão (ou acurácia do produtor e do usuário). Segundo Antunes e Lingnau (1997) a acurácia do usuário (erros de omissão) obtida mediante o cálculo do coeficiente Kappa indica a probabilidade de uma categoria classificada representar a mesma categoria no campo. Da mesma forma que a acurácia do produtor (erros de comissão) refere-se à probabilidade de determinada categoria ter sido corretamente classificada, de acordo com os dados de referência.

Apesar de não haver um consenso formal sobre quais os valores mínimos desses coeficientes para considerar um mapeamento temático aceitável, a proposta de Landis e Kocsh (1977) para associar os valores dos coeficientes de concordância Kappa com uma classificação qualitativa dos mapeamentos temáticos tem sido a mais utilizada (CONGALTON, 2001; CONGALTON; GREEN, 2009; FOODY, 2002; LILLESAND et al., 2004). A Tabela 7 a seguir apresenta a relação proposta por esses autores.

TABELA 7 – Classificação qualitativa dos mapeamentos temáticos de acordo com os valores possíveis de serem obtidos no cálculo do coeficiente de concordância kappa

Valor de Kappa	Qualidade do mapa temático
< 0,00	Péssima
0,00 – 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito Boa
0,80 - 100	Excelente

Fonte: adaptado de Landis e Kocsh (1977).

Nesse mesmo sentido, para as classificações de uso da terra serem consideradas válidas, o IBGE (2013, p. 44) adota como valor mínimo de acurácia média global a proposta sugerida por Anderson et al. (1979), que estabelece o valor de 85%. Para a classificação da vegetação, o IBGE (2012, p. 176) sugere valores ainda mais elevados, em torno de 95%. Segundo ainda esses documentos, esses valores valem não apenas para a acurácia média global, mas também para as acurácias médias relativas a cada uma das classes identificadas no mapeamento (IBGE, 2012, 2013).

Apesar de a literatura apontar esses coeficientes de concordância (acurácia média global, Kappa e Tau) obtidos através da matriz de contingência como os mais amplamente adotados para a indicação da acurácia temática dos mapeamentos realizados (ANTUNES; LINGNAU, 1997; CONGALTON, 1991; CONGALTON; GREEN, 2009; FOODY, 2002; LILLESAND et al. 2004), alguns autores têm questionado a adequabilidade da sua aplicação para classificações que se utilizam de lógicas difusas (não discretas), como a fuzzy e a bayseana (FALZARANO; THOMAS, 2004; FOODY 2002; LABA et al, 2002).

Considerando as funções de pertinência oriundas dos conjuntos fuzzy, ou as funções probabilísticas da abordagem Bayseana, Laba et al. (2002) salienta que cada objeto ou região classificada pode possuir associação parcial a uma determinada classe; logo, o resultado da classificação pode não ser único. Dessa forma, os autores propõem que a acurácia temática de mapeamento nesses casos deva ser avaliada em termos de grau de ambiguidade, que é descrita pela proximidade dos graus de pertinência (ou da probabilidade) de um objeto pertencer a

duas ou mais classes. Logo, quanto maior a proximidade, mais instável seria a classificação (FOODY, 2002; LABA et al., 2002).

Entretanto, os próprios autores ponderam observando que ainda não existe um consenso na comunidade científica sobre qual a melhor maneira de se avaliar a acurácia da classificação proveniente desses tipos de abordagem (FALZARANO; THOMAS, 2004; FOODY 2002; LABA et al., 2002).

Nesse mesmo sentido, outros autores também têm questionado a eficiência desses coeficientes para a medição da acurácia de classificações temáticas realizadas a partir da abordagem GEOBIA (CLINTON et al., 2010; LANG et al., 2009; LANG e TIEDE, 2008; MÖLLER et al., 2007; SCHÖPFER et al., 2008; WEIDNER, 2008; WHITESIDE; MAIER; BOGGS, 2012; WITTEN, 2011; ZHAN et al., 2005). Os autores argumentam que, além da avaliação da acurácia temática, as classificações realizadas sob abordagem GEOBIA demandam da inclusão de procedimentos que sejam capazes de avaliar a qualidade geométrica dos objetos e regiões classificados.

Entretanto, assim como observado por Falzarano e Thomas (2004), Foody (2002), e Laba et al., (2002) nos casos de classificações baseadas nas lógicas fuzzy e bayseana, os autores também concluem que ainda não há consenso sobre as propostas desenvolvidas até então, o que tem feito com que os métodos tradicionais ainda sejam os mais amplamente utilizados inclusive nas classificações realizadas através do novo paradigma GEOBIA (CLINTON et al., 2010; LANG et al., 2009; LANG e TIEDE, 2008; MÖLLER et al., 2007; SCHÖPFER et al., 2008; WEIDNER, 2008; WHITESIDE; MAIER; BOGGS, 2012; WITTEN, 2011; ZHAN et al., 2005).

Contudo, uma ampla revisão da literatura relacionada a esses novos métodos de aferição de qualidade de mapeamento temático, mais ajustados às classificações por GEOBIA, podem ser encontradas em Whiteside, Maier e Boggs (2012). Em seu trabalho, além de revisar estes novos métodos, os autores também apresentam algumas de suas aplicações práticas, avaliando as suas principais vantagens e desvantagens.

A título de conclusão do que foi discutido neste subitem, pode-se dizer que os mapeamentos de Inventário realizados através da classificação digital em ambiente SIG tendem a ter um valor limitado se a acurácia não for apresentada ao usuário (ANTUNES e LINGNAU, 1997; FELGUEIRAS, 2001; LOBÃO et al., 2005; SILVA, 1999), e que não

basta simplesmente apresentar os valores de acurácia se a coleção das amostras para avaliação não for realizada de maneira adequada, e se elas não forem devidamente explicitadas nos relatórios de avaliação (BRITES et al., 1996; STEHMAN et al., 2000; BELART et al., 2002; BRITO, 2008; CONGALTON; GREEN, 2009), assim como o relato dos dados utilizados, os processamentos realizados sobre estes dados e os métodos e técnicas empregados na sua classificação, além dos métodos de amostragem para aferição da qualidade de mapeamento, a construção da matriz de contingência e os coeficientes obtidos pela análise da matriz construída, para que possam ser levados em consideração antes de serem utilizados nas análises e nas tomadas de decisão (ANTUNES; LINGNAU, 1997; FELGUEIRAS, 2001; SILVA, 1999; LOBÃO et al., 2005; BRITES et al., 1996; STEHMAN et al., 2000; BELART et al., 2002; BRITO, 2008; CONGALTON; GREEN, 2009).

Além disso, pode ser constatado que a apresentação da matriz de contingência para o usuário é fundamental, pois através desta é possível visualizar as confusões (erros de omissão e comissão) ocorridas entre as classes, e extrair os principais coeficientes de acurácia que podem ser utilizados para avaliação qualitativa dos mapeamentos temáticos (ANTUNES; LINGNAU 1997; CONGALTON, 1991; CONGALTON; GREEN, 2009; FOODY, 2002; LILLESAND et al. 2004). E apesar de haver alguns questionamentos sobre a eficiência do emprego desses coeficientes para novos tipos de abordagem de classificação digital (CLINTON et al., 2010; FALZARANO; THOMAS, 2004; FOODY 2002; LABA et al, 2002; LANG et al., 2009; LANG e TIEDE, 2008; MÖLLER et al., 2007; SCHÖPFER et al., 2008; WEIDNER, 2008; WHITESIDE, MAIER; BOGGS, 2012; WITTEN, 2011; ZHAN et al., 2005), eles ainda são os mais indicados e amplamente utilizados (CONGALTON; GREEN, 2009; FOODY, 2002; LILLESAND et al. 2004; WHITESIDE; MAIER; BOGGS, 2012).

Por fim, seja qual for o método de aferição adotado, deve-se ter claro que essas medidas não consistem na acurácia real absoluta do mapeamento, pois esta só poderia ser obtida se todo o mapa fosse representado e avaliado na escala do mundo real, ou seja: na escala 1:1; o que não é possível de ser realizado, tendo em vista que todo mapa consiste necessariamente em uma generalização, o que o torna incapaz de representar todas as variações encontradas na realidade. Na verdade, essas medidas são obtidas para expressar o grau de confiabilidade temática do mapeamento, para que em posse dessa medida, de “confiabilidade”, possam ser tomadas as devidas precauções quando o seu uso se fizer necessário para a realização de avaliações socioambientais e tomadas de decisão (ANTUNES;

LINGNAU 1997; CONGALTON, 1991; CONGALTON; GREEN, 2009; FOODY, 2002; LILLESAND et al. 2004), como ocorre nos Planos de Manejo de Unidades de Conservação.

8 – AVALIAÇÃO DAS TÉCNICAS DE GEOPROCESSAMENTO UTILIZADAS NA PRODUÇÃO DOS MAPEAMENTOS DE INVENTÁRIO DOS PLANOS DE MANEJO DO PETAR E DA APA-VRT

Ao longo do capítulo anterior puderam ser identificados os principais mapeamentos de inventário demandados para a elaboração dos Planos de Manejo de Unidades de Conservação no estado de São Paulo, o que se deu através da análise do Termo de Referência da Fundação Florestal (2010a). Tal análise também permitiu identificar as principais especificidades exigidas para as suas execuções (escalas e níveis de detalhamento, legendas, e outras indicações técnicas), o que orientou as buscas pela literatura técnica e científica pertinente sobre esses temas, através da aplicação do método de revisão integrativa da literatura.

A aplicação desse método evidenciou os tipos de dados que podem ser utilizados para a execução desses mapeamentos, as principais técnicas utilizadas para a obtenção desses dados, e as devidas precauções que devem ser tomadas para tal, como as compatibilidades de escala e as possibilidades mais adequadas de refinamento ou de conversão dos dados (interpolação de dados vetoriais, inclusão de pontos de controle, técnicas de obtenção e correção de imagens etc).

Além desses, a revisão da literatura também evidenciou as opções técnicas de geoprocessamento mais eficientes que podem ser aplicadas para a produção dos quatro mapeamentos de inventário selecionados (geomorfológico, climático, fitofisionômico e uso da terra), entendendo-se por mais eficientes as opções técnicas e metodológicas que são capazes de obter resultados mais acurados.

Por fim, no subitem 7.2.5, pôde ser constatado que todos estes mapeamentos têm de ser aferidos e validados para que possam ser evitados possíveis equívocos nas análises socioambientais e tomadas de decisão que são realizadas a partir deles, e que os métodos mais

indicados para tal, ainda consistem nos coeficientes que expressam a qualidade e a confiabilidade desses levantamentos, que são obtidos através da amostragem de dados fidedignos (verdades) e na construção e análise das matrizes de contingência.

Com base nestas evidências que, nos próximos itens deste capítulo, foi avaliado como as técnicas de geoprocessamento vêm sendo empregadas nos mapeamentos de inventário dos Planos de Manejo recentemente produzidos para Unidades de Conservação paulistas, ou seja: se os dados utilizados são adequados às análises realizadas, se as técnicas mais eficientes de tratamento e classificação desses dados estão sendo aproveitadas e se os produtos obtidos estão sendo devidamente aferidos e validados.

Entretanto, é necessário salientar previamente, que as observações e considerações colocadas durante essas avaliações, restringem-se somente ao modo como as técnicas de geoprocessamento vêm sendo empregadas na produção dos mapeamentos de inventário selecionados para análise, não podendo ser remetidas, portanto, a qualquer juízo de valor sobre a qualidade desses levantamentos e, menos ainda, em relação à qualidade das análises de diagnóstico e das tomadas de decisão que foram deles derivadas, pois isso está além dos próprios objetivos pretendidos por esta pesquisa.

Antes de apresentar os resultados das avaliações, é importante salientar ainda que todos os mapas temáticos avaliados foram impressos em papel de tamanho A3 nesta pesquisa, o que significou uma redução da escala original em que eles se encontravam representados. Além deste fato, deve ser salientado que a maioria dos mapas pertencentes ao Plano de Manejo da APA-VRT recobre apenas uma parcela da sua área total, o que se deve à própria forma dessa Unidade de Conservação, estreita e comprida, e que dificulta a sua representação em apenas uma folha, principalmente em escalas de detalhe (maiores ou iguais a 1:25.000). Dessa maneira, no PM da APA-VRT os temas produzidos nas escalas originais de 1:25.000, foram representados através de uma composição de quatro folhas de tamanho A0 articuladas. Neste caso foi escolhida uma mesma folha da articulação para todos os temas, chamada no Plano de Manejo de “Folha 2” que abrange o Parque Ecológico do Tietê e o seu entorno. De maneira diferente, no caso do Plano de Manejo do PETAR, não consta nenhum mapa que se utilizou desse procedimento, ou seja, todos os temas encontram-se representados em uma única folha. Deve, porém, ser salientado também que, diferentemente dos Mapas produzidos para a APA-VRT (todos em tamanho A0 independente da escala adotada), os Mapas do Plano

de Manejo do PETAR possuem dimensões diferentes entre si (A0, A1 e A3) e que variam de acordo com a escala de representação dos temas. Entretanto no CD anexo a essa pesquisa, todos estes mapas podem ser conferidos na sua escala original de representação.

8.1 - Mapa Geomorfológico da APA-VRT

O Mapa Geomorfológico da APA-VRT foi elaborado através da cooperação entre as equipes técnicas que compuseram dois submódulos do Meio Físico: Recursos Hídricos e Geomorfologia. Ambas as equipes explicitam que a metodologia para o mapeamento envolveu a coleção de dados secundários, revisão bibliográfica e geração de dados primários, principalmente através da interpretação estereoscópica de fotografias aéreas e da interpretação visual de dados topográficos e ortofotos digitais (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2013).

Segundo consta no próprio texto final do Plano de Manejo, a produção de dados primários foi conduzida pela metodologia desenvolvida por Rodrigues (1999, 2004, 2008), a qual propõe que:

Os estudos foram conduzidos a partir de análises retrospectivas cartográficas e hidrogeomorfológicas, voltadas às condições originais de sistemas e sub-sistemas, suas condições pré-urbanas, e as condições representativas de diversos momentos do processo histórico de expansão urbana (RODRIGUES, 2005; FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2013 p. 21).

Tal concepção metodológica orientou a produção de dois mapas parciais, que posteriormente foram integrados com outros dados a fim de se produzir o Mapa Geomorfológico propriamente dito, são eles:

- 1) Mapa Hidrográfico, na escala 1:25.000, compreendendo a delimitação das bacias e sub-bacias e a hierarquização da rede de drenagem;
- 2) Mapa da Morfologia Original da APA Várzea do Tietê na escala 1:25.000.

O Mapa Hidrográfico foi produzido a partir da interpretação visual (no monitor) dos dados topográficos (curvas de nível, pontos cotados e redes de drenagem) provenientes do “Mapeamento Básico Digital Vetorial” da Região Metropolitana de São Paulo, de 2002, na escala 1:25.000, produzido e comercializado pela EMPLASA (2015). Estes dados foram importados para o SIG, no qual foram vetorizados, manualmente com o uso do mouse, os limites das bacias e sub-bacias hidrográficas e a hierarquia da rede de drenagem (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2013). Os resultados desses procedimentos podem ser conferidos no Mapa 2.

Mapa 2 - Mapa Hidrográfico da APA Várzea do Rio Tietê

Convenções Cartográficas

- APA Várzea do Rio Tietê
- Curvas de Nível - Intermediárias
- Curvas de Nível - Mestras
- Buffer de 1 km da APA

Classificação Hierárquica dos Corpos D'Água segundo Strahler

- 1ª Ordem
- 2ª Ordem
- 3ª Ordem
- 4ª Ordem
- 5ª Ordem
- 6ª Ordem

- Rio Tietê
- Represas e Lagos

Hierarquia das Sub-bacias Hidrográficas

- 1ª Ordem
- 2ª Ordem
- 3ª Ordem
- 4ª Ordem
- 5ª Ordem
- 6ª Ordem
- Contribuição Tietê

Mapa de Localização:

Articulação: Folha 2

Escala: 0 800 1.600 3.200 Meters

PROJEÇÃO:
UTM Fuso 23S

DATUM:
SAD 69

IMPRESSO EM:
Papel A0; Escala 1:25.000; Data 13/Maio/2011

FONTE:
1. ; Base Cartográfica Emplasa 1:10.000
2. ; Plano de Bacias do Alto Tietê 2009
3. ; Base Cartográfica fornecida pela FF/SMA

ORGANIZAÇÃO:
1. RODRIGUES, Cleide;
2. GOUVEIA, Isabel Cristina Moroz Caccia;
3. LUZ, Rodolfo Alves da;
4. MANTOVANI, Juliana da Costa;
5. VENEZIANI, Yuri;

SECRETARIA DO
MEIO AMBIENTE

Segundo informações disponíveis no *site* da EMPLASA (2015), estes dados que foram utilizados para a produção do Mapa Hidrográfico consistem em uma série de arquivos vetoriais diferentes (sistemas viários, hidrografia, altimetria, entre outros) que foram gerados “a partir da digitalização dos originais cartográficos que integram as coleções do Sistema Cartográfico Metropolitano [...] que possui precisão compatível com a escala 1:25.000”.

Entretanto, no que se refere exclusivamente aos dados altimétricos e hidrográficos dessa base, a própria EMPLASA (2015) ressalva que eles são compatíveis somente “com informações na escala 1:100.000”, pois possuem menor densidade de curvas de nível e de rede de drenagem do que a exigida para cartas topográficas na escala 1:25.000. Desse modo, esses dados não possuem níveis de acurácia compatíveis com a escala do mapeamento então realizado (Mapa Hidrográfico da APA-VRT na escala 1:25.000). Além disso, deve ser ressaltado que o método utilizado (interpretação visual dos dados topográficos e vetorização manual) é essencialmente subjetivo e mais suscetível a erros do que os oferecidos pelas técnicas de modelagem hidrológica explicitadas no subitem 7.2.1.

O Mapa da Morfologia Original, por sua vez, foi produzido através da restituição (interpretação estereoscópica) de fotografias aéreas analógicas, que foram obtidas no ano de 1962, na escala 1:25.000. Segundo os autores, a execução desse mapeamento envolveu diversos pesquisadores, especialistas em restituição morfológica e geomorfológica, que se utilizaram de estereoscópios de bolso e de espelho para a interpretação de centenas de fotografias aéreas correspondentes a toda a planície fluvial original do rio Tietê neste seu setor de montante. Ainda de acordo com os autores, tal restituição foi também auxiliada por observações de campo (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2013).

Os dados produzidos nessa etapa consistiram em *overlays* analógicos (na forma de papel) que posteriormente foram digitalizados, georreferenciados e vetorizados com o uso de Sistemas de Informações Geográficas. Como base de referência para o georreferenciamento foram utilizadas ortofotos digitais de 2007, com resolução espacial e acurácia posicional compatível até a escala 1:5.000 (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2013). Como resultado foram classificadas sete categorias morfológicas da planície original do Rio Tietê que ganharam representação cartográfica na escala 1:25.000, conforme pode ser observado no Mapa 3.

Mapa 3 - Morfologia Fluvial Original da APA Várzea do Rio Tietê.

Convenções Cartográficas

- Sistema Viário
- Ferrovia
- Limite Municipal
- Curvas de Nível - Intermediárias
- Curvas de Nível - Mestras
- Hidrografia EMLASA
- Limite da APA - VRT

Legenda da Carta da Morfologia Original da APA da Várzea do Rio Tietê

Unidades Morfológicas	Materiais Superficiais	Processos Predominantes
Canal do Rio Tietê	Cascalhos e seixos no leito e areias e cascalhos nas margens.	Fluxos hidráulicos de alta energia, com transporte de carga de fundo e processos erosivos na margem côncava e deposicionais na convexa (tipos de canais meandrônicos).
Meandros Abandonados	Apresentam áreas finas, silte e argila com matéria orgânica no topo e areias grossas, cascalhos e seixos na base.	Canais fluviais que foram abandonados por cutoff ou avulsão, apresentando processos de colmatagem.
Backswamps	Sedimentos finos (silte e argila) acumulados pelas águas que são represadas após as inundações.	Área de amortecimento das vazantes de pico devido às águas que são represadas após as inundações envolvendo depósitos de material fino por decantação, acúmulo de matéria orgânica e provável gleização dos solos.
Nível 1	Sedimentos com grande variedade granulométrica com 4 a 7 metros de espessura. Em termos gerais, predominam areias e cascalhos na base sob camadas pedológicas mais ou menos frequentes no topo.	Áreas grossas, cascalhos e seixos advindos da movimentação lateral do canal fluvial, cobertos por sedimentos finos advindos da carga suspensa das águas de cheias, e que suportam incipientes processos pedológicos com predominância gleização em sua base. Estratigráfica pode ocorrer sedimentos depositados em condições ambientais diferentes das atuais.
Nível 2	Sedimentos quaternários, com predominância de texturas grossas na base (seixos, cascalhos e areias grossas) e finas no topo (areias, siltes e argilas). No geral, apresentam solos bem desenvolvidos.	Processos pedológicos e erosivos que ocorrem sobre os sedimentos previamente depositados pela dinâmica fluvial de uma planície de inundação que foi abandonada. Sedimentação fluvial é menos importante, ocorrendo somente durante as cheias excepcionais.
Lago	Plantas de inundação de aluvial	Contorno Meandrônico Pré-urbano
Colinas sobre sedimentos terciários	Terraplo fluvial em aluvial	Contorno Meandrônico Pré-actual
Rio Tietê atual	Terraplo fluvial em aluvial. Nível 2	

Mapa de Localização:

Articulação: Folha 2

Escala: 0 500 1.000 2.000 3.000 Meters

PROJEÇÃO:
UTM Fuso 23S

DATUM:
SAD 69

IMPRESSO EM:
Papel A0; Escala 1:25.000; 04/08/2011.

FONTES E BASES CARTOGRÁFICAS:

- Base cartográfica (EMLASA, 1972/74/80/81);
- Aerofotos (IAC, 1962).

ORGANIZAÇÃO:

- Rodrigues, Cleide;
- Moroz-Caccia Gouveia, Isabel C.;
- Luz, Rodolfo A.;
- Mantovani, Juliana;
- Veneziani, Yuri.

Apesar de, ao menos a princípio, não haver qualquer incompatibilidade entre a escala dos dados de origem (fotografias aéreas na escala 1:25.000 e ortofotos na escala 1:5.000) e a escala de representação final do mapa (1:25.000), não foi informado o erro quadrático médio (RMS) obtido no processo de georreferenciamento dos *overlays*, o que compromete a confiabilidade posicional do mapeamento. De todo modo, deve ser destacado que, devido ao fato de não existirem registros cartográficos do período (início da década de 1960) para a área mapeada, mas somente fotografias aéreas, a interpretação estereoscópica dessas fotografias consistiu no único meio possível de realização desse levantamento.

Além desse fato, é importante ser destacado ainda que as informações geradas neste mapeamento foram umas das mais importantes de todo o Plano de Manejo da APA-VRT, pois delas derivaram as principais análises de diagnóstico da UC, como a identificação de áreas vulneráveis às inundações, a definição de graus de fragilidade ambiental e também dos níveis de perturbação morfológica da planície fluvial, que consistiram nos principais indicadores utilizados no zoneamento final da APA (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2013).

No que se refere especificamente ao Mapa Geomorfológico da APA-VRT, além dos mapas parciais produzidos pelo submódulo de recursos hídricos, a sua produção envolveu também a obtenção de dados clinográficos em ambiente SIG e a interpretação visual de cartas topográficas e ortofotos digitais (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2013).

Segundo consta no Plano de Manejo da APA-VRT, o dado de inclinações do relevo (clinografia) utilizou como base as cartas topográficas em formato vetorial da EMPLASA na escala 1:10.000, provenientes do levantamento realizado pelo Sistema Cartográfico Metropolitano no ano de 1981 (EMPLASA, 2015). Os vetores de curvas de nível e pontos cotados presentes nessas cartas foram submetidos à interpolação com o uso de SIG, mediante a aplicação do interpolador ANUDEM, também conhecido como *topo to raster*, como é chamado no *software* ArcMap da ESRI. A execução deste procedimento gerou um Modelo Digital de Elevação, através do qual foram então extraídas as variações de inclinações do relevo da APA-VRT e do seu entorno (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2013).

Posteriormente, este conjunto de dados (mapa hidrográfico, morfologia original, clinografia e ortofotos de 2007) foi então importado para o *software* de SIG, no qual eles foram sobrepostos e comparados visualmente a fim de serem identificadas as classes geomorfológicas atuais da APA. Após a execução de tal inspeção, as classes então

identificadas foram vetorizadas manualmente com o uso de mouse (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2013). Como resultado, foram definidas sete classes de formas do relevo diferentes, as quais foram representadas na escala 1:25.000, conforme pode ser verificado no Mapa 4.

De maneira semelhante à observada no Mapa da Morfologia Original da APA, apesar de não haver qualquer incompatibilidade entre a escala dos dados de origem e a escala de representação final do Mapa Geomorfológico final, as classes temáticas definidas nesse mapeamento também não foram submetidas a procedimentos de aferição de acurácia da classificação. No caso do Mapa da Morfologia Original, isso se justifica por este levantamento consistir em uma restituição histórica e pioneira, ou seja, que não possui qualquer base que possa ser utilizada como referência para a sua validação, não sendo possível de ser obtida nem mesmo através de atividades de campo, já que a maior parte das classes identificadas atualmente se encontra alterada pelas diversas atividades antrópicas que historicamente se sucederam na região, como cortes de taludes e aterros dos terraços inferiores da planície.

Entretanto, o Mapa Geomorfológico, diferentemente do Mapa da Morfologia Original, propôs-se a classificar as formas do relevo atuais da APA, incorporando inclusive os cortes e aterros na sua legenda. O que se deu pela análise visual combinada da Morfologia Original com as cartas topográficas de 1981 e as ortofotos de 2007.

Desse modo, tendo em vista que nenhum dos dados parciais também não foi aferido e validado, a necessidade de averiguação da acurácia desse mapa final atualizado faz-se ainda mais necessária, pois os erros presentes em cada um dos dados de entrada tendem a se propagar nos seus derivados (FELGUEIRAS, 2001), o que compromete ainda mais sua confiabilidade, e acaba por comprometer também a qualidade de todas as análises que foram derivadas desse levantamento (ANTUNES; LINGNAU, 1997; LOBÃO et al., 2005; BRITO, 2008; CONGALTON; GREEN, 2009).

Mapa 4 - Geomorfologia da APA da Várzea do Rio Tietê

Convenções Cartográficas

- Rio Tietê e Corpos d'água
- Limites Municipais - SP (Emplasa)
- Limite Vigente da APA VRT
- Curvas de Nível - Intermediárias
- Curvas de Nível - Mestras

Geomorfologia
Classes

- Cca - Colinas com Cortes e Aterros
- Cvc - Colinas com Vertentes Côncavas e Convexas
- Mca - Morros com Cortes e Aterros
- Mvc - Morros com Vertentes Côncavas e Convexas
- Pfa - Planície Fluvial Aterrada
- Pfm - Planície Fluvial com Mineração
- Pfn - Planície Fluvial Natural

Articulação: Folha 2

Escala: 0 1,000 2,000 3,000 metros

PROJEÇÃO:
UTM - Fuso 23 Sul

DATUM:
SAD 69

IMPRESSO EM:
Papel A0; Escala 1:25.000; 06/05/2011

FONTE:
1. Cartas Emplasa 1:10.000;
2. Ortofotos 2007 (Emplasa).

ORGANIZAÇÃO:
Castro, Paulo Ricardo Ribeiro
Fierz, Marisa de Souto Matos
Gouveia, José Mariano Caccia
Ross, Jurandyr Luciano Sanches

SECRETARIA DO
MEIO AMBIENTE

Além disso, apesar de ter sido gerado um MDE para a extração de informações clinográficas do relevo local, este mapa foi produzido através da aplicação de métodos predominantemente manuais, calcados principalmente na interpretação visual de diferentes níveis de informação (mapa hidrográfico, morfologia original, clinografia e ortofotos), mesmo tendo à sua disposição dados topográficos vetoriais compatíveis até a escala 1:10.000, bem superior à do mapeamento realizado (escala 1:25.000).

Como já observado anteriormente por diversas vezes nos subitem 7.2.1, 7.2.3 e 7.2.4, é certo que todas as técnicas de classificação de imagens derivam da fotointerpretação, assim como é certo que não necessariamente este tipo de abordagem (fotointerpretação) oferece resultados com menor qualidade do que outros (ANDERSON et al., 1979; KELLER, 1969). Inclusive, uma das principais vantagens do “novo paradigma” da classificação de dados geográficos digitais com o uso de SIG, chamado de GEOBIA, consiste exatamente na possibilidade de simular as associações cognitivas do raciocínio humano, que são intrínsecas da classificação por fotointerpretação (BLACSHKE, 2010; 2014; HAY; CASTILLA, 2008).

Entretanto, a literatura revisada no subitem 7.2.1 evidenciou também diversas possibilidades de integração entre os métodos tradicionais com novos tipos de abordagem que vem sendo desenvolvidos no geoprocessamento (BLASI et al., 2007; CAMARGO et al., 2009; GUIDA et al., 2009; NEPOMUCENO; LUCHIARI, 2014), ressaltando as vantagens oferecidas por esses novos métodos de classificação de dados geomorfológicos, como a maior objetividade (CAMARGO, 2008; MENTLIK; NOVOTNA, 2010; NEPOMUCENO; LUCHIARI, 2014; SIART et al., 2009; SOARES NETO, 2015; STEINKE; SANO, 2011), o maior controle do processo (ASSELEN; SEIJMONSBERGEN, 2006; MACMILLAN; JONES, 2004; MACMILLAN; SHARY, 2008) e a possibilidade de reaplicação (reprodutibilidade) de modelos, que também são estabelecidos com base no conhecimento humano. O que se dá através da aplicação de regras objetivas (estabelecimento de limiares de valores numéricos) sobre os atributos que melhor descrevem estas classes nos próprios dados (ANDERS et al., 2011; BLASI et al., 2007; CAMARGO et al., 2009; CREVENNA et al., 2005; GEORGIEVSKIY, 2011; GUIDA et al., 2009; MENTLIK; NOVOTNA, 2010; SIART et al., 2009; SOARES NETO, 2015; STEINKE; SANO, 2011).

Portanto, abrir mão desses recursos, mesmo quando existe uma ampla base de dados disponíveis para tal, como no caso das Unidades de Conservação localizadas na RMSP, é

abrir mão das vantagens oferecidas pelos próprios avanços técnicos e científicos, pois as novas técnicas são criadas para ampliar ainda mais as possibilidades de análises, a eficiência dos procedimentos e a fidedignidade dos seus produtos, não o contrário.

8.2 - Mapa Geomorfológico do PETAR

No caso do Mapa Geomorfológico do PETAR, pôde ser constatado que as deficiências técnicas identificadas na produção do Mapa Geomorfológico da APA-VRT, recorrem de maneira ainda mais intensa.

Segundo o relatório técnico da equipe que integrou o módulo do Meio Físico do Plano de Manejo do PETAR, o Mapa Geomorfológico da UC foi produzido a partir da interpretação de uma série de mapas temáticos preexistentes e de fotografias aéreas digitais na escala 1:35.000; estes primeiros se encontram descritos na Tabela 8 (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2009a). Quanto às fotografias aéreas, pôde ser observado que há um desencontro entre as informações constantes no relatório e no documento final do Plano, pois no primeiro não consta qualquer menção de uso de fotografias aéreas na escala 1:25.000, somente na 1:35.000; elas só são mencionadas na própria redação final do Plano que se encontra em análise no CONSEMA. Além disso, em ambos os documentos foi explicitado apenas a escala das fotos, não foram mencionados os seus recobrimentos e nem as suas datas de aquisição.

Quanto ao embasamento teórico metodológico do mapeamento realizado, o relatório técnico da equipe explicita o seguinte:

[...] foi adotado a concepção descrita por Pires Neto (1992), ou seja: conforme a perspectiva sintética-histórica que compreende o mapeamento em pequenas escalas baseados na análise de tipos de relevo (DEMECK, 1967), também denominada de tipos morfogenéticos (MURARIU et al., 1967) [...] ou padrões de formas semelhantes (ROSS, 1992; FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2009a, p. 6).

Aqui já é possível notar a ocorrência de uma parcial incompatibilidade com as exigências estabelecidas pelo Termo de Referência da Fundação Florestal (2010a), pois este documento determina que a escala mínima do mapeamento geomorfológico das UC deve ser a de 1:50.000. Porém a proposta taxonômica de Ross (1992) indica que os “padrões de formas semelhantes”, que corresponde ao terceiro táxon, é melhor representado nas escalas médias e pequenas, ou seja, até a escala máxima de 1:50.000, podendo ser representado ainda nas escalas 1:100.000 e 1:250.000. Ainda de acordo com o autor, o registro dos fatos geomorfológicos no quinto e sexto táxon só é possível em escalas superiores a 1:25.000, e o

quarto táxon estaria em um grupo intermediário, que são melhor representados entre as escalas médias e grandes, ou seja, entre 1:50.000 e 1:25.000 (ROSS, 1992). Desse modo, é possível concluir que esse nível taxonômico (quarto) é o que se apresenta como o mais compatível com a exigência escalar do TdR (maior ou igual a 1:50.000). Contudo, não pode ser totalmente desconsiderada a possibilidade de a classificação ser realizada no nível do terceiro táxon, por isso essa observação representa apenas uma “incompatibilidade parcial”. Os próprios autores ponderam acerca dessa mesma questão, ao afirmar que “a unidade taxonômica dos fatos geomorfológicos a serem analisados podem ser representados na escala 1:250.000 e 1:100.000 e eventualmente na escala 1:50.000” (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2009a p.7).

No que se refere às técnicas empregadas para a realização do mapeamento, através da leitura do Plano de Manejo (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010b) e do relatório da equipe (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2009) foi possível identificar que o Mapa Geomorfológico de PETAR foi obtido mediante a execução das seguintes etapas:

- 1) Realização de levantamentos e observações preliminares de campo com o auxílio de cartas topográficas do IBGE na escala 1:50.000;
- 2) Identificação nas fotografias aéreas dos padrões de formas semelhantes previamente observados no campo;
- 3) Delineamento analógico (por *overlay*) dos padrões de formas semelhantes a partir da interpretação visual das fotografias aéreas analógicas;
- 4) Digitalização, georreferenciamento, e vetorização do *overlay* obtido na terceira etapa;
- 5) Sobreposição do conteúdo do *overlay* então vetorizado com outros dados (mapas pedológicos, geológicos e geomorfológicos elencados na Tabela 8) com o uso de SIG;
- 6) Incorporação das informações contidas nesses documentos (mapas pedológicos, geológicos e geomorfológicos elencados na Tabela 8) às feições previamente vetorizadas para a elaboração da legenda final do mapa.

TABELA 8 – Dados secundários utilizados no mapeamento geomorfológico do PETAR

Tipo de Mapa	Escala	Referência*
▪ Geomorfológico do Brasil	1: 5.000.000	IBGE (1993)
▪ Geomorfológico do Brasil	1: 5.000.000	IBGE (2006)
▪ Geomorfológico do Estado de São Paulo	1: 1.000.000	Ponçano <i>et al.</i> (1981)
▪ Geomorfológico e de Avaliação do Relevo da Folha Curitiba / Assuncion	1: 1.000.000	RADAMBRASIL (2005)
▪ Geológico do Estado de São Paulo	1:750.000	Perrotta <i>et al.</i> (2005)
▪ Geológico do Estado de São Paulo	1: 500.000	Bistrichi <i>et al.</i> (1981)
▪ Geomorfológico Preliminar do Estado de São Paulo	1: 500.000	IPT (1979)
▪ Geomorfológico do Estado de São Paulo	1: 500.000	Ross e Moroz (1997)
▪ Solos do Estado de São Paulo	1: 500.000	Oliveira <i>et al.</i> (1999)
▪ Geomorfológico do Vale do Ribeira - Macrozoneamento	1: 250.000	FUNCA TE/ SEMA (1992)
▪ Geologia da porção meridional da Faixa Ribeira	1: 250.000	Campanha (2002)
▪ Levantamento de reconhecimento dos solos do Rio Ribeira de Iguape em São Paulo	1: 250.000	Lepsh <i>et al.</i> (1999)
▪ Geomorfológico do Ribeira – Mapas de trabalho	1: 100.000 e 50.000	FUNCA TE / SEMA (1992)
▪ Detalhe Geológico no Vale do Ribeira	1: 100.000	CPRM (1982)
▪ Geomorfológico Preliminar da APA da Serra do Mar	1: 50.000	THEMAG (1990)

Fonte: Fundação Florestal (2010b).

A identificação e o delineamento dos padrões de formas semelhantes por interpretação das fotografias aéreas (segunda e terceira etapa), e a posterior vetorização dos dados obtidos (quarta etapa) teve como resultado a classificação morfológica do relevo da UC em oito categorias diferentes que foram denominadas como “tipos de terrenos”, conforme pode ser conferido no Mapa 5. Posteriormente, este mapa foi sobreposto aos mapas pedológicos e geológicos, na escala 1:250.000 (quinta etapa), os quais, segundo os autores, foram então detalhados pela interpretação de fotografias aéreas na escala 1:35.000 e observações realizadas no campo. As observações de campo foram realizadas somente com o auxílio da carta topográfica do IBGE (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2009, 2010b), ou seja, sem o uso de receptores GNSS.

Escala Numérica:
1:100.000

Convenções Cartográficas

- Hidrografia
- Sistema Viário
- Limite do PETAR

- Legenda**
- 1. Montanhoso e Escarpado
 - 2. Amorreados Cársticos
 - 3. Amorreados Íngremes
 - 4. Amorreados
 - 5. Morrotes
 - 6. Cones de Dejeção
 - 7. Terraços
 - 8. Planície Fluvial

**Plano de Manejo do
Parque Estadual Turístico
do Alto Ribeira - PETAR**

**Mapa 5 - Tipos de Terrenos do
PETAR e Área de Entorno**

Bases Cartográficas: IBGE 1:50.000
Projeção UTM Fuso 22º Datum SAD 69
Autores: Antonio Gonçalves Pires Neto e Marcio Rossi
Org. Cartográfica: IF/SMA e SIGMATS - Dezembro de 2010

No final do processo foram incorporadas as informações dos mapas pedológicos e geológicos, ao mapa de tipos de terrenos, a fim de gerar o mapa geomorfológico de síntese. Como resultado foram classificados 24 compartimentos geomorfológicos diferentes que foram representados na escala 1:50.000, conforme pode ser observado no Mapa 6.

O estabelecimento da legenda teve como base os dados morfométricos, morfográficos e as informações levantadas nos trabalhos de campo (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2009a, 2010b). Apesar de, tanto nos relatórios quanto no próprio Plano, constar que também foram utilizados dados morfométricos e morfográficos nas análises, em nenhum desses documentos é mencionado quais foram esses dados e como eles foram gerados. Como só consta a fotointerpretação analógica e a realização de observações de campo, presume-se que essas informações foram estimadas a partir destas atividades (fotointerpretação e trabalhos de campo), mesmo tendo à disposição as cartas topográficas do IBGE na escala 1:50.000, mesma escala do próprio mapeamento realizado. No entanto, é preciso salientar que essa informação carece de confirmação perante a equipe técnica ou a própria Fundação Florestal.

De qualquer maneira, o uso de bases de dados em escalas inferiores à do mapeamento realizado, como os pedológicos e geológicos nas escalas 1:250.000 e 1:500.000, conforme explicitados na Tabela 8, levanta a seguinte questão: até que ponto é possível compatibilizar dados em escalas tão diferentes, mesmo que detalhados (ou refinados) pela interpretação de fotografias aéreas e observações de campo?

Uma maneira possível de responder a essa questão poderia ser através da avaliação da confiabilidade (acurácia) temática do mapa então produzido, entretanto nenhum tipo de avaliação da qualidade temática de mapeamento foi realizado.

À vista desses fatos, pôde ser constatado que o Mapa Geomorfológico produzido para o Plano de Manejo do PETAR consistiu-se em mais uma tentativa de atualização e de detalhamento dos mapas preexistentes do que na produção de uma nova informação; e essa atualização e detalhamento não foram nem mesmo avaliadas, o que poderia de certa maneira garantir a sua confiabilidade e adequabilidade para as análises na escala em que ele foi representado (1:50.000).

Localização da Área de Estudo

Escala Gráfica:
0 1 2 4 km
Escala Numérica:
1:100.000

Convenções Cartográficas

- Hidrografia
- Sistema Viário
- Limite do PETAR

Plano de Manejo do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira - PETAR

Mapa 6 - Geomorfologia do PETAR e Área de Entorno

Bases Cartográficas: IBGE 1:50.000
Projeção UTM Fuso 22º Datum SAD 69
Autores: Antonio Gonçalves Pires Neto e Marcio Rossi
Org. Cartográfica: IF/SMA e SIGMATS - Dezembro de 2010

Zonas	Subzonas	Tipos de relevo e Feições
Serrania Costeira	Serrania do Ribeira Relevos fortemente dissecados do Vale do Rio Ribeira de Iguaçu	<ul style="list-style-type: none">E - EscarpasEv - Escarpa em Vales ParalelosEa - Escarpa em AntefastoMH - MontanhasMMH - Morros e MontanhasCR - CristasCRMp - Cristas e Morros ParalelosMp - Morros ParalelosMm - Morros MaciçosMa - Morros AngulososMpd - Morros PedimentaresMTpd - Morros PedimentaresCD - Cones de Dejeção e Corpos de TalusT - TerraçoPf - Planície Fluvial
	Planalto Cárstico de Vale do Ribeira (Planaltos interiores / residuais)	<ul style="list-style-type: none">MTMc - Morros e Morros Cársticosdol - DolinaAf - Afioramento de rocha
	Planalto de Guapiara Domina na bacia do Rio Apial - Açu afluente do Rio Paranapanema	<ul style="list-style-type: none">MTcp - Morros e Colinas PequenasMT - MorrosMTM - Morros e MorrosCR - CristasPf - Planície FluvialPfc - Planície Fluvio-Coluvial

Além disso, o uso exclusivo da técnica de interpretação analógica de fotografias aéreas, mesmo tendo à disposição as cartas topográficas do IBGE, através das quais poderiam ter sido obtidas diversas variáveis morfométricas mediante o seu processamento em ambiente SIG, demonstra a subutilização do geoprocessamento neste mapeamento. Nem mesmo os trabalhos de campo utilizaram-se de receptores GNSS, e os SIG só foram utilizados para a conversão das fotointerpretações para o meio digital (georreferenciamento e vetorização dos *overlays*) e para a sobreposição destes com os outros dados preexistentes.

Assim como observado no exemplo anterior, a revisão integrada da literatura apresentada no subitem 7.2.1 evidenciou as diversas vantagens que a geração e manipulação de MDE em ambiente SIG têm oferecido para a produção de Mapas Geomorfológicos (ANDERS et al., 2011; ASSELEN e SEIJMONSBERGEN, 2006; BLASI et al., 2007; CAMARGO, 2008; CREVENNA et al., 2005; GEORGIEVSKIY, 2011; MACMILLAN e JONES, 2004; MACMILLAN e SHARY, 2008; MENTLIK e NOVOTNA, 2010; SIART et al., 2009; SOARES NETO, 2015; STEINKE e SANO, 2011), principalmente quando comparados com as técnicas tradicionais, baseadas exclusivamente na interpretação analógica de fotografias aéreas, que foram as principais técnicas empregadas nesse caso. Não que elas sejam excludentes entre si, de forma alguma elas o são, pois também foi evidenciado que muitas das informações necessárias a esses levantamentos só podem ser identificadas a partir delas (BLASI et al., 2007; GUIDA et al., 2009; NEPOMUCENO e LUCHIARI, 2014), como foi também observado no caso do Mapa da Morfologia Original da APA-VRT.

O uso combinado dessas técnicas, contudo, só tende a ampliar ainda mais a eficiência das classificações realizadas (BLASI et al., 2007; GUIDA et al., 2009; NEPOMUCENO e LUCHIARI, 2014) e a confiabilidade dos seus produtos (ANDERS et al., 2011; CAMARGO et al., 2009; SOARES-NETO, 2015; STEINKE; SANO, 2011).

Portanto, a partir de tais constatações, é possível afirmar que o Mapa Geomorfológico, produzido no âmbito do Plano de Manejo do PETAR, consiste em mais um exemplo da recorrência dos problemas de subaproveitamento dos SIG constatados por Lang e Blacshke (2009) na maioria das atividades de planejamento ambiental e territorial realizadas no mundo. Da mesma maneira que também recorrem os problemas relacionados à ausência da avaliação da qualidade de mapeamento, destacados por Antunes (1996) e Felgueiras (2001), o que tende a comprometer a qualidade das análises que foram efetuadas a partir deles.

8.3 - Mapa de Tipos e Características Climáticas da APA-VRT

O Mapa das Características e Tipos Climáticos da APA-VRT não chegou a ser produzido. Foram produzidos somente mapas específicos sobre o comportamento sazonal e anual de alguns dos elementos climáticos (precipitação e temperatura) compatíveis com a escala de análise regional, que foram utilizados somente para subsidiar a caracterização climática da UC, no seu contexto regional e local.

Tal caracterização foi realizada de forma essencialmente descritiva, sem chegar a representar as análises realizadas em um mapa de síntese. Os autores relatam que a metodologia envolveu revisão bibliográfica, análise de dados secundários, provenientes das estações meteorológicas e/ou plúvio-térmicas disponíveis na região, e dados de Sensores Remotos (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2013).

As etapas de trabalho encontram-se sintetizadas no Plano de Manejo da APA-VRT da seguinte maneira:

[...] Inicialmente foi elaborada uma descrição dos sistemas atmosféricos atuantes na região de estudo e que contribuem para a variabilidade sazonal das variáveis meteorológicas. Na sequência, através da análise de séries temporais foram determinados os valores médios sazonais de precipitação, temperatura do ar e intensidade e direção do vento próximo à superfície a fim de se identificar a estação mais úmida/seca, fria/quente e de ventos mais/menos intensos na área de estudo (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2013 p.13).

Desse modo, é possível constatar que a caracterização climática da APA-VRT foi pautada na análise das variações sazonais da precipitação, da temperatura do ar, e da intensidade e direção dos ventos, sendo que somente os dois primeiros foram representados cartograficamente.

Conforme se encontra explicitado no Plano de Manejo da APA-VRT, os dados utilizados para identificar a variabilidade sazonal da temperatura do ar consistiram nos registros das estações meteorológicas e pluviométricas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), do Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO) e do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG/USP) (FUNDAÇÃO

FLORESTAL, 2013 p.15). Não foi informado o total de estações consultadas e nem as suas respectivas localizações, absolutas (coordenadas) ou relativas.

Para a variabilidade sazonal das precipitações, além dos dados das estações supracitadas, foram utilizadas também as séries históricas sintéticas obtidas pelos satélites da série GOES, que são disponibilizados pelo *Climate Prediction Center – CPC* da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), dos Estados Unidos da América (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2013). Esses dados consistem em estimativas do volume total diário de precipitações na resolução espacial de 0,5° da superfície terrestre, o que corresponde a aproximadamente 55,5 km.

Já para a intensidade e direção dos ventos, foram avaliadas as análises do *Cross-Calibrated Multi-Platform* (CCMP) do *Ocean Surface Wind Components*, que possui resolução temporal diária e espacial de 0,25° (aproximadamente 28 km), e a do *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF), que tem resolução espacial de 1,5° (aproximadamente 166 km) (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2013).

Os níveis de detalhamento oferecidos pelos dados provenientes dos sensores remotos, observando as suas respectivas resoluções espaciais (0,5°, 0,25° e 1,5°), já evidenciam a incompatibilidade desses dados para a produção do Mapa dos Tipos e Características Climáticas da UC, no nível detalhamento requerido pelo Termo de Referência da Fundação Florestal. Segundo este documento (Termo de Referência), a escala do mapa que deve ser produzido por esse submódulo deve ser compatível com a dos outros temas (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a), ou seja, iguais ou superiores a 1:50.000; o que inviabiliza o uso de dados de sensores remotos em resolução espacial superior a 25 metros. Sendo assim, esses dados, que possuem resolução espacial na ordem de dezenas de quilômetros, podem ser utilizados no máximo para auxiliarem na caracterização climática da UC em uma escala regional. Mesmo para a escala local, o seu uso é no mínimo questionável.

De todo modo, foram esses os dados utilizados pelo submódulo clima, do Plano de Manejo da APA-VRT, para a realização da caracterização climática da UC nas escalas regionais e locais (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2013).

Para a identificação das variações sazonais desses três elementos (ou variáveis) do clima, na região que se encontra a APA-VRT, os autores relatam que:

[...] Foram calculadas as médias sazonais (médias de 3 meses) para cada ano e, a partir destas, foram determinadas as climatologias. Para o verão, foram considerados os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, para o outono, março, abril e maio, para o inverno, junho, julho e agosto e para a primavera, setembro, outubro e novembro. (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2013 p.17).

Todos os cálculos foram realizados nos *softwares* estatísticos Matlab, GrADS e Fortran. Posteriormente estes dados foram compilados na forma de planilhas, que foram então importadas para o *software* de SIG ArcGis da ESRI, no qual elas foram geocodificadas (georreferenciadas) e armazenadas na forma de arquivos vetoriais de pontos (um de precipitações e outro de temperaturas do ar). Por último, cada um desses dois arquivos vetoriais teve os seus valores de médias (anuais e trimestrais) interpolados, utilizando-se do interpolador por Krigagem, a fim de serem representadas de forma contínua (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2013).

Conforme discutido no subitem 7.2.2, esses procedimentos consistem nos mais comumente utilizados para as análises de dados meteorológicos em ambiente SIG; ou seja, a importação e geocodificação de dados tabulares e a sua posterior interpolação são procedimentos típicos para a geração de informações meteorológicas em superfícies contínuas (SANTOS, 2009; SIQUEIRA et al., 2012), e apesar de existirem algumas contestações acerca do método mais eficiente de interpolação (REIS et al., 2005; DEUS et al., 2007), o método por Krigagem, utilizado nesse caso, ainda é o mais recomendado e amplamente utilizado (ASSAD; SANO, 2004; GOOSVAERTS, 2000; e MELLO et al., 2003).

Como resultado da execução desses procedimentos, foram então obtidos dez mapas diferentes, sendo: quatro correspondentes a temperatura média do ar em intervalos trimestrais, quatro correspondentes ao volume médio de precipitações em intervalos trimestrais, um correspondente a temperatura média anual e outro correspondente ao volume médio anual de precipitações. Estes dois últimos podem ser conferidos nos Mapas 7 e 8 respectivamente.

Apesar de terem sido gerados esses dados, não foram feitos os cálculos necessários para a classificação climática regional e/ou local em qualquer sistema de classificação, nem dos sistemas propostos por Koppen e nem dos sistemas propostos por Thornthwaite, evidenciados pela literatura como os mais indicados para esse tipo de abordagem, ou seja, a caracterização ou classificação climática regional e/ou local (ARMANI et al., 2007; KAPPAS, 2009; WOLLMANN et al., 2015).

Mapa 7 - Mapa de Temperatura Média Anual na Região da APA - Várzea do Rio Tietê

Localização no Estado de São Paulo

Localização na Região Metropolitana de São Paulo

Temperatura - Média Anual

15,01 - 15,50	19,51 - 20,00
15,51 - 16,00	20,01 - 20,50
16,01 - 16,50	20,51 - 21,00
16,51 - 17,00	21,01 - 21,50
17,01 - 17,50	21,51 - 22,00
17,51 - 18,00	22,01 - 22,50
18,01 - 18,50	22,51 - 23,00
18,51 - 19,00	23,01 - 23,50
19,01 - 19,50	23,51 - 24,00

Convenções Cartográficas

- Hidrografia
- Limites Municipais - RMSP
- Limite Buffer FF (Área de Estudo)
- Limite Vigente da APA VRT
- Sistema Viário Principal da RMSP
- Pontos de Registro de Temperatura

Papel A0; Escala 1:90.000; 04/08/2011

ESCALA: 0 2,5 5 km

FONTE: ANA, DAEE, IAG - 2011
REBOITA, Michele
ORGANIZAÇÃO: SILVA, Ana Beatriz Spiller

PROJEÇÃO: UTM - Fuso 23 Sul

DATUM: SAD 69

IMPRESSO EM:

Mapa 8 - Mapa de Precipitação Média Anual na Região da APA - Várzea do Rio Tietê

Localização no Estado de São Paulo

Localização na Região Metropolitana de São Paulo

Convenções Cartográficas

- Hidrografia
- Limites Municipais - RMSP
- Limite Buffer FF (Área de Estudo)
- Limite Vigente da APA VRT
- Curvas de Nível - Intermediárias
- Curvas de Nível - Mestras

Precipitação Média Anual (mm)

1.050 - 1100	1.350 - 1.400
1.100 - 1.150	1.400 - 1.450
1.150 - 1.200	1.450 - 1.500
1.200 - 1.250	1.500 - 1.550
1.250 - 1.300	1.550 - 1.600
1.300 - 1.350	1.600 - 1.650

Mapa de Precipitação Média Anual na Região da APA - VRT

Papel A0; Escala 1:90.000; 05/08/2011	PROJEÇÃO: UTM - Fuso 23 Sul DATUM: SAD 69
ESCALA: 	IMPRESSO EM: 12/08/2011
FONTE: ANA, DAEE, IAG - 2011 ORGANIZAÇÃO: Reboita, Michele	
<div><div> ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL <i>Várzea do Tietê</i></div><div> FUNDAÇÃO FLORESTAL</div><div> SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE</div><div> GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO</div></div>	

Segundo consta no documento final do Plano de Manejo da APA-VRT, a caracterização climática local da UC foi realizada somente com base nas observações dos mapas então produzidos, conforme pode ser constatado nos seguintes trechos:

[...] Para a identificação de possíveis diferenças climáticas entre os setores que compõem a APA Várzea do Tietê, mapas (provisórios) da distribuição espacial sazonal das variáveis atmosféricas foram construídos [...] Com base na distribuição espacial das variáveis atmosféricas, possíveis diferenças climáticas entre os setores que compõem a APA Várzea do Tietê puderam ser diagnosticadas como, provavelmente, temperatura média do ar mais elevada no setor em que o rio Tietê cruza a cidade de São Paulo, devido ao efeito de ilha de calor dada a urbanização (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2013 p.13-15).

Tais constatações evidenciam não apenas uma incompatibilidade técnica, relacionada ao grau de detalhamento oferecido pelos dados utilizados em relação à escala das análises (escala local), já observado anteriormente, como também uma inconsistência metodológica da própria caracterização climática local da UC, tendo em vista que ela foi realizada puramente com base na experiência do analista, sem a adoção de qualquer método sistemático na integração dos dados que fosse capaz de revelar objetivamente as características climáticas locais da UC, com base nas teorias previamente estabelecidas.

Desse modo, as inconsistências técnicas e metodológicas encontradas neste caso, somadas ao grau de generalização dos dados (mapas temáticos) produzidos e das suas análises, incluindo ainda a não produção de um mapa temático de síntese que evidencie as interações dos diferentes padrões climáticos da UC, com os fatores topográficos e de usos e coberturas da terra que nela ocorrem, acaba fazendo com que ele recorra nos mesmos problemas que foram observados por diversos autores que analisaram o papel da temática climatológica nas diferentes atividades de planejamento ambiental que vêm sendo praticadas no Brasil, ou seja: a recorrência de uma abordagem excessivamente generalista que oferece pouca contribuição efetiva ao diagnóstico e a identificação das melhores alternativas de gestão da Unidade de Conservação (KOURY, et. al., 2011; SANTOS, 2009; SERAFINI et al., 2008; WOLLMANN; SIMIONI, 2013).

8.4 - Mapa de Tipos e Características Climáticas do PETAR

No caso do Mapa Climático do PETAR, logo no início da apresentação do diagnóstico realizado pelo submódulo clima, presente no documento final de Plano de Manejo do parque, já se encontra explicitado o seguinte:

[...] Neste capítulo, a abordagem sobre o clima é regional. O enfoque se dá sobre a “fachada sul oriental do Brasil de Sudeste”, com características subtropicais e condições de umidade permanente; se comparada à região norte do estado, apresenta clima mais frio (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010b, p.117)

Entretanto, apesar de ter sido explicitado que a abordagem do submódulo se limita à escala regional, a análise mais detalhada do documento revela também uma abordagem na escala local:

[...] Para este trabalho foi realizado o mapeamento das unidades climáticas locais e meso. A delimitação dessas unidades foi feita a partir do cruzamento da estrutura espacial da temperatura e da evapotranspiração (Estrutura térmica/energética) e da estrutura espacial da chuva e do excedente hídrico (Estrutura hídrica). Nesse sentido, e para se chegar aos climas locais e mesoclimas, foram produzidos mapas médios mensais e anual de pluviosidade, temperatura, evapotranspiração, deficiência e excedente hídrico, e armazenamento de água no solo para um solo teórico com capacidade de armazenamento de 150 mm. Todos os mapas, à exceção de pluviosidade, foram feitos a partir de Equações Ortogonais Empíricas (EOF) que respeitam a variabilidade espacial do atributo climático mapeado. Para chuva, devido à inexistência de uma equação que defina sua variação espacial e dependência clara com os controles climáticos, foi utilizado como método de interpolação a krigeagem. Maiores detalhes sobre a metodologia de mapeamento a partir de EOFs utilizada podem ser encontrados em Armani et al. (2007) (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010b, p.132).

Segundo os autores, esses procedimentos, descritos no parágrafo anterior, foram todos realizados em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas, a partir da combinação das variações sazonais dos elementos climáticos necessários ao cálculo do Balanço hídrico, conforme a metodologia proposta do Thornthwaite e Matter (1955) (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010b).

Para tanto, foram utilizados dados de precipitação do DAEE para a normal climatológica de 1961 a 1990, sobre a qual foram aplicados modelos de regressão múltipla, considerando as altitudes, latitudes e longitudes (distância em relação ao oceano) da área

mapeada. A temperatura foi obtida a partir das equações de regressão múltipla em função da altitude e da latitude para o estado de São Paulo, para a aplicação adequada da metodologia proposta por Thornthwaite e Matter (1955) (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010b).

Como resultado da aplicação dos métodos e execução dos procedimentos supracitados, foi produzido um mapa de síntese, que classifica o clima da região onde está inserida a Unidade de Conservação em diferentes unidades de padrões climáticos locais próprios, conforme pode ser observado no Mapa 9.

MAPA 9 – CLASSES DE TIPOS CLIMÁTICOS NO PETAR

Fonte: Fundação Florestal (2010b)

Além deste mapa, foi também apresentada uma análise descritiva dos padrões climáticos locais. Nesta descrição, apesar de o mapa síntese ser representado em uma escala compatível com as abordagens local e regional, é possível identificar uma significativa aproximação com as análises características da abordagem topoclimática, conforme pode ser constatado no trecho a seguir:

[...] as variações topográficas da região possibilitam a diversificação de climas locais: a faixa costeira é a mais úmida, sobretudo aquela das vertentes diretamente expostas aos fluxos atmosféricos oceânicos; uma faixa menos úmida ocorre ao longo do curso do rio Ribeira de Iguape e a umidade volta a aumentar na escarpa da serra de Paranapiacaba.

Com relação aos ventos, a topografia do Vale do Ribeira de Iguape deve promover reduções na velocidade e alterar as direções predominantes.

Os dados coletados nas estações meteorológicas indicam que a estação quente e chuvosa dura habitualmente de outubro a abril, enquanto a estação menos chuvosa e mais fria ocorre de maio a setembro. Nos meses de outono-inverno são frequentes resfriamentos mais fortes relacionados às invasões polares podendo fazer as temperaturas nas áreas mais elevadas serem inferiores a 10°C.

Em função dos altos valores de precipitação pluviométrica, análises e projeções para os usos da área devem ser cuidadosamente feitos, principalmente na estação chuvosa, pois podem implicar em riscos à vida, tais como os movimentos de massa, as inundações e enchentes, sendo importante o controle e monitoramento da visitação nas áreas mais susceptíveis a estes processos (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010b, p.118).

Neste caso, portanto, diferentemente do exemplo anterior que só apresentou dados parciais, este apresentou um mapa de síntese que contém uma classificação dos padrões climáticos locais da região da Unidade de Conservação. Deve ser destacado, também, que ele foi produzido mediante o uso de dados, e o emprego de métodos, plenamente compatíveis com as análises realizadas, que inclusive se assemelham às abordagens de algumas das evidências encontradas na literatura, ou seja, que interpolam dados meteorológicos, combinam os dados obtidos na interpolação para calcular o balanço hídrico local, e integram os resultados do balanço hídrico com dados topográficos e de uso e cobertura da terra para a identificação de classes de padrões climáticos específicos (CAPUTA; PERSKI, 2005; BEDNORZ et al., 2001; KICIŃSKA et al., 2001; KOLENDOWICZ; BEDNORZ, 2010; PASZYŃSKI et al., 1999; SERAFINI, 2008; 2010; WOLLMANN; SIMIONI; LENSSE, 2015).

Contudo deve ser ponderado que ele foi gerado em escala e nível de detalhamento bem mais genéricos que os outros temas dos Planos de Manejos (que se encontram entre as escalas

de 1:25.000 e 1:50.000), assim como em relação ao nível de detalhamento requerido pelo próprio TdR (pelo menos até o nível de detalhamento da abordagem topoclimática).

Desse modo, diferentemente do caso anterior, da APA-VRT, não são encontradas inconsistências, nem nos métodos adotados e nem nas técnicas de geoprocessamento empregadas. Provavelmente, a sua principal deficiência se concentre no grau de detalhamento oferecido pelos dados que foram utilizados no processo de classificação dessas unidades, pois apesar de ter havido um bom aproveitamento das técnicas, não foi feita a aproximação até o nível de detalhamento requerido pelo TdR.

Deve ser levado em consideração os argumentos relacionados à falta de dados em escala compatível e em séries temporais mínimas necessárias, casos comumente encontrados nas regiões mais afastadas dos grandes centros urbanos e agroindustriais, conforme tem sido observado por diversos autores (DALY, 2006; DOBESCH et al., 2007; KOURY et al., 2011; SANTOS, 2009). Entretanto, Serefanni (2008), ao se deparar com o mesmo problema, apresenta alternativas interessantes para realizar maiores aproximações (análises mais detalhadas das relações existentes entre as variáveis climáticas, topográficas e de usos e coberturas da terra), principalmente através da instalação de estações meteorológicas móveis no interior da Unidade de Conservação. Mesmo não tendo gerado um mapa de síntese, nesse trabalho o autor demonstra que conseguiu realizar uma aproximação das análises e observações até as escalas topo e microclimáticas da Unidade de Conservação pesquisada (Parque Estadual de Intervales).

Além desse caso, a revisão da literatura também evidenciou alguns exemplos que foram capazes de produzir mapeamentos nas escalas topoclimáticas, através do uso combinado de dados obtidos por sensores remotos e estações meteorológicas fixas e móveis (BEDNORZ et al., 2001; CAPUTA; PERSKI, 2005; KICIŃSKA et al., 2001; KOLENDOWICZ; BEDNORZ, 2010; PASZYŃSKI et al., 1999), cujos resultados são mais compatíveis com a escala requerida pelo TdR que a encontrada nos outros temas analisados (geomorfologia, fitofisionomias e uso da terra).

Nessa perspectiva, portanto, mesmo observando a consistência técnico-metodológica do mapa climático produzido no Plano de Manejo do PETAR, o fato da sua escala de análise e de representação ser bem mais genérica que a dos demais, acaba comprometendo a sua contribuição para o diagnóstico da Unidade de Conservação, fazendo com que neste caso,

assim como observado na caracterização climática da APA-VRT, também se apresente como mais um exemplo que corrobora com as observações alertadas por Koury, et. al., (2011), Santos (2009), Serafini et al., (2008), Simioni, (2013) e Wollmann, Simioni e Lensse (2015) já citados anteriormente, refletindo a subvalorização da temática climatológica nos Planos de Manejo de Unidades de Conservação brasileiras.

Quanto à verificação da acurácia temática dos mapas climáticos, esta ainda é uma questão controversa na disciplina climatológica (DALY 2006; DOBESCH et al., 2007; GYALISTRAS, 2003). Devido ao fato de os dados meteorológicos consistirem em registros instantâneos de variáveis extremamente dinâmicas, ou seja, que são passíveis de sofrerem alterações bruscas em curtos períodos de tempo, como ocorre com as variações de temperatura e humidade relativa do ar, a possibilidade de aferição da qualidade desses dados é extremamente limitada (DOBESCH et al., 2007).

Como alternativas para contornar estas dificuldades, dois tipos de abordagens vêm sendo empregadas: o cálculo estatístico do grau de generalização intrínseco aos próprios interpoladores, o que pode ser efetuado antes mesmo da interpolação, e a avaliação cruzada dos dados obtidos pelos diferentes procedimentos de interpolação, que é realizada necessariamente após a interpolação (DALY 2006; DOBESCH et al., 2007; FELGUEIRAS, 2001; GYALISTRAS, 2003).

O cálculo do grau de generalização dos interpoladores, também entendido como estimativas de incertezas, pode ser efetuado antes mesmos da realização da interpolação (DALY, 2006; DOBESCH et al., 2007; FELGUEIRAS, 2001). Felgueiras (2001) apresenta alguns métodos para calcular o grau de generalização obtido na interpolação por Krigagem. Como já observado em diversos momentos desta pesquisa, a interpolação por Krigagem consiste no método mais utilizado para estimar dados meteorológicos a partir de pontos. Segundo o autor, o grau de generalização deste interpolador pode ser calculado em função da área de abrangência da interpolação (área mapeada) e da densidade e distribuição espacial (distanciamento) dos pontos de coleta dos dados. Dessa maneira, os resultados obtidos nesses cálculos podem ser então relatados e protocolados junto com os metadados dos dados finais obtidos (FELGUEIRAS, 2001).

Outra estatística de erro que se encontra muitas vezes relatadas em estudos do clima, é a verificação de erros por validação cruzada da interpolação (DALLY, 2006; GYALISTRAS,

2003). Esta é uma medida da diferença entre o valor absoluto medido por uma estação e o valor estimado para essa mesma estação, após a interpolação dos dados obtidos em diferentes estações. Dessa maneira, as estatísticas de erros são calculadas para cada uma das estações consideradas na interpolação (DALY, 2006). A desvantagem óbvia da estimativa de erro por validação cruzada é que nenhuma informação de erro é fornecida para os lugares onde não existem estações.

Para os mapeamentos de detalhe nas escalas topoclimáticas e microclimáticas que envolvem, não apenas os dados meteorológicos, mas também dados provenientes de outras fontes e com outras características, como os MDE, as variáveis morfométricas e as classes de cobertura e de uso da terra, a definição precisa dos métodos que podem ser adotados para a avaliação da acurácia dos mapeamentos torna-se ainda mais limitada (DOBESCH et al., 2007).

De fato, o que pôde ser observado na literatura é que não há um método satisfatório para estimar quantitativamente os erros em conjuntos de dados espaciais do clima, porque o campo que está sendo estimado é desconhecido entre os pontos de coletas de dados (DALY, 2006; DOBESCH et al., 2007; FELGUEIRAS, 2001; GYALISTRAS, 2003). As estimativas de erro com base em suposições do modelo são úteis em apenas um sentido relativo, e não podem ser comparados com os de outros modelos. Erros por validação cruzada de dados estão limitados a locais para os quais existem estações. Eles podem ser comparados entre os modelos, mas apenas quando todos os parâmetros de interpolação são idênticos. Talvez os melhores métodos para a avaliação de erros nestes casos seja a utilização de uma combinação de abordagens, que envolvem a avaliação da acurácia de cada um dos dados parciais de entrada. Entretanto, isso ainda consiste em uma questão não definida, mesmo no meio acadêmico e científico.

Em todo caso, esses mesmos autores salientam que deve sempre ser observada a compatibilidade da escala do levantamento a ser realizado, com a acurácia dos diferentes dados utilizados no processo de classificação, como os dados de sensores remotos (imagens termais), os MDE e os dados de cobertura e de uso da terra (DALY 2006; DOBESCH et al., 2007; GYALISTRAS, 2003). Por isso, estas foram as principais questões consideradas na avaliação da consistência técnica e metodológica dos mapeamentos climáticos realizados nos Planos de Manejo da APA-VRT e do PETAR.

8.5 - Mapa de Fitofisionomias da APA-VRT

O Mapa de fitofisionomias da APA-VRT, chamado na ocasião de “Mapa de Classificação dos Fragmentos de Vegetação Ocorrentes na Área e no Entorno da APA - Várzea do Rio Tietê”, foi gerado através da interpretação de ortofotos de 2007 auxiliada por trabalhos de campo e consulta a dados secundários (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2013).

Apesar da dominação diferente do mapa de classificação dos tipos de vegetação ocorrentes na APA em relação à denominação proposta pelo Termo de Referência (Mapa de Fitofisionomias), os autores asseguram que:

[...] As informações levantadas foram de natureza fitofisionômica e florística. Foram caracterizadas as fitofisionomias encontradas na área de estudo, bem como seu grau de conservação e fragmentação, de forma a identificar áreas de interesse para a conservação biológica (inclusive no que diz respeito ao estabelecimento de corredores ecológicos) e recuperação de áreas degradadas. A determinação de fitofisionomias foi apoiada sempre que possível por dados fitossociológicos, e foi confirmada por meio de checagem de campo [...] as fitofisionomias foram classificadas conforme Veloso et al. (1992) (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2013 p. 28)

Desse modo, observa-se que o mapa de classificação foi produzido em acordo com os preceitos estabelecidos pelo Termo de Referência, ou seja, foi adotado o sistema de classificação proposto por Veloso et al. (1992), que consiste no mesmo sistema proposto pelo IBGE (1992, 2013), e que leva em consideração a composição florística e fisionômica da vegetação, e as relações fitossociológicas que se estabelecem entre elas, conforme discutido e apresentado no subitem 7.2.3.

Segundo o documento final do Plano de Manejo da APA-VRT (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2013), as etapas de trabalho procedidas para tal classificação e mapeamento foram as seguintes:

- 1) Identificação da composição florística e fisionômica da vegetação através de observações de campo com o uso de receptores GNSS de navegação;
- 2) Geocodificação dos pontos registrados pelos receptores GNSS nas observações de campo em ambiente SIG;

- 3) Sobreposição dos pontos geocodificados com as ortofotos de 2007 para identificar as composições florísticas e fitofisionômicas nas ortofotos;
- 4) Vetorização manual (com o uso do mouse) das classes de fitofisionomias previamente identificadas nas ortofotos.

Como resultado da execução desses procedimentos, foram classificadas todas as fitofisionomias ocorrentes na APA-VRT que ganharam representação cartográfica na escala 1:25.000, conforme pode ser observado no Mapa 10.

As ortofotos de 2007 utilizadas no processo, foram as mesmas anteriormente descritas na avaliação do Mapa Geomorfológico da APA-VRT, ou seja, que possuem resolução espacial e acurácia posicional compatíveis até a escala 1:5.000, compreendendo os intervalos espectrais correspondentes ao espectro do visível (canais correspondentes aos comprimentos de onda do vermelho, verde e azul - RGB).

Os dados utilizados são plenamente compatíveis com a escala do mapeamento realizado (escala 1:25.000). No entanto, apesar de terem sido utilizados receptores GNSS nos registros de campo e de Sistemas de Informações Geográficas na classificação, este último foi utilizado somente para a geocodificação dos locais visitados no campo, sobreposição dos pontos geocodificados com as ortofotos e vetorização das classes identificadas nas ortofotos.

É certo que os dados utilizados (ortofotos em cores verdadeiras) tendem a limitar as opções técnicas que podem ser empregadas para a sua classificação, devido à menor quantidade de informações espectrais contidas nestas imagens (CRUZ et al., 2009; JENSEN, 2009; NOVO, 1988; MENESES e ALMEIDA, 2012; PONZONI e SHIMABUKURO, 2009).

Contudo, foram evidenciados na literatura alguns exemplos de sucesso de classificações digitais sobre esses tipos de dados (fotografias aéreas), principalmente mediante a aplicação do método GEOBIA (SHEEREN et al. 2012; WEŻYK et al., 2012). Além disso, conforme discutido nos subitens 7.2.3 e 7.2.4, o estado de São Paulo também conta com significativos acervos de imagens orbitais multiespectrais, em resoluções espaciais relativamente altas, como as imagens SPOT, compreendendo o período de 2007 a 2010, e Rapideye, de 2008 a 2011; que, conforme também já fora observado anteriormente, têm a vantagem de ser obtida de maneira sinóptica, o que têm grande utilidade para a identificação dos comportamentos fenológicos da vegetação (BAGAN et al., 2005; DOMACX; SUZEN, 2006; GAD; KUSKY, 2006; GEERKEN et al., 2005; SHRESTHA; ZINCK, 2011).

Mapa 10 - Classificação dos Fragmentos de Vegetação Ocorrentes na Área e no Entorno da APA - Várzea do Rio Tietê

Convenções Cartográficas

- Hidrografia
- Limites Municipais - RMSP
- Limite da APA Várzea do Rio Tietê
- Limite da Área de Estudo (Buffer de até 1km)
- Sistema Viário

Pontos de Registro de Espécies de Fauna

- Aves
- Mamíferos
- Peixes
- Répteis

Classificação dos Fragmentos de Vegetação

- Floresta Ombrófila Densa Montana Pioneira
- Floresta Ombrófila Densa Montana Secundária Inicial
- Floresta Ombrófila Densa Montana Primária
- Floresta de Varzea-Paludosa Pioneira
- Floresta de Varzea-Paludosa Primária
- Floresta de Varzea-Paludosa Secundária Inicial
- Reflorestamento

Articulação: Folha 2

Escala: 0 1.000 2.000 3.000 metros

PROJEÇÃO: UTM - Fuso 23 Sul

DATUM: SAD 69

IMPRESSO EM: Papel A0; Escala 1:25.000; 13/06/2011

FONTE: Ortofotos 2007 (Emplasa).

ORGANIZAÇÃO: Mantovani, Waldir
Nepomuceno, Pablo Luiz Maia
Pavão, Tatiana
Schiesari, Luis Cesar

Logos: APA Várzea do Tietê, Fundação Florestal, Secretaria do Meio Ambiente, Governo do Estado de São Paulo

Inclusive, em Wężyk et al. (2012), foi apresentado um exemplo de combinação destas imagens (RapidEye e ortofotos) para a classificação de classes de coberturas vegetais e usos da terra também na escala 1:25.000, no qual os autores puderam, dessa maneira, detectar mudanças nos padrões de uso da terra e coberturas vegetais, ocorridas nos últimos 50 anos na província de Malopolska, na região sul da Polônia.

Em Whiteside e Bartoloa (2012) foi encontrado outro exemplo de sucesso da aplicação da abordagem GEOBIA na classificação de comunidades vegetais em um ambiente muito similar ao da APA-VRT, ou seja: em planícies fluviais sujeitas a inundações periódicas.

Em Sheeren et al. (2012) por sua vez, demonstram a possibilidade de se utilizar somente das fotografias aéreas, inclusive no formato analógico, que obviamente tiveram de ser digitalizadas, georreferenciadas e ortorretificadas antes de serem submetidas à classificação digital. Conforme já citado na ocasião, os autores destacaram que uma das vantagens da aplicação do método GEOBIA em relação à interpretação visual, consiste na sua reprodutibilidade, pois uma vez validado os descritores atributos dos objetos de interesse de classificação eles podem ser reaplicados, o que facilita as análises multitemporais e podem, inclusive, serem usados para a geração de novos conhecimentos acerca das relações fitofisionômicas com os atributos físicos (geológicos, pefológicos, geomorfológicos e climáticos) e antrópicos (usos da terra) da paisagem.

Além dessas observações, também merece ser destacado que nesses três casos, os produtos então obtidos nas suas classificações foram devidamente aferidos e validados (SHEEREN et al. 2012; WĘŻYK et al., 2012; WHITESIDE; BARTOLOA, 2012).

Dessa maneira, mesmo considerando as possíveis limitações técnicas dos dados utilizados para a classificação fitofisionômica da vegetação ocorrente na APA-VRT, ou seja, as ortofotos digitais de 2007 na escala 1:5.000, a literatura evidenciou que esses dados também podem ser utilizados para a classificação digital, o que proporciona diversas vantagens em relação à interpretação visual, como a reprodutibilidade da classificação em planos de manejos futuros, o que proporciona uma considerável economia de tempo no processo, garante a coerência entre os métodos, e possibilita a identificação de tendências; principalmente através da detecção e modelagem das mudanças ocorridas em diferentes períodos (FERNANDES; NUNES; SILVA, 2012; KAWASHIMA et al., 2013; SHEEREN et al. 2012; WĘŻYK et al., 2012; WHITESIDE; BARTOLOA, 2012; WAGNER, 2008).

Além dessas observações relacionadas ao subaproveitamento das opções técnicas de geoprocessamento, a classificação da vegetação realizada no Plano de Manejo da APA-VRT também não foi submetida a qualquer processo de aferição e validação, recorrendo, portanto, no possível comprometimento das análises que foram dela derivadas.

8.6 - Mapa de Fitofisionomias do PETAR

O Mapa de Fitofisionomias do PETAR, chamado de mapa da “Vegetação Detalhada”, foi também gerado principalmente através da interpretação visual de fotografias aéreas e levantamentos de campo, e foi representado na escala 1:50.000.

Assim como no mapa da vegetação da APA-VRT, a classificação fitofisionômica da vegetação do PETAR, em acordo com as indicações do Termo de Referência (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010a), também se baseou no Sistema de Classificação do IBGE (1992), originalmente proposto por Veloso et al. (1991), como pode ser observado nos seguintes trechos:

[...] para a classificação da vegetação adotou-se o sistema fitogeográfico brasileiro (Veloso et al. 1991) [...] as áreas definidas como secundárias também foram classificadas segundo o sistema secundário de Veloso (1991) e encontradas em vários estágios sucessionais inferidos pelo porte, cobertura, forma e convergência de evidências (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2009b, p.1).

Foi explicitado, ainda, no relatório técnico da equipe o embasamento teórico do método de fotointerpretação empregado para a realização de tal classificação:

[...] O método básico está centrado nos procedimentos adotados por Lueder (1959) e Spurr (1960) que identificam e classificam a vegetação através da fotointerpretação de fotografias aéreas, utilizando-se os elementos da imagem fotográfica: cor, tonalidade, textura, forma, dimensão e convergência de evidências, correlacionadas aos parâmetros de campo (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2009b, p.1).

Nesse mesmo documento se encontram ainda explicitadas as bases de dados utilizadas:

[...] O mapeamento da vegetação do foi realizado através da fotointerpretação de fotografias aéreas verticais, em colorido natural, na escala aproximada de 1:35.000, realizado pela AEROCARTA-BASE-ENGEFOTO para a SMASP-PPMA-KFW, em 2000/2001 [...] Também foram consultadas as fotografias aéreas do ano de 1962 na escala aproximada de 1:25.000 do Vão aerofotogramétrico do Estado de São Paulo realizado pela Terrafoto S.A e as fotografias do vão aerofotogramétrico do Litoral Sul na escala aproximada de 1:35.000, realizado pela Terrafoto S.A. para a CESP (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2009b, p.1).

Como no relatório técnico da produção do Mapa Geomorfológico do PETAR também mencionam fotografias aéreas na escala 1:35.000 e 1:25.000, mas não mencionam quaisquer de suas outras especificações, nem suas origens (órgãos responsáveis pelos aerolevantamentos) e nem as suas datas de aquisição, conforme observado durante a avaliação das técnicas empregadas no seu levantamento, pode-se supor que estas sejam as mesmas que foram utilizadas por aquela equipe.

Esses dados, fotografias aéreas nas escalas 1:25.000 e 1:35.000, assim como no caso anterior (mapa de vegetação da APA-VRT), são plenamente compatíveis com a escala adotada para o mapeamento das classes fitofisionômicas do PEATAR (escala 1:50.000). Contudo, a interpretação foi realizada de maneira analógica, ou seja, mediante a produção de *overlays* derivados da restituição das fotografias, o que demanda necessariamente a digitalização, o georreferenciamento e a vetorização desses dados para poderem ser representados nos SIG, conforme também se encontra relatado pelos próprios autores no trecho:

[...] as informações levantadas foram digitalizadas através do Programa ArcView e transportadas para a base cartográfica digital de Taquaral e São José do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, na escala 1:50.000 (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2009b, p.1).

Desse modo, para garantir a manutenção da acurácia posicional no transporte de dados do meio analógico para o digital, deve, ao menos, ser relatado o erro quadrático médio obtido no processo (MENESES; ALMEIDA, 2012). Porém, assim como também foi observado na análise dos Mapas Geomorfológicos da APA-VRT e do PETAR, essas informações não foram relatadas. Além disso, a base utilizada para o georreferenciamento (cartas topográficas do IBGE 1:50.000) se encontra na mesma escala adotada para a representação do mapa final, o que tende a aumentar os riscos de se obter erros posicionais planimétricos durante o processo de georreferenciamento, superiores aos valores máximos permitidos (25 metros) para a representação cartográfica nessa escala (BRASIL, 1984). Diante desses fatos, o relatório dos erros planimétricos obtidos durante o processo torna-se ainda mais necessário.

De qualquer forma, a execução desses procedimentos levou a produção do Mapa de Fitofisionomias do PETAR, no qual se encontram representadas 12 classes fitofisionômicas diferentes e cinco outros tipos de coberturas naturais e antrópicas, como pode ser constatado no Mapa 11.

No que se refere exclusivamente às técnicas empregadas na classificação dos dados, as mesmas considerações feitas para o caso anterior (Mapa de Vegetação da APA-VRT) também valem para este caso, ou seja: apesar de terem sido constatadas na literatura diversas alternativas técnicas, que têm se mostrado mais eficientes para a classificação fitofisionômica da vegetação com o uso dos SIG, seja por classificação contextual (IM; JENSEN, 2010; SLUITER, 2005), Redes Neurais Artificiais (BERBEROGLU et al., 2000; FILIPPI; JENSEN, 2006), Árvores de Decisão (GAD e KUSKY, 2006; HANSEN et al., 2006; HILL et al., 2007; MAHESH; MATHER, 2003; SHRESTHA; ZINCK, 2011; XU et al., 2005;), ou GEOBIA (SHEEREN et al. 2012; WĘŻYK et al., 2012; WHITESIDE; BARTOLOA, 2012), foi empregada apenas a fotointerpretação analógica, que possui a desvantagem de ser essencialmente subjetiva e totalmente dependente da experiência do analista (PONZONI; SHIMABUKURO, 2009).

Além disso, também como observado nos outros casos analisados, os resultados da classificação não foram aferidos e validados. Tendo em vista que as fotografias aéreas mais recentes que foram utilizadas para tal, foram obtidas entre os anos 2000 e 2001, ou seja: praticamente 10 anos antes da conclusão do Plano de Manejo, concluído em 2010, a execução dos procedimentos de aferição e validação dos resultados obtidos se torna ainda mais necessária para garantir a confiabilidade temática desses dados.

8.7 - Mapa de Uso da Terra da APA-VRT

O Mapa de Uso da Terra da APA-VRT, chamado no Plano de Manejo de “Mapa de Uso do Solo na área da APA Várzea do Tietê e no seu entorno com base em Ortofotos 2007”, foi gerado de maneira muito semelhante ao Mapa de Fitofisionomias da APA-VRT, ou “Mapa de Classificação dos Fragmentos de Vegetação Ocorrentes na Área e no Entorno da APA - Várzea do Rio Tietê”, como foi chamado no Plano de Manejo. Ele foi gerado essencialmente através da interpretação de ortofotos de 2007, auxiliada por trabalhos de campo e consulta a dados secundários (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2013).

As etapas de trabalho procedidas para o mapeamento das classes de uso da terra ocorrentes na APA-VRT foram as seguintes:

- 1) Identificação dos tipos de uso ocorrentes na APA através de observações de campo com o uso de receptores GNSS de navegação;
- 2) Geocodificação dos pontos registrados pelos receptores GNSS nas observações de campo em ambiente SIG;
- 3) Sobreposição dos pontos geocodificados com as ortofotos de 2007 para identificar as correlações existentes entre as classes de usos observadas no campo e o comportamento espectral dessas classes nas ortofotos;
- 4) Vetorização manual (com o uso do mouse) das classes de usos previamente identificadas (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2013).

Como já mencionado anteriormente, tal sucessão de etapas evidencia que a geração do mapa de uso da terra utilizou-se dos mesmos dados (ortofotos de 2007) e dos mesmos métodos e técnicas que foram empregados na produção do Mapa de Fitofisionomias da APA-VRT, diferenciando-se um do outro somente em relação aos objetos de interesse de classificação.

A legenda adotada foi a mesma utilizada pela EMPLASA (2015), que já havia realizado o mapeamento dos tipos de usos da terra para toda a Região Metropolitana de São Paulo (região na qual está situada a própria APA-VRT) também na escala 1:25.000, mas com base em ortofotos do ano de 2002. A adoção de tal legenda foi justificada para permitir a

realização de análises multitemporais capazes de evidenciar as mudanças de usos ocorridas na APA durante este período, de 2002 a 2007 (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2013).

Como resultado da execução desses procedimentos, foram identificadas dez classes de uso da terra ocorrentes na APA, e outras oito classes de coberturas da terra, correspondendo estas últimas a tipos de vegetação, corpos d'água, e outras classes as quais não foram atribuídos os usos propriamente ditos a que elas estão submetidas. Tais resultados então ganharam representação cartográfica na escala 1:25.000, conforme pode ser conferido no Mapa 12.

Novamente pôde ser observado que, apesar de não haver qualquer incompatibilidade entre a acurácia posicional dos dados utilizados com a escala do mapeamento realizado (escala 1:25.000), as técnicas empregadas na sua classificação foram fundamentalmente manuais e baseadas na interpretação visual dessas imagens, pois o SIG, assim como no mapeamento da vegetação da APA, foi utilizado apenas para a geocodificação dos locais visitados no campo, a sobreposição dos pontos geocodificados com as ortofotos e a vetorização manual das classes identificadas.

Desse modo, as mesmas considerações feitas na avaliação do Mapa de Fitofisionomias da APA-VRT também cabem para este caso. Inclusive no que se refere à ausência de procedimentos de aferição e validação dos resultados, que também neste caso não foram realizados. Por isso, considerando tanto a semelhança dos métodos e técnicas empregados nestes dois casos, quanto a recorrência do subaproveitamento das técnicas de geoprocessamento e a negligência da aferição e validação dos mapeamentos realizados, a repetição das considerações já colocadas naquele momento é desnecessária.

Porém, no caso específico do Mapa de Uso da Terra da APA-VRT, algumas considerações positivas merecem ser destacadas. Uma delas consiste justamente na identificação das mudanças de usos e coberturas da terra, que foi realizada através da intersecção entre o mapa realizado durante o Plano de Manejo com o mapa pré-existente da EMPLASA (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2013). Dessa maneira, cada uma das classes identificadas nos dois mapeamentos derivaram um mapa específico, que representa as mudanças ocorridas para cada classe durante o período (2002 a 2007); ao mesmo tempo em que também foi gerado um mapa de síntese, representando as mudanças ocorridas entre todas as classes durante esse mesmo período, e que pode ser observado no Mapa 13.

Mapa 12 - Uso do Solo na área da APA Várzea do Tietê e no seu entorno com base em Ortofotos 2007

Predomínio de áreas antrópicas

Predomínio de áreas com vegetação

Loteamento desocupado, mineração e hortifrutigranjeiro

Áreas com movimento de terra/soilo exposto e outros

Sistema viário, hidrografia e pontos de contaminação

Convenções Cartográficas

- HIDROGRAFIA
 - LIMITES MUNICIPAIS
 - SISTEMA VIÁRIO
 - CURVAS DE NÍVEL - INTERMEDIÁRIAS
 - CURVAS DE NÍVEL - MESTRAS
 - DUTOS
 - CONTAMINAÇÃO
 - APA VÁRZEA DO RIO TIETÊ
 - LIMITE BUFFER FF
- Classes de Uso do Solo**
- ÁREA URBANIZADA
 - FAVELA
 - EQUIPAMENTO URBANO
 - INDÚSTRIA
 - CHÁCARA
 - REFLORESTAMENTO
 - MATA
 - CAPOEIRA
 - CAMPO
 - VEGETAÇÃO DE VÁRZEA
 - ATERRO SANITÁRIO
 - HORTIFRUTIGRANJEIRO
 - LOTEAMENTO DESOCUPADO
 - MOVIMENTO DE TERRA/SOLO EXPOSTO
 - MINERAÇÃO
 - OUTRO USO
 - RODOVIA
 - ESPELHO D'ÁGUA

Escala: 1:25.000

PROJEÇÃO:
UTM Fuso 23S

DATUM:
SAD 69

IMPRESSO EM: Papel A0 07/08/2011

FONTES:
EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO - EEMPLASA.
Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Região Metropolitana de São Paulo.
São Paulo: EEMPLASA, 3 CD-ROM - versão 2, 2005.
CBH-AT - Comitê da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê
<http://www.sigrh.sp.gov.br/>
Contaminação: CETESB 2006 - in: Plano da Bacia Hidrográfica do Alto Tietê, Fundação de Apoio à Universidade de São Paulo (FUSP), 2009.
Fotointerpretação: Ortofotos EEMPLASA 2007 [resolução espacial de 0,6 m]

ORGANIZAÇÃO:
1. Dutenkefer, Eduardo;

Mapa 13 - Mapa Comparativo do Uso do Solo na área da APA - VRT e no seu entorno, dos anos 2002 e 2007

Convenções Cartográficas

	Sistema Viário		APA Várzea do Rio Tietê
	Curvas de Nível		Limites Municipais - RMSP
	Hidrografia		Limite Buffer FF (Área de Estudos)
Uso do Solo - 2007			
	Área Urbanizada		Área Urbanizada
	Campo		Aterro Sanitário
	Capoeira		Campo
	Chácara		Capoeira
	Equipamento Urbano		Chácara
	Favela		Equipamento Urbano
	Hortifrutigranjeiro		Favela
	Indústria		Hortifrutigranjeiro
	Loteamento Desocupado		Indústria
	Mata		Loteamento Desocupado
	Mineração		Mata
	Movimento de Terra/Solo Exposto		Mineração
	Outro Uso		Movimento de Terra/Solo Exposto
	Reflorestamento		Outro Uso
	Rodovia		Reflorestamento
	Vegetação de Várzea		Rodovia
			Vegetação de Várzea

Articulação: Folha 2

Escala: 0 500 1.000 2.000 3.000 Meters

PROJEÇÃO:
UTM Fuso 23S

DATUM:
SAD 69

IMPRESSO EM:
Papel A0; Escala 1:25.000; Data 09/08/2011

FONTE:
1. Base Cartográfica EMLASA 1:25.000;
2. Ortofotos EMLASA - 2007;
3. Mapa de Uso e Ocupação do Solo da RMSP EMLASA - 2005.

ORGANIZAÇÃO:
1. DUTENKEFER, Eduardo;
2. SILVA, Ana Beatriz Spiller.

Além destes, o Mapa de Uso da Terra da APA-VRT também derivou um mapa dasimétrico (de densidade) da população residente na área da APA-VRT e no seu entorno, obtido a partir da reclassificação de dados censitários do IBGE (que contém a quantidade absoluta da população residente em cada setor censitário), em função dos limites das áreas classificadas como verdadeiramente submetidas ao uso residencial (proveniente do mapa de uso da terra), calculando dessa forma a densidade “real” da população ali residente (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2013).

Os autores relatam ainda que todos esses mapas derivados do uso da terra foram analisados conjuntamente para a identificação dos Vetores de Pressão, que consistiu em um dos principais dados utilizados para o diagnóstico da APA, realizado pelo Módulo do Meio Antrópico (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2013).

8.8 - Mapa de Uso da Terra do PETAR

De todos os casos avaliados, o Mapa de Uso da Terra do PETAR foi o único que se utilizou de imagens de sensores orbitais para a classificação coberturas e/ou usos da terra, e também foi o único caso que envolveu algumas etapas do processamento digital de imagens com o uso de SIG.

Os autores relatam que a primeira etapa de trabalho consistiu na importação de imagens brutas, ou seja, imagens originais que não foram previamente submetidas a qualquer processamento; e que se encontram disponíveis gratuitamente em acervos (bancos de dados) na *internet*:

[...] foram importados (*download*) do site do INPE todas as imagens do Satélite CEBERS-2B, pancromáticas (sensor HRC) com 2,7m de resolução e multiespectrais com 20m de resolução, disponíveis da região do PETAR e do seu entorno (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2009c, p. 3).

Segundo os autores, a importação desses dados foi necessária devido ao fato de que os dados fornecidos pela Fundação Florestal para a execução do mapeamento dos usos da terra no PETAR se encontram desatualizados (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2009c). Provavelmente, os autores estavam se referindo às fotografias aéreas obtidas na escala 1:35.000 entre os anos 2000 e 2001, já citadas anteriormente durante a avaliação do Mapa de Fitofisionomias do PETAR (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2009c).

Posteriormente à obtenção destas imagens, alguns pré-processamentos foram aplicados sobre elas, mediante o uso de SIG. Os autores relatam que foi realizada a correção radiométrica das imagens brutas importadas e sua posterior correção geométrica, a fim de adequá-las às bases cartográficas do Plano de Manejo, como pode ser constatado no seguinte trecho:

[...] foram feitas as correções Radiométricas e Geométricas das imagens de acordo com as bases cartográficas de referências disponibilizadas pela Fundação Florestal (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2009c, p. 4).

Além desses procedimentos clássicos do pré-processamento de imagens orbitais (GONZALES; WOODZ, 2000; MOREIRA, 2001), foi também realizada a equalização dos histogramas das imagens e a fusão entre as cenas multiespectrais (de menor resolução

espacial) com as pancromáticas (de maior resolução espacial), conforme se encontra explicitado no seguinte trecho:

[...] foi feita a equalização de histograma e balanço de cores para que as mesmas pudessem ter um aspecto visual mais apropriado para a interpretação de usos da terra, em seguida fez se necessária a fusão das imagens multiespectrais de 20m [...] com as cenas pancromáticas de resolução espacial de 2,7m; gerando por fim um mosaico de imagens multiespectrais com uma resolução espacial final de 2,7m (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2009c, p.4).

Dessa forma, a fusão entre as duas cenas possibilitou a incorporação das informações multiespectrais, provenientes das cenas que possuem 20 metros de resolução espacial (sensor CCD), às cenas pancromáticas de maior resolução espacial (provenientes do sensor HRC e que compreendem somente os intervalos do espectro do visível), fazendo com que as imagens fusionadas obtidas no final processo possuam informações espectrais representadas com a resolução espacial de 2,7 metros.

Segundo Fonseca et al. (2011), a fusão de imagens consiste em uma técnica bastante utilizada para ampliar a resolução espacial de imagens multiespectrais de média/baixa resolução espacial, melhorando o seu aspecto visual e tornando mais fácil a sua interpretação por parte do analista humano.

Nesse mesmo sentido, no subitem 7.2.3 foram apresentados e discutidos alguns exemplos encontrados na literatura que se utilizaram desse procedimento para facilitar a classificação de tipos de cobertura da terra associadas à vegetação, como nos trabalhos desenvolvidos por Behnia (2005), Colditz et al. (2010), Wu et al. (2005), e Zhu e Tateishi (2006).

Entretanto, Behnia (2006) pondera observando que, apesar do ganho (aumento) na resolução espacial da imagem multiespectral ser eficaz, a execução desse procedimento acaba distorcendo as assinaturas espectrais originais dessas imagens.

De qualquer modo, merece ser destacado que a execução de tal procedimento foi fundamental para tornar compatível o uso dessas imagens multiespectrais (provenientes do sensor CCD dos satélites CBERS e que originalmente possuem 20 metros de resolução espacial) com a escala adotada para o mapeamento de uso da terra do PETAR (escala 1:50.000), tendo em vista as observações feitas por Meneses e Almeida (2012), que, ao

estabelecem uma relação direta entre as resoluções espaciais das imagens orbitais com as escalas adequadas para a sua classificação temática, concluem que somente imagens com resolução espacial iguais ou superiores a 10 metros são adequadas para as classificações na escala 1:50.000.

Porém, apesar de ter sido contatada a execução desses procedimentos relacionados ao processamento digital de imagens em ambiente SIG, que inclusive foram úteis para obtenção de dados atualizados e compatíveis com a escala do mapeamento, a classificação final dos tipos de usos e coberturas da terra ocorrentes na área do parque e no seu entorno foi realizada exclusivamente através da interpretação visual dessas imagens (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2009c). Os autores justificam a adoção desse método em detrimento dos métodos de classificação digital disponíveis nos SIG ao exporem as seguintes considerações:

[...] A interpretação das imagens foi realizada analogicamente de maneira visual e direta na tela do computador, já que os detalhes aferidos pelas classes de uso da terra adotadas pelo Plano de Manejo do PETAR [...] teriam que seguir o modelo de categorias de uso da terra do Plano de Manejo do Parque Estadual de Intervales. Dessa maneira seria injustificada uma classificação semi-automática confiável da região já que o modelo apresenta 22 classes de uso, e a correlação de fatores como tonalidade, textura, sombra e intensidade só seria possível pela interpretação cognitiva humana e não de maneira sistemática e informatizada (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2009c, p. 4).

É possível observar em tais justificativas que os autores têm consciência das limitações oferecidas pelas técnicas de classificação digital de imagens tradicionais (classificadores supervisionados e não supervisionados) em relação às técnicas de fotointerpretação analógicas.

Porém, como foi observado no subitem 7.2.3, os novos métodos criados a partir dos classificadores digitais tradicionais, chamados naquele momento de “classificadores melhorados”, como as abordagens por RNA, Árvores de Decisão e contextuais, têm aprimorado consideravelmente a capacidade de distinção de classes de coberturas da terra com o uso dos SIG, gerando inclusive resultados mais acurados que os oferecidos pelos métodos tradicionais (AMARSAIKHAN; DOUGLAS, 2004; ASNER; HEIDEBRECH, 2012; BOHRER et al., 2009; CARVALHO JÚNIOR et al., 2008; FILIPPI; JENSEN, 2006; GAD; KUSKY, 2006; HANSEN et al., 2006; HILL et al., 2007; MAHESH; MATHER, 2003; SANTIAGO et al., 2014; SHRESTHA; ZINCK, 2011; SLUITER, 2005; THENKABAIL; LYON; HUETE, 2011; TOOKE et al., 2009; VARSHNEY; ARORA, 2014; XAVIER et al.,

2006; XU et al., 2005; ZHANG, 2004; ZHU; TATEISHI, 2006). Tal constatação revela, portanto, que as justificativas colocadas pelos autores consistem em uma “meia verdade”, já que se aplicam aos classificadores digitais tradicionais, mas, não necessariamente, aos novos métodos que têm sido criados a partir deles.

Além disso, as evidências encontradas na literatura discutida ao longo do subitem 7.2.4 demonstram que, entre esses novos métodos de classificação, a abordagem GEOBIA emergiu justamente como uma alternativa capaz de sistematizar a percepção cognitiva exclusiva do raciocínio humano, através da criação de regras sobre os atributos dos objetos de interesse de classificação, feitas durante a implantação da rede semântica hierárquica; o que tem proporcionado diversas vantagens em relação aos outros métodos de classificação, inclusive em relação à própria interpretação visual (BLASCHKE, 2010; 2014; DOXANI et. al., 2012; HAY; CASTILLA, 2008; KAWASHIMA et al., 2013; LALIBERTE et. al., 2012; MARPU, 2009; MYINT et. al., 2011; NAVULUR, 2006; NOVACK, 2009; PETROPOULOS et al., 2012; POWERS et. al., 2015; SOUSA et al., 2012; VIEIRA et. al., 2012; WĘŻYK et al., 2012; WIGGERS; RIBEIRO, 2015).

De qualquer forma, como resultado dos procedimentos realizados, os autores puderam classificar sete categorias de usos, doze categorias de coberturas associadas a formações vegetais e três categorias relacionadas a outros tipos de cobertura (solo exposto, afloramento rochoso e corpo d’água), conforme pode ser observado no Mapa 14.

Quanto à aferição da confiabilidade temática da classificação, os autores argumentam que ela não pôde ser realizada devido à disponibilidade de tempo para a realização do mapeamento ter sido insuficiente para tal. Segundo eles, todo o levantamento, ou seja: a importação, correção, fusão e classificação das imagens, teve de ser realizado em apenas dois meses, o que inviabilizou a aferição adequada dos resultados obtidos, considerando a elevada dimensão da área mapeada e o elevado nível de detalhamento requerido (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2009c).

Sendo assim, mesmo não tendo sido executado nenhum procedimento de aferição da qualidade temática da classificação, neste caso, pelo menos, os autores reconhecem a necessidade da sua execução e argumentam sobre as dificuldades encontradas para tal.

Também merece ser destacado que, de todos os casos avaliados, este talvez possa ser considerado como sendo aquele que apresentou o melhor aproveitamento das potencialidades técnicas do geoprocessamento, aproveitando inclusive, algumas das técnicas de processamento digital de imagens para a obtenção de dados atualizados, e de uma maneira tal que não comprometesse o uso desses dados na escala adotada para a execução do mapeamento.

Dessa forma, encerra-se aqui a avaliação dos mapeamentos de inventário dos Planos de Manejo tomados como estudo de caso. No próximo capítulo (capítulo 9) encontra-se uma breve síntese dos resultados obtidos por esta pesquisa, e posteriormente, no capítulo 10, são apresentadas as considerações finais.

9 - SÍNTESE DOS RESULTADOS E CONCLUSÃO

No item 7.1, a análise do Termo de Referência da Fundação Florestal (2010a) pôde evidenciar os mapeamentos temáticos de inventário que são demandados pelos Planos de Manejo de Unidades de Conservação do estado, bem como as suas respectivas características, que serviram para orientar a aplicação do método de revisão integrada da literatura, que foi realizada em quatro momentos diferentes, cada qual contemplando um tipo de mapeamento de inventário selecionado durante a análise do Termo de Referência e que resultaram nos subitens 7.2.1, 7.2.2, 7.2.3 e 7.2.4.

No subitem 7.2.1 referente ao “Mapa Geomorfológico” foi evidenciado que os principais dados utilizados consistem nas variáveis morfométricas (clinografia, orientação de vertentes, curvaturas em planta e em perfil, e morfometria de bacias e de redes de drenagem) que são obtidas através do processamento de Modelos Digitais de Elevação em ambiente de Sistemas de Informações Geográficas. Foi evidenciado ainda que diversos autores têm desenvolvido métodos específicos para a combinação dessas variáveis, de maneira que seja possível realizar a predição de classes pedológicas, geológicas e morfológicas do relevo nas escalas de detalhe (ANDERS et al., 2011; ASSELEN; SEIJMONSBERGEN, 2006; BLASI et al., 2007; CAMARGO, 2008; CAMARGO et al., 2009; CREVENNA et al., 2005; GEORGIEVSKIY, 2011; MACMILLAN; JONES, 2004; MACMILLAN; SHARY, 2008; MENTLIK; NOVOTNA, 2010; NEPOMUCENO; LUCHIARI, 2014; SIART et al., 2009; SOARES-NETO, 2015; STEINKE; SANO, 2011). E o novo paradigma de classificação temática com SIG, oferecido pela abordagem orientada a objetos (GEOBIA), tem sido utilizado com eficácia para a integração dessas informações (morfológicas, pedológicas e geológicas) em uma única legenda (ANDERS et al., 2011; BLASCHKE; DRAGUT, 2006; CAMARGO et al., 2009; LACERDA et al., 2009; BLASI et al., 2007; GUIDA et al., 2009;

GEORGIEVSKIY, 2011; SIART et al., 2009; SEIJMONSBERGEN et al., 2011), conforme também preceitua o Termo de Referência (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2010).

No subitem 7.2.2 referente ao “Mapa dos Tipos e Características Climáticas” foi evidenciado que a escala de análise e mapeamento exigida pelo TdR enquadra-se no táxon topoclimático (ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002; ATKINSON, 1987; FAIRBRIDGE, 1987; MENDONÇA; DANNI OLIVEIRA, 2007; MONTEIRO, 1976; RIBEIRO, 1992), no qual as mesmas combinações morfométricas do relevo evidenciadas no subitem 7.2.1 também se mostram úteis e necessárias para a definição das classes de topoclima, a partir do seu correlacionamento com dados de coberturas e usos da terra e com os dados climático-meteorológicos que são obtidos por sensores remotos e estações meteorológicas fixas e/ou móveis (BARROS, 2009; CAPUTA; PERSKI, 2005; KOLENDOWICZ; BEDNORZ, 2010; LIMA, 2009; 2014; SERAFINI, 2005; 2008; 2010; TARIFA, 2004; WOLLMANN; SIMIONI; LENSSE, 2015; WOLLMANN; SIMIONI, 2013). Mas que, apesar disso, esse tipo de análise vem sendo subvalorizada e subutilizada nas ações de planejamento do Brasil e do mundo (KOURY, et. al., 2011; SANTOS, 2009; SERAFINI et al., 2008; WOLLMANN; SIMIONI; LENSSE, 2015), assim como foram também verificados nos Planos de Manejo do PETAR e da APA-VRT por esta pesquisa, ao constatar que, no primeiro caso (PETAR), o mapa produzido encontra-se em escala muito mais genérica que os outros temas, dificultando a sua integração e utilidade efetiva para o diagnóstico da Unidade de Conservação. No caso da APA-VRT, foi constatado que esse problema se manifesta de maneira ainda mais grave, pois foram produzidos, também em escala excessivamente genérica, mapas que representam somente determinadas variáveis climatológicas de maneira segmentada, ou seja: nem chegou a ser produzido um mapa de síntese representativo das dinâmicas atmosféricas que atuam na Unidade de Conservação.

No subitem 7.2.3 da revisão relacionada ao “Mapeamento de Fitofisionomias”, foi evidenciado que os principais dados utilizados para sua realização provêm dos Sensores Remotos, e que os métodos tradicionais de classificação digital das imagens produzidas por estes sensores (classificadores supervisionados e não supervisionados) vêm sendo superados por novos métodos de classificação (RNA, Árvores de Decisão, classificadores contextuais etc.), devido a estes últimos apresentarem maior eficiência para a distinção de classes específicas de formações e comunidades vegetais que os anteriores (AMARSAIKHAN; DOUGLAS, 2004; ASNER; HEIDEBRECH, 2012; FILIPPI; JENSEN, 2006; GAD;

KUSKY, 2006; HANSEN et al., 2006; HILL et al., 2007; MAHESH; MATHER, 2003; SHRESTHA; ZINCK, 2011; SLUITER, 2005; THENKABAIL; LYON; HUETE, 2011; TOOKE et al., 2009; VARSHNEY; ARORA, 2014; XAVIER et al., 2006; XU et al., 2005; ZHANG, 2004; ZHU; TATEISHI 2006), e permitirem a incorporação de dados topográficos, geomorfológicos e climáticos no processo de classificação (BOHRER et al., 2009; CARVALHO JÚNIOR et al., 2008; SANTIAGO et al., 2014).

No subitem 7.2.4 relativo ao “Mapa de Uso da Terra” foi evidenciado que a escala de mapeamento exigida pelo TdR (maior ou igual a 1:50.000) demanda a utilização de imagens em média/alta resolução espacial (MENESES; ALMEIDA, 2012), e que, tanto para a classificação de coberturas da terra associadas a fitosomias quanto para a classificação dos usos, a abordagem por GEOBIA é a que vem obtendo os melhores resultados (mais acurados) (KAWASHIMA et al., 2013; PETROPOULOS et al., 2012; DOXANI et. al., 2012; VIEIRA et. al., 2012; LALIBERTE et. al., 2012; MARPU, 2009; MYINT a et. al., 2011; NAVULUR, 2006; NOVACK, 2009; POWERS et. al., 2015; RIBEIRO, 2015; RUMBAUGH et al., 1991; 2004; SOUSA et al., 2012; VIEIRA et. al., 2012), pois ela também permite a incorporação das técnicas de classificação discutidas e apresentadas no subitem 7.2.3, com a vantagem de ser procedida em multiníveis (ou multirresoluções) e permitir a incorporação de atributos morfológicos descritores dos objetos de interesse de classificação, simulando as associações cognitivas do raciocínio humano, só possíveis de serem realizadas pela fotointerpretação visual (BLASCHKE, 2010; 2014; HAY; CASTILLA, 2008), o que tem feito com que este tipo de abordagem transcendesse a própria classificação de tipos de coberturas e usos da terra, chegando a ser aplicada em diversas outras disciplinas, como nos mapeamentos geológicos (GEORGIEVSKIY, 2011; PONDRELLI et al., 2011) pedológicos (BLASCHKE; DRAGUT, 2006; BARBOSA et al., 2010; LACERDA et al., 2009) e geomorfológicos (BLASI et al., 2007; GUIDA et al., 2009; CAMARGO et al., 2009; SEIJMONSBERGEN et al., 2011), consolidando-se como um novo paradigma das classificações digitais em ambiente SIG (BIAN, 2007; BLASCHKE, 2010; 2014; HAY; CASTILLA, 2008).

Outra característica importante da abordagem GEOBIA, constatada por diversos autores que têm avaliado e se utilizado deste “novo paradigma” das classificações de dados geográficos em ambiente SIG, é que, uma vez validada a rede semântica hierárquica que melhor descreve os atributos dos objetos de classificação, ela pode ser reaplicada sobre dados obtidos em diferentes momentos (BLASCHKE, 2010; 2014; SHEEREN et al., 2012), o que

têm facilitado a realização de análises multitemporais (ALVES et al., 2014; BAJRACHARYA et al., 2010; CHANT; KELLY, 2009; CHEN et al., 2012; DENG et al., 2009; DOXANI et al., 2012; FEITOSA et al., 2011; LEITE et al., 2011; SEABRA; CRUZ, 2013, SHEEREN et al., 2012; WEŻYK et al., 2012), assim como sobre regiões geograficamente semelhantes (ARKO; STEIN, 2005; BAATZ; SCHÄPE, 2000; BLASI et al., 2007; BLASCHKE; DRAGUT, 2006; GEORGIEVSKIY, 2011; GUIDA et al., 2009; SCHNEEVOIGT et al., 2008; SEIJMONSBERGEN et al., 2011; SIART et al., 2009), ou seja, regiões em que os atributos dos objetos (ou classes) de interesse de classificação e mapeamento (como os geomorfológicos, pedológicos, geológicos, climáticos, de coberturas e usos da terra) podem ser descritos da mesma maneira.

Tais características têm proporcionado significativas reduções nos custos financeiros e temporais nesses tipos de análises, e também têm potencializado o estabelecimento de novos modelos capazes de identificar as associações que se estabelecem entre esses diferentes atributos da paisagem (geomorfológicos, pedológicos, geológicos, climáticos, de coberturas e usos da terra), podendo ser aplicados, inclusive, na projeção de cenários futuros (BLASCHKE, 2010; 2014; LANG; BLASCHKE, 2009; SHEEREN et al., 2012).

Por fim, no subitem 7.2.5 foi evidenciado que todos esses mapeamentos têm de ser aferidos e validados para que possam ser evitados possíveis equívocos nas avaliações socioambientais e nas tomadas de decisão que são realizadas através deles (ANTUNES, 1996; BRITO, 2008; LOBÃO et al., 2005; FELGUEIRAS, 2001). Para tanto, apesar de ser constatado um esforço recente na construção de métodos mais ajustados a novos tipos de abordagem de classificação digital em ambiente SIG (CLINTON et al., 2010; LANG et al., 2009; LANG; TIEDE, 2008; MÖLLER et al., 2007; WEIDNER, 2008; SCHÖPFER et al., 2008; WHITESIDE; MAIER; BOGGS, 2012; WITTEN, 2011; ZHAN et al., 2005), os métodos mais indicados para tal ainda consistem nos diferentes coeficientes que expressam a qualidade e a confiabilidade desses levantamentos, com base na construção de matrizes de contingência que são provenientes da amostragem de dados fidedignos (verdades) (ANTUNES; LINGNAU, 1997; BRITO, 2008; CLINTON et al., 2010; CONGALTON, 1991; CONGALTON; GREEN, 2009; FELGUEIRAS, 2001; FOODY, 2002; LANG et al., 2009; LANG; TIEDE, 2008; LILLESAND et al. 2004; LOBÃO et al., 2005; MÖLLER et al., 2007; SCHÖPFER et al., 2008; WEIDNER, 2008; WHITESIDE; MAIER; BOGGS, 2012; WITTEN, 2011; ZHAN et al., 2005).

Com base nessas evidências, foram avaliadas como as técnicas de geoprocessamento vêm sendo empregadas nos mapeamentos de inventário dos Planos de Manejo recentemente produzidos para Unidades de Conservação paulistas, ou seja: se os dados utilizados eram adequados às análises realizadas, se as técnicas mais eficientes de tratamento e classificação destes dados foram aproveitadas e se os produtos obtidos foram devidamente aferidos e validados. Tomando como estudo de caso os Planos de Manejo do PETAR e da APA-VRT.

A realização de tal avaliação demonstrou que, de maneira geral, as técnicas de geoprocessamento vêm sendo subaproveitadas, ou seja: apesar da vasta disponibilidade de opções técnicas de geoprocessamento apresentadas e discutidas no capítulo anterior, os mapeamentos de inventário produzidos nesses documentos utilizaram-se de técnicas predominantemente manuais, baseadas principalmente na interpretação visual de cartas topográficas, fotografias aéreas e imagens de satélites.

Entretanto devem ser ponderadas algumas das dificuldades enfrentadas pelas equipes técnicas responsáveis pela execução desses levantamentos (mapeamentos de inventário), como a escassa disponibilidade de bases de dados atualizadas, pois nos períodos de realização desses planos ainda não se encontravam disponíveis os novos dados levantados pela EMPLASA (2015) e nem as imagens orbitais SPOT (SMA, 2014) e Rapideye (MMA, 2013), o que fez com que os principais dados utilizados para o Plano de Manejo do PETAR (iniciado em 2008 e concluído em 2010) consistissem nas cartas topográficas do IBGE da década de 1980 e fotografias aéreas de 2000/2001, ao mesmo tempo em que no Plano de Manejo da APA-VRT (iniciado em 2010 e concluído em 2013) utilizou-se das cartas topográficas da EMPLASA de 1981 e das ortofotos de 2007.

Além da escassez de bases de dados atualizadas na época, também foi observado que, no relatório técnico da equipe que realizou o mapeamento de uso da terra do PETAR (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2009c), os autores salientam para o curto prazo de tempo disponível para a realização de todo o levantamento, ou seja: para a coleta de dados, adequação, tratamento e interpretação desses dados. Segundo os autores, o prazo disponibilizado geralmente é de três a quatro meses, o que tem dificultado, não apenas a realização dos próprios levantamentos, como também a execução dos procedimentos de aferição necessários à validação desses dados (FUNDAÇÃO FLORESTAL, 2009c). No entanto, essas ponderações colocadas neste parágrafo e no parágrafo anterior, não justificam

que todo o potencial de uso dos dados existentes, que são oferecidos pelas técnicas de geoprocessamento atualmente disponíveis, não seja aproveitado nos levantamentos realizados.

Outra questão que merece ser destacada é a de que, de maneira geral, apesar da constatação do subaproveitamento das técnicas, os métodos adotados são coerentes com os preceitos do TdR e com os fundamentos teóricos e metodológicos das suas respectivas disciplinas evidenciados durante as revisões da literatura. Além disso, os integrantes das equipes técnicas responsáveis por esses levantamentos são geralmente constituídos por professores, pesquisadores e profissionais gabaritados, provenientes de Universidades e Institutos de pesquisa, e que possuem qualificação reconhecida no nível nacional e até internacional, conforme relatado nos subitens 4.1.6.1 e 4.1.6.2. Porém, isso não tira a necessidade de validação dos mapeamentos produzidos, pois como visto no subitem 7.2.5, os erros podem provir de diversas fontes, não apenas dos métodos e técnicas empregados, mas também dos próprios dados utilizados nas interpretações e classificações, que por sinal se apresentaram como sendo predominantemente desatualizados.

É importante ponderar, portanto, que o não aproveitamento das opções técnicas mais eficientes não quer dizer necessariamente que os resultados obtidos nos levantamentos realizados sejam de baixa qualidade. Entretanto, conforme destaca Baker (1992), abrir mão da sua utilização mesmo quando existem dados suficientemente adequados para tal, por mais desatualizados que eles sejam, como foi constatado nos dois Planos de Manejo analisados, significa abrir mão das vantagens oferecidas pelos próprios avanços técnicos e científicos, que têm a finalidade única de ampliar a eficiência da realização desses levantamentos e a fidedignidade dos seus produtos, não o contrário.

Contudo, também merece ser destacada a constatação de algumas exceções, correspondentes a casos em que foi identificado um relativo aproveitamento (ou um aproveitamento parcial) das opções técnicas evidenciadas como mais eficientes, como no Mapa de Tipos e Características Climáticas do PETAR; no Mapa de Uso da Terra da APA-VRT que, mesmo tendo sido gerado por interpretação visual, derivou análises multitemporais, dasimétricas e de vetores de pressão antrópicas em ambiente SIG; assim como no Mapa de Uso da Terra do PETAR, que se utilizou de técnicas de processamento digital de imagens para a obtenção de dados atualizados e compatíveis com a escala de mapeamento. Foi identificado, ainda, um caso específico que demonstrou a ausência de possibilidade de

aplicação das técnicas evidenciadas pela literatura, como no Mapa Morfológico da APA-VRT, por este consistir em um levantamento histórico, cujos únicos dados passíveis de serem utilizados para tal levantamento consistirem, justamente, em fotografias aéreas analógicas de 1962, já que não existem dados topográficos e/ou altimétricos disponíveis para o período restituído.

Além dessas questões, foi constatado ainda que nenhum desses mapeamentos de inventário analisados foi submetido a qualquer processo de aferição e validação que pudessem garantir a confiabilidade temática dos seus levantamentos, o que é agravado pelo fato de terem sido constados o uso de dados significativamente desatualizados, o que aumenta ainda mais a necessidade de aferição destes levantamentos, pois esta poderia ser utilizada, inclusive, para o refinamento e atualização dessas informações a partir da realização de novas verificações de campo, por exemplo. Nessa perspectiva, portanto, a não execução desses procedimentos tendem a agravar ainda mais a garantia da confiabilidade dos resultados obtidos nesses levantamentos.

À vista de todos esses fatos, ou seja, de acordo com as constatações relacionadas ao predomínio do subaproveitamento das opções técnicas de geoprocessamento mais eficientes e da não validação dos resultados obtidos nos mapeamentos de inventário que vêm sendo realizados nos Planos de Manejo de Unidades de Conservação do estado de São Paulo, pode-se concluir que, ao menos nos dois casos avaliados por essa pesquisa (Planos de Manejo do PETAR e da APA-VRT), os mesmos problemas que foram apontados por Blaschke (1997), Lang e Blaschke (2009), Santos (2009) e Strobl (1992), relacionados à subutilização das técnicas de geoprocessamento nas diversas atividades de planejamento ambiental no Brasil e em outros países do mundo, e que foram apresentados e discutidos durante a introdução (capítulo 1) e a hipótese (capítulo 3), também recorrem nesses casos avaliados; como também recorrem os problemas relacionados a não execução dos procedimentos de aferição e validação dos resultados obtidos, conforme haviam sido constatados anteriormente por Antunes e Lingnau (1997) e Felgueiras (2001). Desse modo, tais constatações confirmam as hipóteses que nortearam todo o desenvolvimento desta pesquisa, descritas no capítulo 3.

Dessa maneira, a presente pesquisa pôde evidenciar também que a explanação colocada por Lang e Blaschke (2009), de que esses problemas possivelmente decorram da existência de um descompasso entre os métodos e técnicas que são empregados na academia e

os que são utilizados pelos organismos de planejamento durante a elaboração de planos de gestão territorial, conforme citado no capítulo 1, foi de fato confirmada por esta pesquisa uma vez que a revisão integrada da literatura evidenciou as possibilidades técnicas e metodológicas mais adequadas e eficientes para a produção desses mapas temáticos de inventário; contudo não foram constatados nos casos avaliados o uso dessas opções, corroborando, portanto, as explicações colocadas por esses autores.

Através de uma breve reflexão sobre essa questão é possível, porém, compreender que esse descompasso seja relativamente natural de ocorrer, pois a academia científica é o ambiente propício para a realização de experiências, onde os desacertos das possibilidades técnicas e metodológicas para a realização desses levantamentos são tão valorizados quantos os acertos, decorrendo um período de tempo natural de experimentação e avaliação, até que os métodos, técnicas e procedimentos que se apresentam como sendo mais eficientes e adequados sejam aceitos e consolidados. Além do mais, as pesquisas acadêmicas geralmente comportam um período de tempo mais longo para a realização das análises (geralmente de dois a quatro anos ou mais) do que os prazos exigidos pelos Planos de Manejo para a realização desses levantamentos (geralmente de três a quatro meses), o que tende a comprometer a possibilidade de uma maior reflexão relacionada à escolha dos métodos e técnicas mais eficientes e adequados durante a elaboração desses Planos, tão característico das atividades acadêmicas.

Ainda assim, as opções técnicas revisadas não se apresentam como tão recentes a ponto de serem praticamente desconsideradas nos casos avaliados, sendo que, inclusive, a abordagem mais moderna para a classificação temática desses casos, ou seja, as classificações por GEOBIA, já se encontra consolidada como um novo paradigma de classificações temáticas com o uso dos SIG (BIAN, 2007; BLASCHKE, 2010; 2014; HAY; CASTILLA, 2008). Da mesma maneira que as explicações colocadas no parágrafo anterior, também não se justifica que os procedimentos de aferição e validação dos resultados obtidos por esses levantamentos não sejam executados.

10 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mesmo diante da confirmação da hipótese de que os problemas apontados por Blaschke (1997), Lang e Blaschke (2009), Santos (2009) e Strobl (1992), assim como os previamente constatados por Antunes (1997) e Felgueiras (2001), recorrem nos casos analisados por essa pesquisa, é importante salientar, novamente, que tais conclusões se restringem somente ao modo como as técnicas de geoprocessamento vêm sendo aplicadas nos levantamentos de dados de inventário e na aferição dos seus produtos (mapas temáticos) não podendo ser entendidas como qualquer juízo de valor relacionado à qualidade dos levantamentos em si, e nem dos diagnósticos que foram deles derivados e, menos ainda, das decisões que foram tomadas a partir desses diagnósticos e que culminaram nos zoneamentos e planos de gestão destas Unidades de Conservação, pois isto não está compreendido pelos objetivos pretendidos por esta pesquisa.

Ainda de acordo com as considerações colocadas no parágrafo anterior, é evidente que tanto o subaproveitamento técnico quanto a não aferição e validação dos mapas produzidos, não querem dizer que esses dados sejam necessariamente inválidos, e nem de menor qualidade que os exemplos encontrados na literatura e que foram utilizados como base de comparação. Eles podem até possuir níveis de qualidade temática de classificação superiores aos desses exemplos. No entanto, isso não os exime da necessidade de realização das aferições e validações, para que não sejam corridos os riscos de serem realizados diagnósticos e tomadas de decisões equivocadas em função de uma potencial baixa qualidade dos mesmos. Pois nenhum tipo de levantamento, por mais responsável e metodologicamente consistente que seja, está imune a erros.

Com relação às questões expostas no capítulo 1 sobre a aplicação dos Planos de Manejo de maneira geral, ou seja: de que eles deixam a desejar tanto na eficiência dos procedimentos de diagnósticos capazes de refletir os problemas sociais e ambientais reais das

UC, quanto nas proposições derivadas destes diagnósticos, que assumem a forma de zoneamentos e programas de gestão (DOUROJEANNI; 2002; 2005a; 2005b; DOUROJEANNI; PÁDUA, 2001; FARIA, 2004; HOROWITZ, 2000; LEE; MIDDLETON, 2003; MILANO, 1997), e que as informações sobre as UC e seus atributos, assim como sobre as suas dinâmicas ecológicas, geralmente se baseiam em medidas indiretas que frequentemente são de difíceis aplicações práticas (DOUROJEANNI; PÁDUA, 2001; DOUROJEANNI; 2002; 2005a; 2005b; FIDALGO, 2003; ZELLER 2008). Essas questões não foram investigadas nesta pesquisa e, portanto, não são passíveis de serem aqui discutidas se elas estão recorrendo ou não, nos Planos de Manejo cujos mapeamentos de inventário foram objetos de avaliação. Pode-se adiantar, contudo, que tais problemas não necessariamente decorram das questões técnicas e metodológicas abordadas por esta pesquisa, especificamente relacionados aos mapeamentos de inventário das Unidades de Conservação, pois eles podem estar associados a inúmeros outros fatores que, conforme já mencionado, não cabem ser aqui colocados. Mas o simples fato de poderem ser evitadas as deficiências técnicas identificadas por essa pesquisa na elaboração de Planos de Manejo futuros, já poderia ser, no mínimo, um bom começo para que sejam evitados os problemas apontados por esses autores.

Tal explanação se sustenta no raciocínio de que a qualidade das propostas de um Plano de Manejo depende necessariamente da qualidade das suas análises, e estas, por sua vez, dependem da qualidade dos dados geográficos utilizados. Portanto, se os levantamentos de dados geográficos consistem nas bases indispensáveis para as tomadas de decisão nas Unidades de Conservação, a obtenção de dados geográficos de qualidade consiste necessariamente na base para as tomadas de decisões mais acertadas.

Dessa maneira, a identificação das opções técnicas de geoprocessamento mais eficientes e adequadas aos mapeamentos temáticos de inventário que são requeridos pelos Planos de Manejo de Unidades de Conservação do estado de São Paulo, com base nas indicações técnicas encontradas na literatura pertinente sobre esses temas (evidenciadas nos subitens 7.2.1, 7.2.2, 7.2.3, 7.2.4 e 7.2.5), pode contribuir, se não para a solução, ao menos para a mitigação de alguns dos problemas apontados por Blaschke (1997), Lang e Blaschke (2009), Santos (2009), Strobl (1992), Antunes e Lingnau (1997) e Felgueiras (2001); que também foram constatados nos casos aqui avaliados.

11 - REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. **Geomorfologia do Sítio Urbano de São Paulo**. Boletim do Instituto de Geografia (USP). Tese de Doutorado (FFLCH-USP), 1957.

_____. **The paleoclimate and paleoecology of Brazilian Amazonia**, In: Biological Diversification in the Tropics (ed. Prance, G.T.). Columbia Univ. Press, New York, 1982, p. 41-59.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133**: Execução de levantamento topográfico. Brasília, 1994. Disponível em <http://www.unicep.edu.br/biblioteca/docs/engenhariacivil/NBR%2013133%20%201994%20%20Execu%C3%A7%C3%A3o%20de%20Levantamento%20Topogr%C3%A1fico.pdf> - Acesso em: 07 Jul, 2015.

ADAMS, L. J.; AXELRAD, P.; BOSSLER, J. D. **The Global Positioning System: A Shared National Asset** NATIONAL ACADEMY PRESS, Washington, D.C.1995.

AL-ROUSAN, N.; PETRIE, G. **System calibration, geometric accuracy testing and validation of DEM and orthoimage data extracted from SPOT stereopairs using commercially available image processing systems**. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. v. 32, n. 4, p. 8-15, 1988.

ALLEN, T. F. H. Community Ecology. In: DODSON, S. I. et al. (Contrib.). **Ecology**. Oxford University Press Inc. Oxford, p. 315-383, 1998.

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DO ESTADO DE SÃO PAULO (ALESP). **CPI das Indenizações Ambientais**: Relatório Final, São Paulo, 2001. Disponível em <http://www.al.sp.gov.br/repositorio/arquivoWeb/com/cpi_indenizacoes_ambientais_relatorio_final.pdf> Acesso em: 07 Jul. 2014.

AGAM, N.; KUSTAS, W. P.; ANDERSON, M. C.; LI, F.; NEALE, C. M. U. **A vegetation index based technique for spatial sharpening of thermal imagery**. Remote Sens. Environ., p. 545-558, 2007.

AMARSAIKHAN, D.; DOUGLAS, T. **Data fusion and multisource image classification**. Int J Remote Sens, v. 25, p. 3529-3539, 2004.

ANDERS, N. S; SEIJMONSBERGEN, A. C.; BOUTEN, W. **Segmentation optimization and stratied objectbased analysis for semi-automated geomorphological mapping**. Remote Sensing of Environment, v. 115, p. 2976-2985, 2011.

ANDERSON, J. R. et al. **Sistema de classificação do uso da terra e do revestimento do solo para utilização com dados de sensores remotos**. Tradução de Harold Strang. Rio de Janeiro: IBGE, SUPREN, 1979.

ANDERSON, M. C. et al. **A multi-scale remote sensing model for disaggregating regional fluxes to micrometeorological scales**. In: Jornal Hydrometeorological. vol. 5, p. 343-363, 2004.

ANDRADE, D. F. P. N. **Fotogrametria Básica**. Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 1997.

ANTUNES, A. F. B.; LINGNAU, C. **Uso dos Índices de Acurácia para Avaliação de Mapas temáticos obtidos por meios de classificação digital**. In: **III CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIO DE GEOPROCESSAMENTO**, Curitiba, 1997.

ARAUJO, M. A. R. **Unidades de Conservação no Brasil: da república à gestão de classe mundial**. Belo Horizonte: SEGRAC, 2007.

ARAÚJO FILHO, M. C.; MENESES, P. R.; SANO, E. E. **Sistema de classificação de uso e cobertura da Terra na análise de imagens de satélite**. Revista Brasileira de Cartografia, n. 59/02, p. 171-179, 2007.

ARMANI, G. **Interações entre a atmosfera e a superfície terrestre: variações da temperatura e umidade na bacia B do Núcleo Cunha (IF) – SP**. Dissertação (mestrado). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

ARMANI, G.; TAVARES, R.; SILVA, M. G. Mapeamento digital do balanço hídrico climatológico do Município de Ubatuba - SP. Natal, RN. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 12, 2007, Natal. **Anais...** Natal: Departamento de Geografia/CCHLA/UFRN, p. 747-764, 2007.

ARONOFF, S. **Geographic information systems: a management perspective**. Ottawa: DL Publications, 1989.

ASNER, G. P.; HEIDEBRECHT, K. B. **Spectral unmixing of vegetation, soil and dry carbon cover in arid regions**: comparing multispectral and hyperspectral observations. *Int J Remote Sens*, v. 26, p. 3939-3958, 2012.

ASSAD e SANO. **Sistemas de Informações Geográficas: aplicações na agricultura**. 4ed. Brasília, Embrapa. 2004.

ASSELEN, S. V.; SEIJMONSBERGEN, A. C. **Expert-driven semi-automated geomorphological mapping using a laser DTM**. *Geomorphology*, v. 78, n. 3-4, p. 309-320, 2006.

ATKINSON, B. W. Atmospheric process. Global and local. In: **Horizons in physical Geography**. Edited by CLARK, H. J. London: Macmillan, 1987.

BAATZ, M.; SCHÄPE A. Multiresolution segmentation an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. In: STROBL, J.; BLASCHKE, T.; GRIESEBNER, G. (Ed.). **Angewandte Geographische Informationsverarbeitung**. Wichmann-Verlag; Heidelberg: 2000. p. 12-23.

BAGAN, H. et al. Land cover classification from MODIS EVI times-series data using SOM neural network. **Int J Remote Sens.**, v. 26, p. 4999-5012, 2005.

BAGNOULS, F.; GAUSSEN, H. Les climats biologiques et leur classification. **Annales de Géographie**, Paris: A. Colin: Société de Géographie, v. 66, n. 355, p. 193-220, 1957.

BAJRACHARYA, B.; UDDIN, K.; CHETTRI, N.; SHRESTHA, B.; SIDDIQUI, S. **Understanding land cover change using a harmonized classification system in the Himalaya, Mountain**. *Research and Development*, v. 30, n. 2, p. 143-156, 2010.

BANNARI, A.; MORIN, D.; BONN, F. A review of vegetation indices. **Remote Sensing Reviews**, v. 13, p. 95-120, 1995.

BARROS, M. P. **Estudo microclimático e topofílico no Parque Mãe Bonifácia da cidade de Cuiabá – MT**. Dissertação de Mestrado – Programa de Pós-graduação em Física Ambiental, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2009.

BARROS, R. S.; CRUZ, C. B. M.; REIS, R. B.; COSTA Jr., N. A. **Avaliação do modelo digital de elevação do SRTM na ortorretificação de imagens Landsat 7 – Área de aplicação: Angra dos Reis – RJ**. In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 3997-4004.

BAKER, W. The role programs for multiscale analysis of landscape structure using the GRASS geographical information system. **Landscape Ecology**, v. 7, n. 4, p. 291-302, 1992.

BARBOSA, I. O.; LACERDA, M. P. C.; BILICH, M. R. Soils distribution model based on relation between geology, geomorphology and pedology, at the High Plateau of Distrito Federal, Brazil. **R. Asoc. Geol. Argentina**, v. 66, p. 569- 575, 2010.

BECKER, B.; EGLER, C. **Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico econômico pelos estados da Amazônia**. Rio de Janeiro: MMA, 1996.

BEHNIA P. Comparison between four methods for data fusion of ETM+ multispectral and pan images. **Geo-Spatial Information Science**, v. 8, n. 2, p. 98-103, 2005.

BEHRENS, T.; SCHOLTEN, T. A comparison of data-mining techniques in predictive soil mapping. In: LAGACHERIE, P; McBRATNEY, A. B.; VOLTZ, M. (Ed.). Digital Soil Mapping, an introductory perspective. **Developments in soil science**, v. 31, Amsterdam: Elsevier, p. 353-364, 2007.

BERBEROGLU, S.; LLOYD, C. D.; ATKINSON, P. M.; CURRAN P. J. The integration of spectral and textural information using neural networks for land cover mapping in the Mediterranean. **Comput. Geosci**, v. 26, p. 385-396, 2010.

BERRANG-FORD, L.; PEARCE T.; FORD, J. D. **Systematic review approaches for climate change adaptation research**. Reg Environ Change, 2015.

BENDIG, J.; BOLTEN A.; BARETH, G. Introducing a low-cost mini-UAV for thermal and multispectral-imaging. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, p. 345-349, 2012.

BEDNORZ, E.; KOLENDOWICZ, L.; SZYGA-PLUTA, K. Typy topoklimatu Słowińskiego Parku Narodowego. **Dokumentacja Geograficzna**, v. 23, p. 19-31, 2001.

BELART, P.; PINILLA, C.; ARIZA, F. J. **Control de calidad de clasificaciones de imágenes por el método de los itinerarios**. Jaén: Escuela Politécnica Superior Universidad de Jaén, 2002.

BENNETT, K. P.; SCHOLKOPF, B.; BURGESS, C.; SMOLA, A. **Combining Support Vector and Mathematical Programming Methods for Classification**, *Advances in Kernel Methods – Support Vector Machines*, p. 307-326, 1999.

BESAG, J. Towards Bayesian image analysis. **Journal Applied on Statistics**, v. 16, n. 3, p. 395-407, 1989.

BIAN, L. Object-Oriented Representation of Environmental Phenomena: Is Everything Best Represented As An Object? In: **Annals of the Association of American Geographers**, 97, p. 267- 281, 2007.

BIOLCHINI, J.; MIAN, P. G.; NATALI, A. C. C.; TRAVASSOS, G. H. **Systematic Review in Software Engineering**. PESC - COPPE/UFRJ, 2005.

BISHOP, Y.; FIENBERG, S.; HOLLAND, P. **Discrete multivariate analysis: theory and practice**. Cambridge: MIT, 1975.

BISHOP, M. P. et al. Geospatial technologies and digital geomorphological mapping: Concepts, issues and research. **Geomorphology**, v. 137, p.5-26, 2012.

BLASCHKE, T. Sustainability with GIS? Towards a proactive nature conservation approach. In: Johnston, J. and Gomarasca, M. (Ed.). **New Developments in GIS**, Ann Arbor, p. 198-209, 1997.

BLASCHKE, T. Object based image analysis for remote sensing, *ISPRS International Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 65, n. 1, p. 2-16, 2010.

BLASCHKE, T.; BURNETT, C.; PEKKARINEN A. New contextual approaches using image segmentation for object-based classification. In: De Meer F., de Jong S., editors. **Remote Sensing Image Analysis: Including the spatial domain**. Kluwer Academic Publishers; p. 211-236. Dordrecht: 2004.

BLASCHKE, T.; DRAGUT, L. Automated classification of landform elements using object-based image analysis. **Geomorphology**, v. 81, p. 330-344, 2006.

BLASCHKE, T. et al. Geographic Object-Based Image Analysis-Towards a new paradigm. ISPRS J. Photogramm. **Remote Sens.** v. 87, p. 180-191, 2014.

BLASCHKE, T.; STROBL, J. What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS. **GIS-Zeitschrift für Geoinformationssysteme**. v. 14, n. 6, p. 12-17, 2001.

BLASI, C. et al. Defining and mapping the landscape of Italy. Advance and Application of Landscape Character Mapping, **Proceedings of the 7° IALE Congress**, p. 572-573, 2007.

BOHRER, C. B. A. et al. Mapeamento da vegetação e do uso do solo no centro de diversidade vegetal de Cabo Frio, Rio de Janeiro, Brasil. **Rodriguésia**, v. 60, n. 1, p. 1-23, 2009.

BRANCACCIO, L. et al. Analisi gravimetriche nella bassa valle del torrente Solofrana (SA) e considerazioni sulla sua evoluzione quaternaria. **Il Quaternario**, v. 117, n. 2, p. 131-138, 1994.

BRASIL. **Decreto nº 4.340/02**: que regulamenta o Sistema Nacional de Unidade de Conservação da Natureza. 2002.

_____. **Lei Federal nº 9.985/00**: que institui o Sistema Nacional de Unidade de Conservação da Natureza. 2000.

_____. Ministério da Ciência e Tecnologia. Comissão de Cartografia. **Decreto Federal nº 89.817/84**: que dispõe sobre as Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Brasília, 1984.

BRITES, R. S.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, C. A. A. S. Verificação da exatidão em classificações de uma imagem orbital mediante a utilização de três índices. **Revista Árvore**, v. 20, p.415-424, 1996.

BRITTO, M. C. W. **Unidades de conservação: intenções e resultados.** São Paulo: Annablume - FAPESP, 2000.

BRITO, A. **Acurácia e Precisão do Mapeamento da Flora Nativa e dos Reflorestamentos de Minas Gerais.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) Universidade Federal de Lavras, Lavras (MG). 2008.

BRUNSDEN, D. et al. Large scale geomorphological mapping and highway engineering design. **Quart. Journ. Eng. Geol.**, v. 8, p. 227-253, 1975.

BOGGIONE, G. A. et al. Definição da escala em imagens de sensoriamento remoto: uma abordagem alternativa. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 1739-1746. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.18.03.28>>. Acesso em: 05 dez. 2015.

BONHAM-CARTER, G. F. **Geographical Information Systems for Geoscientists: Modeling with GIS.** Tarrytown, NY: Pergamon Press, 1994.

BURNETT, C., BLASCHKE, T. A multi-scale segmentation/object relationship modelling methodology for landscape analysis. **Ecological Modelling**, v. 168, n. 3, p. 233-249, 2003.

BURROUGH, P. **Principles of geographical information systems for land resources assessment.** Oxford, Clarendon Press, 1987.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL. R. **Principles of Geographical Information Systems.** Oxford University Press, 1998.

CÂMARA, G. Anatomia de sistemas de informações geográficas: visão atual e perspectivas de evolução. In: ASSAD, E.; SANO, E. (Ed.). **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura.** Brasília, DF: Embrapa, 1993.

CÂMARA, G. **Modelos, Linguagens e Arquiteturas para Bancos de Dados Geográficos.** Tese de Doutorado em Computação Aplicada. São José dos Campos, INPE, Dezembro de 1995. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/teses/gilberto>>. Acesso em: Abr. 2012.

CÂMARA, G. et al. **Introdução à Ciência da Geoinformação**. São José dos Campos, INPE, 2001. (on-line, 2a. edição, revista e ampliada) Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html>. Acesso em: Jun. 2012.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. **Geoprocessamento para projetos ambientais**. INPE. São José dos Campos, SP. 1996. Disponível em: http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/ Acesso em: 03 Mar. 2012.

CÂMARA, G. et al. **Análise Espacial de dados Geográficos**, 2002. 2a edição (online). Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/> Acesso em: 18 Mar. 2012.

CÂMARA, G. et al. **Técnicas de inferência geográfica**. In: A. M. V. (Org./Ed.), 2008. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.html>. Acessado em: Jun. 2012.

CAMARGO, F. F.; OLIVEIRA, C. G.; FLORENZANO, T. G.; ALMEIDA, C. M. Avaliação da acurácia posicional da base cartográfica do município de São José dos Campos (SP) por análises de tendência e precisão. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, 23 e Congresso Brasileiro de Geoprocessamento, 1, 2007, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto (SBC), p. 775-780, 2007.

CAMARGO, F. F. **Análise orientada a objeto aplicada ao mapeamento de unidades geomorfológicas a partir de dados ASTER/Terra**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos (SP). 2008.

CAMARGO, F. F. et al. Geomorphological mapping using object-based analysis and ASTER DEM in the Paraíba do Sul Valley, Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v. 30, p. 6613-6620, 2009.

CAMPBELL, J. B. **Introduction to remote sensing**. New York: The Guilford Press, 1996.

CAMPLING, P.; GOBIN, A.; FEYEN, J. Logistic modeling to spatially predict the probability of soil drainage classes. **Soil Science Society of America Journal**, v. 66, p.1390-1401, 2002.

CAPUTA, Z.; PERSKI, Z. GIS Approach for the Automatic Topoclimate Elements Evaluation - Case Study of Jastrzębie Zdrój Area in Poland. In: D. Kereković (Ed.). **Geographic Information Systems in Research & Practice**. IInd Part. Croatian Information Technology Association – GIS Forum, University of Silesia, Zagreb, p. 258-263, 2005.

CAREY, C.; DUDLEY, N.; STOLTON, S. **Squandering Paradise? The Importance and Vulnerability of the World's Protected Areas**. Gland (Switzerland): World Wide Fund for Nature, 2000.

CARRIZOZA, J. **Planificación del Medio Ambiente**. Cuadernos del Centro Internacional de Formación en Ciencias Ambientales, Madrid: CIFCA, n. 27, 1982.

CARVALHO-JUNIOR, O. A.; et al. Mapeamento da vegetação na floresta atlântica usando o classificador de árvore de decisão para integrar dados de sensoriamento remoto e Modelo Digital de Terreno. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 26, n. 3, p. 331-345, 2008.

CARVER, S. J. Integrating multi-criteria evaluation with Geographical Information Systems. **International Journal of Gographical Information Systems**, v. 5, n. 3, p. 321-329, 1991.

CASSETI, V. **Geomorfologia**. Livro Digital. 2005. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: 20 Abr. 2013.

CASTILHO-DA-COSTA, N. M.; XAVIER-DA-SILVA, J. Geoprocessamento aplicado à criação de planos de manejo: o caso do Parque Estadual da Pedra Branca, RJ. In: XAVIER-DA-SILVA, J.; ZAIDAN, R. T. **Geoprocessamento e Análise ambiental**: aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004.

CEPAGRI. Clima dos Municípios Paulistas. In: **Centro de Pesquisa Meteorológicas e Climáticas Aplicadas a Agricultura**. 2006. Disponível em <http://www.cpa.unicamp.br/outrasinformacoes/clima-dosmunicipios-paulistas.html>. Acesso em: 05 Abr. 2012.

CHANT, M.; KELLY M. **Individual object change detection for monitoring the impact of a forest pathogen on a hardwood forest**. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 75, p. 1005-1013, 2009.

CHAPELLE, O.; HAFFNER, P.; VAPNIK, V. N. Support Vector Machines for Histogram Based Image Classification. **IEEE Transactions on Neural Networks**, v. 10, n. 5, p. 1055-1064, 1999.

CHEN, K. P.; BLONG, R. **Towards in an integrated approach to natural hazards risk assessment using GiS**: With reference to bushfires. **Environmental Management**, New York, v. 31, n. 4, p. 546-560, 2003.

CHEN, K. P.; BLONG, R.; JACOBSON, C. MCE-RISK: integrating multicriteria evaluation and gIS for risk decision-making in natural hazards. **Environmental Modeling e Software**, v. 16, n. 4, p. 387-397, 2001.

CHEN, G.; ZHAO, K.; POWERS, R. Assessment of the image misregistration effects on object-based change detection. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 87, p. 19-27, 2014.

CHRISTOFOLETTI, A. Análise morfométrica das bacias hidrográficas. **Notícias Geomorfológicas**, v. 9, n. 18, p. 19-34, 1969.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. 2ed. São Paulo: Ed. Edgard Blucher Ltda. 1974.

_____. **A análise da densidade de drenagem e suas implicações geomorfológicas**. Geografia, v. 4, n. 8, p. 23-42, 1979.

_____. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blucher, 1999.

CHORLEY, R. J.; HAGGET, P. **Models in geography**. London: Methuen, ed. 1967.

CHUVIECO, E.; CONGALTON, R. G. Using cluster analysis to improve the selecting of training statistics in classifying remotely sensed data. **Photogrammetric Engennering and Remote Sensing**, v. 54, n. 9, p. 1275-1281, 1990.

CLAWSON, M.; STEWART, C. L. **Land use information**. A critical survey of U.S. statistics including possibilities for greater uniformity: Baltimore, Md., The Johns Hopkins Press for Resources for the Future, 1965.

CLEVE, C. et al. Classification of the wildland–urban interface: A comparison of pixel- and objectbased classifications using high-resolution aerial photography. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 32, n. 4, p. 317-326, 2008.

- CLINTON, N. et al. Accuracy Assessment Measures for Object-based Image Segmentation Goodness. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 76, n. 3, p. 289-299, 2010.
- COHEN, J. A coefficient of agreement for nominal scales. **Educational and Measurement**, v. 20, n. 1, p. 37-46, 1960.
- COLÂNGELO, A. C. Modelo de Feições Mínimas ou das Unidades Elementares do Relevo: um suporte cartográfico para mapeamentos geocológicos. In: **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n. 10, p. 29-40, 1996.
- COLARES, I. V. V. et al. Mapeamento da cobertura da terra do Parque Nacional do Itatiaia com a plataforma cognitiva InterIMAGE. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 2329-2336, 2013.
- COLDITZ, R. R.; STEINNOCHER, K.; SCHMIDT, M. Influence of image fusion approaches on classification accuracy: a case study. **Int J Remote Sens**, v. 27, p. 3311-3335, 2011.
- Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR). CEMG - Comitê de Estruturação de Metadados Geoespaciais CEMG. **Perfil de Metadados Geoespaciais do Brasil (Perfil MGB)**. Rio de Janeiro: CONCAR, 2009. Disponível em: <http://www.inde.gov.br/images/inde/Perfil_MGB_Final_v1_homologado.pdf>. Acesso em: Set. 2014.
- CONGALTON, R. A Review of Assessing the Accuracy of Classification Remotely Sensed Data. **Remote Sensing of Environment**, USA, v. 37, p. 35-46, 1991.
- CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. New York: Lewis Publishers, 2009.
- COOKE, U. R., DOORNKAMP, J. C. **Geomorphology in Environmental Management**, A New Introduction, Second Edition, Clarendon Press, Oxford, UK, 1990.
- COOPER, H., HEDGES, L. V., VALENTINE, J. C. **The handbook of research synthesis and meta-analysis** (2nd ed.). New York: Russell Sage Foundation, 2009.
- COUTINHO, L. M. O conceito de bioma. **Acta Bot. Brasilica**, v. 20, n. 1, p. 1-11, 2006.

CREPANNI, E. et al. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ordenamento territorial**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2001.

CREVENNA, A. B. et al. Geomorphometric analysis for characterizing landforms in Morelos State, Mexico. **Geomorphology**, v. 67, p. 407-422, 2005.

CROSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**, Tese de Doutorado - Instituto de Geociências, Universidade de Campinas, Campinas, 1992.

CROSTA, G. B.; FRATTINI, P. Rainfall thresholds for triggering soil slips and debris flow. In: MUGNAI, A.; GUZZETTI, F.; ROTH, G. (Ed.). **Proceedings of 2nd EGS Plinius Conference on Mediterranean Storms**. Siena, p. 463-487, 2003.

CRUZ, C. B. M. et al. Classificação Orientada a Objetos na Geração do Mapa de Uso e Cobertura da Terra do estado do Rio de Janeiro. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, Natal, 2009. **Anais...** p. 7789-7796, 2009.

DALFET, A. **Principios del manejo y planificación de áreas protegidas**. Turrialba: CATIE, 1976.

DAÍ, F. C.; LEE, C. F.; ZHANG, X. H. GIS-based geo-environmental evaluation for urban land-use planning: a case study. **Engineering Geology**, Amsterdam, v. 61, n. 4, p. 257-271, 2001.

DE BIASI, M. de. Carta de declividade de vertentes: confecção e utilização. **Geomorfologia**, São Paulo, IGEO/USP, n. 21, 1970.

_____. A carta clinográfica: Os Métodos de Representação e sua Confecção. **Revista do Departamento de Geografia** - USP, São Paulo, n. 6, p. 45-53, 1992.

DEAK, C. **Rent theory and the price of urban land/Spatial organization in a capitalist economy**. PhD Thesis, Cambridge University, 1985.

DE-FRIES, R. S.; CHAN, J. Multiple criteria for evaluating machine learning algorithms for land cover classification from satellite data. **Remote Sensing of Environment**, v. 74, p. 503-515, 2000.

DEBEIR, O. et al. Textural and contextural land-cover classification using single and multiple classifier systems. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 68, n. 6, p. 597-606, 2002.

DEMEK, J. **Manual of detailed geomorphological mapping**. Praga, IGU, Commission Geomorphological Survey Mapping, 1972.

DEMEK, J.; EMBLETON, C. **Guide to Medium-Scale Geomorphological Mapping**. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. Nägele u. Obermiller, Stuttgart, 1978.

DENG, M.; GOODCHILD, F.; CHEN, X. Using NDVI to define thermal south in several mountainous landscapes of California. **Comput. Geosci**, v. 35, p. 327-336, 2009.

DÉSTRO, G. F. G. et al. Áreas de risco ambiental por barragens no Estado de Minas Gerais. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 **Anais...** Abril 2009, INPE, p. 5193-5200, 2009.

DEUS, B. V. Uso de Interpoladores Espaciais na Estimção de Precipitação Pluviométrica na Bacia do Teles Pires. In: Reunião Anual da SBPC, 58, 2006, Florianópolis. **Anais...** São Paulo: SBPC/UFSC, 2006.

DIETRICH, W. E.; MONTGOMERY, D. R. **SHALSTAB**: a digital terrain model for mapping shallow landslide potential. NCASI (National Council of the Paper Industry for Air and Stream Improvement) Technical Report, 1998.

DIKAU, R. Derivatives from detailed geoscientific maps using computer methods. **Z. Geomorphol.**, v. 80, p. 45-55, 1990.

DOBESCH, H.; DUMOLARD, P.; DYRAS, I. **Spatial interpolation for climate data**: the use of GIS in climatology and meteorology: ISTE Ltd. 2007.

DOMACX, A.; SUZEN, M. L. Integration of environmental variables with satellite images in regional scale vegetation classification. **Int J Remote Sens.**, v. 27, p. 1329-1350, 2006.

DONHA, A. G.; SOUZA, L. C. P.; SUGAMOSTO, M. L. Determinação da fragilidade ambiental utilizando técnicas de suporte à decisão e SIG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.1, p.175-181, 2006.

DOUROJEANNI, M. Vontade política para estabelecer e manejar parques. In: TERBORGH, J. et al. (Org.). **Tornando os parques eficientes**: estratégias para a conservação da natureza nos trópicos. Curitiba: Editora da UFPR, 2002.

DOUROJEANNI, M. **Planos de manejo I**. Rio de Janeiro: O Eco, 2005a.

_____. **Planos de manejo II**, Rio de Janeiro: O Eco, 2005b.

DOUROJEANNI, M.; PÁDUA, M. T. J. **Biodiversidade**: a hora decisiva. Curitiba: Editora da UFPR, 2001.

DOXANI, G.; KARANTZALOS, K.; TSAKIRI-STRATI, M. Monitoring urban changes based on scale-space filtering and object-oriented classification. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 15, p. 38-48, 2012.

DURINGAN, G. et al. **Manual para recuperação da vegetação do cerrado**. 3 ed. São Paulo: SMA, 2011.

DRAGUT L.; EISANK C.; STRASSER T. Local variance for multi-scale analysis in geomorphometry. **Geomorphology**, v. 130, p. 162-17, 2011.

EASTMAN, J. R. Decision support: decision strategy analysis. In: **Idris 32 release 2**: guide to GIS and image processing. Worcester: Clark University, Clark Labs, p. 1-22, 2001.

EGENHOFER, M. J.; FRANK. A. U. **Object-oriented databases**: Database requirements for GIS. In Proceedings of the International GIS Symposium: The research agenda, vol. 2, Washington, DC: U.S. Government Printing Office, p. 189-211, 1987.

EGENHOFER, M. J.; FRANK. A. U. **Object-oriented modeling for GIS**. URISA Journal 4, p. 3-19, 1992.

ELLENBERG, H.; MUELLER-DOMBOIS, D. Tentative physiognomic-ecological classification of plant formations of the Earth. *Berichte des Geobotanischen Institutes der Eidg. Techn. Hochschule Stiftung Rübel*, Zurich: ETH, v. 37, p. 21-55, 1967.

ELMASRI, R.; NAVATHE, S. B. **Sistemas de Banco de Dados**. 6. ed. São Paulo: Addison Wesley, 2011.

EMPRESA PAULISTA DE PLANEJAMENTO METROPOLITANO (EMPLASA). **Mapeia São Paulo**: Projeto de Atualização Cartográfica do Estado de São Paulo. São Paulo: Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Regional. 2011. Disponível em: <www.emplasa.sp.gov.br/emplasa/nfgeo.cartografia.pdf>. Acesso em: 23 Nov. 2014.

_____. **Mapeamento Básico Digital Vetorial**, Secretaria da Casa Civil, São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://www.emplasa.sp.gov.br/Emplasa/Cartografia/mapeamentobasicodigitais.asp>>. Acesso em: 15 Jan. 2015.

ESCH, T. et al. Improvement of image segmentation accuracy based on multiscale optimization procedure. **IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.**, v. 5, n. 3, p. 463-467, p. 2008.

FAIRBRIDGE, R. W. **The encyclopedia of geomorphology**. New York: Reinhold Book, 1968. 2 v.

FAIRBRIDGE, R. W. Climate variation, historical record. In: **The Encyclopedia of Climatology**. Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1987.

FALZARANO, S. R.; THOMAS, K. A. Fuzzy set and spatial analysis techniques for evaluation of thematic accuracy of a land-cover map. In: LUNETTA, R.L.; LYONS, J. G. (Ed.). **Geospatial Data Accuracy Assessment**. Edited by U.S. Environmental Protection Agency. Las Vegas. Report No. EPA/600/R-03/064, p. 189- 207, 2004.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS (FAO). **National Parks Planning**: a manual with annotated examples. FAO Conservation Guide ed. Vol. document 17. Roma, 1988.

_____. **A framework for land evaluation**; Soils Bulletin No. 32; Rome, 1976.

FARIA, H. H. **Eficácia de gestão de unidades de conservação gerenciadas pelo Instituto Florestal de São Paulo**. Tese (Doutorado em Geografia). Universidade Estadual Paulista de Presidente Prudente, Presidente Prudente, 2004.

FEITOSA, R. Q.; COSTA, G. A. O. P.; MOTA, G. L. A. Modeling alternatives for fuzzy Markov chain-based classification of multitemporal remote sensing data. **Pattern Recognition Letters**, v. 32, n. 7, p. 927- 940, 2011.

FELGUEIRAS, C. A. **Modelagem ambiental com tratamento de incertezas em sistemas de informação geográfica: o paradigma geoestatístico por indicação**. São José dos Campos, INPE, 2001. Tese (Doutorado em Computação Aplicada), 2001. Disponível em: <<http://mtc-m05.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/2001/08.03.12.35/doc/publicacao.pdf>>. Acesso em: 21 Mai. 2011. INPE-8180-TDI/760.

FELICÍSIMO, A. M. **Modelos Digitales del Terreno: introducción y aplicaciones em las ciencias ambientales**. Pentalfa Ediciones, Oviedo, 1994.

FERNANDES A. G. **Fitogeografia Brasileira**. 3. ed. Fortaleza: Edições UFC; 2000.

FERNANDES, R. R.; NUNES, G. M.; SILVA, T. S. F. Classificação orientada a objetos aplicada na caracterização da cobertura da terra no Araguaia. **Pesq. Agropec. Bras.** v.47, n. 9, p. 1251-1260, 2012.

FERREIRA, M. C. **Mapeamento de unidades de paisagem com sistemas de informação geográfica: alguns pressupostos fundamentais**. Rio Claro: Unesp, 1997.

FIDALGO, E. C. C. **Critérios para a análise de métodos e indicadores ambientais usados na etapa de diagnóstico de planejamentos ambientais**. Campinas, 2003. Tese (Doutorado em Planejamento e Desenvolvimento Rural Sustentável). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola, 2003.

FIGUEIREDO, L. A. V. de. **O meio ambiente prejudicou a gente...: políticas públicas e representações sociais de preservação e desenvolvimento. Desvelando a pedagogia de um conflito no Vale do Ribeira (Iporanga-SP)**. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Campinas, 2000.

FILIPPI, A. M.; JENSEN, J. R. Fuzzy learning vector quantization for hyperspectral coastal vegetation classification. **Remote Sens Environ**, v. 100, p. 512-30, p. 2006.

FISHER, P. The pixel: a snare and a delusion. **International Journal of Remote Sensing**, v. 18, n. 3, p. 679-685, 1997.

ROSENFELD, G. H; FITZPATRICK-LINS, K. A Coefficient of Agreement as Measure of Thematic Classification Accuracy. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 52, n. 2, p. 223-227, 1986.

FLOHN, H. **Zur Frage der Einteilung der Klimazonen**, Erdkunde, v. 11, p. 161-175, 1957.

FLORENZANO, T.G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo, Oficina de Texto, 2002.

FLORENZANO, T. G (Org). **Geomorfologia: Conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FONSECA, L. M. G.; NAMIKAWA, L. M.; CASTEJON, E. F. Digital Image Processing in remote sensing. In: XXII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, **Anais...** Rio de Janeiro, p. 59-71, 2009.

FONSECA, L. M. G. et al. Image fusion for Remote Sensing applications. In: ZHENG, Y (Ed.). **Image fusion and its applications**. 1. ed. Lorman: Alcorn State University, 2011.

FOODY, G. M. Status of land cover classification accuracy assessment. **Remote Sensing of Environment**, v. 80, n. 1, p. 185-201, 2002.

FOODY, G. M. Thematic Map Comparison: Evaluating the Statistical Significance of Differences in Classification Accuracy. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 70, n. 5, p. 627-633, 2004.

FRANCA, A. M. S.; SANO, E. E. Mapeamento de áreas de Campo Limpo Úmido no Distrito Federal a partir de fusão de imagens multiespectrais. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 23, n. 2, p. 197-209, 2011.

FRANCISCO FILHO L. L. **O Uso do geoprocessamento como apoio na gestão do município: Petrópolis, um estudo de caso**. LAGEOP, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Dissertação (Mestrado), 1999.

FREITAS, W. K.; MAGALHÃES, L. M. S. Métodos e parâmetros para o estudo da vegetação com ênfase no estrato arbóreo. **Revista Floresta e Ambiente**. Rio de Janeiro; v. 19, n. 4, p. 520-540, 2012.

FRONT QUER, P. **Diccionario de Botánica**. Barcelona, Editorial Labor, 1953.

FUNDAÇÃO FLORESTAL. **Relatório Técnico da Equipe de Geomorfologia do Plano de Manejo do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira**. Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo: SMA, 2009a (não publicado).

_____. **Relatório Técnico da Esquipe de Vegetação do Plano de Manejo do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira**. Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo: SMA, 2009b (não publicado).

_____. **Relatório Técnico da Esquipe de Uso da Terra do Plano de Manejo do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira**. Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo: SMA, 2009c (não publicado).

_____. **Termo de Referência para a elaboração de Planos de Manejo de Unidades de Conservação do SIEFLOR**. Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo: SMA, 2010a (não publicado).

_____. **Plano de Manejo do Parque Estadual Turístico do Alto Ribeira**. Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo: SMA, 2010b.

_____. **Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental Várzea do Rio Tietê**. Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo: SMA, 2013 (não publicado).

FUTAMURA, N. et al. **High resolution DEM generation from ALOS PRISM data - algorithm development and evaluation**. In: Tratamento de Dados da Missão Shuttle Radar Topographic Mission International Geoscience and Remote Sensing Symposium - IGARSS'02, Toronto, Canada. Proceedings of IGARSS'02. Piscataway, NJ, EUA : IEEE International, p. 405-407, 2002.

GAD, S.; KUSKY, T. Lithological mapping in the Eastern Desert of Egypt, the Barramiya area, using Landsat thematic mapper (TM). **Journal Afric Earth Science**, v. 44, p. 196-202, 2006.

GALVÃO, L. S.; FORMAGGIO, A. R.; TISOT, D. A. Discrimination of sugarcane varieties in Southeastern Brazil with EO-1 Hyperion data. **Remote Sens. Environ**, v. 94, p. 523-34, 2005.

GAO, F.; KUSTAS; A. **A Data Mining Approach for Sharpening Thermal Satellite Imagery over Land**. Remote Sensing. 2012.

GEORGIEVSKIY, B. V. **Methods of Semiautomatic GIS-based Mapping of Neotectonic Active Zones and Geomorphological Features**. AGILE – 14th International Conference on Geographic Information Science, April 18-22, p. 1-11, 2011.

GENELETTI, D. A. **GIS-based decision support system to identify nature conservation priorities in an alpine valley**. Land Use Policy, v. 21, p. 149-160, 2004.

GEERKEN, R.; ZAITCHIK, B.; EVANS, J. P. Classifying rangeland vegetation type and coverage from NDVI time series using Fourier Filtered Cycle Similarity. **Int J Remote Sens.**, v. 26, p. 5535-5554, 2005.

GIASSON, E. et al. Digital soil mapping using multiple logistic regression on terrain parameters in southern Brazil. **Scientia Agricola**, v. 63, p. 262-268, 2006.

GILES, P. T.; FRANKLIN, S. E. An automated approach to the classification of the slope units using digital data. **Geomorphology**, v. 21, p. 251-264, 1998.

GILEWSKA, S. Different methods of showing the relief on the detailed geomorphological maps. **Zeitschrift für Geomorphologie N.F.**, v. 11, n. 4, p. 481-490, 1967.

GLASS, G. Primary, secondary and meta-analysis of research. Education Resources, v. 10, p. 3-8, 1976.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento de Imagens Digitais**. São Paulo: Edgard Blucher, 2000.

GOOVAERTS, P. Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. **Journal of Hydrology**, v. 228, p. 113-129, 2000. Disponível em: <www.elsevier.com/locate/jhydrol>. Acesso em: 10 Set. 2011.

GRABHERR, G.; KOJIMA, S. Vegetation Diversity and Classification Systems. In: Solomon A. M.; Shugart, H. H. (Ed.). **Vegetation Dynamics & Global Change**. New York, Chapman & Hall, p. 218-232, 1993.

GRISEBACH, A. **Die Vegetation der Erde nach ihrer klimatischen Anordnung**: ein Abriss der Vergleichenden Geographie der Pflanzen. Leipzig [Alemanha]: W. Engelmann, v. 1; 1872.

GUIDA, D. **Applications of the hierarchic GIS-based geomorphological mapping system**. In: MARCHETTI, M., SOLDATI, M. (Ed.). **The Role of Geomorphology in Land Management**, Abstract Volume, Third AIGEO National Conference, Modena, Italy, p. 109-110, 2009.

GUSTAVSSON, M. **Development of a Detailed Geomorphological Mapping System and GIS Geodatabase in Sweden**, Teza de doctorat, Universitatea Uppsala, Suedia, 2005.

GUSTAVSSON M.; KOLSTRUP, E.; SEIJMONSBERGEN, A. C. A new symbol-and – GIS based detailed geomorphological mapping system: Renewal of a scientific discipline for understanding landscape development. **Geomorphology**, v. 77, n. 1-2, p. 90-111, 2006.

HAN, J.; KAMBER, M. **Data Mining**: Concepts and Techniques. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 2006.

HANSEN, M. C.; DE-FRIES, R. S.; TOWNSHEND, J. R. Global land cover classification at 1 km spatial resolution using a classification tree approach. **Int J Remote Sens.**, v. 21, p. 1331-1364, 2006.

HAY, G.; CASTILLA, G. **Geographic Object-based Image Analysis (GEOBIA)**: A New Name for a New Discipline. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography Book Series. Berlin: Springer-Verlag, p. 75-89, 2008.

HAY, G.J.; MARCEAU, D.; DUBE, P.; BOUCHARD, A. A multiscale framework for landscape analysis: Object-specific analysis and upscaling. *Landscape Ecology*, v. 16, n. 6, p. 471-490, 2001.

HELLDEN, U.; STERN, M. **Evaluation of Landsat Imagery and Digital Data for Monitoring Desertification Indicators in Tunisia**. Proc. 14th. Int. Symposium Rem. Sens. of Environ, p. 1601-1611, 1980.

HENGL, T.; REUTER, H. I. Geomorphometry: Concepts, software, applications. **Developments in Soil Science**, v. 33. Amsterdam: Elsevier, 2009.

HEUVELINK, G. B. M. **Error propagation in environmental modelling with GIS**. Bristol: Taylor and Francis Inc., 1998.

HILL, R.A. et al. Representation of an alpine treeline ecotone in SPOT 5 HRG data. **Remote Sensing of Environment**, v. 110, p. 458-467, 2007.

HIRANO, A.; WELCH, R.; LANG, H. Mapping from ASTER stereo image data: DEM validation and accuracy assessment. **ISPRS J Photogram Eng Rem Sens**, v. 57, p. 356-370, 2003.

HODGSON, M. E. et al. An evaluation of LIDAR- and IFSAR-derived digital elevation models in leaf-on conditions with USGS Level 1 and Level 2 DEMs. **Remote Sensing of Environment**, v. 84, n. 2, p. 295-308, 2003.

HORD, R. M.; BROONER, W. Land Use Map-Accuracy Criteria. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 42,n. 5,p. 671- 679, 1976.

HORTON, R. E. Erosional development of streams and their drainage density: hydrophysical approach to quantitative geomorphology. **Geol. Soc. Amer. Bull.**, n.56, p. 275-370, 1945.

HOROWITZ, C. **O processo de planejamento e manejo de unidades de conservação federais de proteção integral: o caso do Parque Nacional de Brasília**. In: II Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação, Campo Grande, 2000.

HOUAISS, A.; VILLAR, M.S. **Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2001.

HUETE, A. R. **A soil-adjusted vegetation index (SAVI)**. Remote Sensing of Environment, 1988.

HUNT, A.; WATKISS, P. **Climate change impacts and adaptation in cities: a review of the literature**. Clim Change, 2011.

HUSCH, B.; MIXER, C.I .; BEERS, T.W. **Forest mensuration**. Ed. 3. Wiley, New York: 1982.

HUTCHINSON, M. F. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. Journal of Hydrology, n. 106, 1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Projeto RADAMBRASIL**. Levantamento de Recursos Naturais. Rio de Janeiro: IBGE, 1981.

_____. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, Série manuais técnicos em geociências, n.1, 1992.

_____. **Manual Técnico de Uso da Terra**. Rio de Janeiro: IBGE, Série manuais técnicos em geociências 2a ed, 2006.

_____. **Manual Técnico de Pedologia**. Rio de Janeiro: IBGE, Série manuais técnicos em geociências 2a ed. 2007.

_____. **Manual Técnico de Geomorfologia**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro: IBGE, Série manuais técnicos em geociências 2a ed. 2009.

_____. **Censo Demográfico**, 2010.

_____. **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: IBGE, Série manuais técnicos em geociências, n.1. 2. ed. 2012.

_____. **Manual Técnico de Uso da Terra** Rio de Janeiro: IBGE, Série manuais técnicos em geociências, 3a ed. 2013.

IBAMA Roteiro Metodológico para a Elaboração de Plano de Manejo em Unidades de Conservação de Uso Indireto. Brasília: IBAMA: GTZ. 1996.

_____. **Roteiro Metodológico de Planejamento de Parques Nacionais, Reservas Biológicas e Estações Ecológicas**. Brasília: Edições IBAMA. 2002.

IM, J.; JENSEN, J. R. A change detection model based on neighborhood correlation image analysis and decision tree classification. **Remote Sens Environ**, v. 99, p. 326-340, 2005.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas**, São José dos Campos, SP. 2001.

IPPOLITI, R. G. A. Análise digital do terreno: Ferramenta na identificação de pedoformas em microbacia na região de "Mar de Morros" (MG). **Rev. Bras. Ci. Solo**, v. 29, p. 269-276, 2005.

IUCN. **Guidelines for Protected Area Management Categories**. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK, 1994.

_____. **Landscape Conservation Law: Present Trends and Perspectives in International and Comparative Law**. IUCN, Gland, Switzerland and Cambridge, UK. 2000.

_____. **Protected Areas Extracted from the 2009 World Database on Protected Areas**. New York: World Conservation Union and UNEP- World Conservation Monitoring Center, 2009.

_____. **Guidelines for using the IUCN Red List categories and criteria.** Version 10. Prepared by the standards and petitions subcommittee. Gland and Cambridge: IUCN. 2013.

JANSSEN, L. F.; LUCAS, F. J. M.; WEL, F. J. M. Accuracy assessment of satellite derived land-cover data: a review. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Falls Church, v. 60, n. 4, p. 419-426, Apr. 1994.

JENSEN, J. R. **Introductory Digital Image Processing: A Remote sensing Perspective.** Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1986.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente:** uma perspectiva em recursos terrestres. 2. ed. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

JOLY, F. Point de vue sur la géomorphologie. **Annales de Géographie**, v. 86, n. 477, p.522-541, 1977.

JORDAN, C. F. **Derivation of leaf area index from quality of light on the Forest floor.** 1969.

JOSEPH P.; HOFFBECK H.; DAVID A. Land- grebe, Classification of Remote sensing Images having High Spectral Resolution. **IEEE Trans. On Remote Sensing of Environment**, v. 57, n. 3, p. 119-126, 1996.

JOURNAUX, A. Légende pour une carte de l'environnement et de sa dynamique. In: HELLUIN-QUINEJURE, E. **Les Sources de Documentation.** Faculté des Lettres et Sciences Humaines de Caen. Cae, 1975.

JUSTICE, C. O. et al. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, n. 4, 1998.

KANGAS, J. et al. Analyzing consistency of expert'judgment: case of forest biodiversity. **Forest Science**, v. 44, p.603-609, 1998.

KAPPAS, M. **Klimatologie**, Klimaforschung in 21. Jahrhundert – Herausforderungen Natur- und Sozialwissenschaften., Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 2009.

KARMANN, I.; FERRARI, J. A. Carste e cavernas do Parque estadual Turístico do Alto Ribeira (PETAR), sul do estado de São Paulo. In: Schobbenhaus, C.; Winge, M.; Born, M. B.

(Org.). **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. 1. ed. Brasília: DNPM - Departamento Nacional da Produção Mineral, 2002.

KARNIELI, A. et al. Comments on the use of the Vegetation Health Index over Mongolia. **International Journal of Remote Sensing**, v. 27, p. 2017-2024, 2006.

KARIYEVA, J.; VAN-LEEUEWEN, W. J. D. **Environmental drivers of NDVI-based vegetation phenology**. In: Central Asia Remote Sens. 3, 2011, p. 203-246.

KAUFMAN, Y. J., TANRE, D. **Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS**, In: Intitute Geoscience. and Remote Sensing Symp, New York, 1992.

KAVZOGLU, T.; MATHER, P. M. The use of backpropagating artificial neural network inland cover classification. **International Journal of Remote Sensing**, London, v. 24, n. 23, p. 4907-4938, 2003.

KAWASHIMA, R. S. Classificação de imagem baseada em objeto (OBIA) utilizando índices de vegetação. In: **Anais... XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR**, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, p. 3358-3365, 2013.

KELLER, E. C. S. Mapeamento da utilização da terra. **Revista Brasileira de Geografia**. Rio de Janeiro: IBGE, v. 31, n. 3, p. 151-160, jul./set. 1969,.

KICIŃSKA, B.; OLSZEWSKI, K.; ŻMUDZKA, E. Uwagi o wykorzystaniu klasyfikacji J.Paszyńskiego do kartowania topoklimatycznego. In: Kuchcik, M. (Ed.). **Współczesne Badania Topoklimatyczne**. Dokumentacja Geograficzna, v. 23, p. 143-152, 2001.

KITCHENHAM, B. **Procedures for Performing Systematic Reviews**. Joint Technical Report, TR/SE-0401 and NICTA 0400011T.1, Keele University, 2004. Disponível em: <http://www.idi.ntnu.no/emner/empse/papers/kitchenham_2004.pdf> Acesso em: 15 Abr. 2012.

KLIMASZEWSKI, M. **Detailed geomorphological maps**. ITC Journal–3, p. 265-271, 1982.

KOLENDOWICZ, L.; BEDNORZ, E. Topoclimatic differentiation on the area of the Słowiński National Park. **Quaestiones Geographicae**, v. 29, p. 49-56, 2010.

KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes, 1928.

KORTE, G. **The GIS book**. Santa Fé: On World Press, 1994.

KOURY, C. G. et al. **Inclusão de Discussões de Mudanças Climáticas na Gestão de Unidades de Conservação**. Amazonas: Instituto de Conservação e Desenvolvimento Sustentável do Amazonas, 2011.

KUSTAS, W.P. Estimating subpixel surface temperatures and energy fluxes from the vegetation index-radiometric temperature relationship. **Remote Sens. Environ.**, v. 85, p. 429-440, 2003.

KUSTAS, W. P. Effects of remote sensing pixel resolution on modeled energy flux variability of croplands in Iowa. **Remote Sens. Environ.**, v. 92, p. 535-547, 2004.

LABA, M. Conventional and fuzzy accuracy assessment of the New York Gap Analysis Project land cover maps. **Remote Sensing of Environment**, v. 81, p. 443-455, 2002.

LACERDA, M. P. C. **Mapeamento preliminar de solos com horizonte B textural e B nítico na região de Lavras, MG**. **Ci. Agrotecnol.**, v. 33, p. 788-795, 2009.

LALIBERTE, A. S.; BROWNING, D. M.; RANGO, A. A comparison of three feature selection methods for object-based classification of sub-decimeter resolution UltraCam-L imagery. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 15, p. 70-78, 2012.

LAMB, H. H. **British Isles weather types and a register of the daily sequence of circulation patterns 1861–1971**. Geophysical Memoirs 16(116). HMSO: London; 1972.

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

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

LANG, S.; TIEDE, D. **Establishing manageable geo-objects for spatial planning and monitoring purposes**, Proceedings of GEOBIA, Intelligence: Geographic ObjectBased Image Analysis for the 21st Century, 6-7 August, Calgary, Alberta, 2008.

LANG, S.; SCHÖPFER, E.; LANGANKE, T. Combined object-based classification and manual interpretation-synergies for a quantitative assessment of parcels and biotopes. **Geocarto International**, v. 24, n. 2, p. 99-114, 2009.

LAWRENCE, R. et al. Classification of remotely sensed imagery using stochastic gradient boosting as a refinement of classification tree analysis. **Remote Sensing of Environment**, v. 90, p. 331-336, 2004.

LAWRENCE, R. L.; WRIGHT, A. Rule-based classification systems using classification and regression tree analysis. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 67, n. 10, p. 1137- 1142, 2001.

LEDEC, G. **Guidelines for Preparing Management Plans for National Parks and Other Protected Areas**. In: IV World Congress on National Parks and Protected Areas, Caracas, Veneazuela: IUCN, 1992.

LEE, T.; MIDDLETON, J. **Guidelines for management planning of protected areas**. Gland: IUCN/WWF, 2003. Disponível em: <http://cmsdata.iucn.org/downloads/pag_010.pdf>. Acesso em: 15 Mai. 2012.

LEITE, P. B. C. Hidden Markov Models for crop recognition in remote sensing image sequences. **Pattern Recognition Letters**. v. 32, n. 1, p. 19-26, 2011.

LENNEY, M. P.; WOODCOCK, C. E.; COLLINS, J. B. The status of agricultural lands in Egypt: the use of multitemporal NDVI features derived from LandsatTM. **Remote Sens Environ**, v. 56, p. 8-20, 1996.

LI, L.; USTIN, S. L.; LAY, M. Application of multiple endmember spectral mixture analysis (MESMA) to AVIRIS imagery for coastal salt marsh mapping: a case study in, CA, USA. **Int J Remote Sens.**, v. 26, p. 5193-207, 2005.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. 2. Ed. New York. John Wiley; Sons. 1987.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W.; CHIPMAN, J. W. **Remote sensing and image interpretation**. 5a ed. Madison: Wiley, 2004.

LIMA, N. G. B. **Análise Microclimática dos Manguezais da Barra do Ribeira-Iguape/SP**. 2009. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Geografia Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

LIMA, N. G. B. **Interação dos atributos climáticos nos manguezais do litoral sul de São Paulo e sua relação com os controles climáticos**. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Geografia Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

LJLJEQUIST, G. H. **Tor Bergeron, a biography**. Pure and Applied Geophysics, v. 119, n. 3, p. 409-442, 1981.

LONGHITANO, G. A. **Monitoramento Ambiental de Implantação de Empreendimentos através de Sensoriamento Remoto por VANTs**. 2011. Tese (Doutorado em Ciência Ambiental) - Universidade de São Paulo, 2011.

LOBÃO, J. S. B.; ROCHA, W. J. S. F.; SILVA, A. B. Aplicação dos índices KAPPA & PABAK na validação da classificação automática de imagem de satélite em Feira de Santana-BA. **Anais... XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, INPE, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, p. 1207-1214.

LOPES, E. S. S. et al. **Análise de Modelos Numéricos de Terreno para Modelos Geomorfológicos** In: VI Simpósio Internacional de Geomorfologia. Geomorfologia Tropical e Subtropical: processos, métodos e técnicas. Goiânia-GO. 6 a 10 de Setembro de 2006.

LU, D.; WENG, Q. Spectral mixture analysis of the urban landscapes in Indianapolis with Landsat ETM+ imagery. **Photogramm Eng Remote Sens**, v. 70, p. 1053-1077, 2004.

LUCHIARI, A. Algumas considerações sobre as aplicações dos produtos do sensoriamento remoto para levantamento do uso e revestimento da terra. **Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina**. São Paulo: Departamento de Geografia – FFLCH/USP, 2005, p. 5744-5765.

LUCHIARI, A.; KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G. Aplicações de Sensoriamento Remoto na Geografia In: VENTURI, L. A. B. Org. Geografia: **Praticando Geografia: técnicas de campo e de laboratório**. São Paulo: Editora Oficina de Textos, p. 33-54, p. 2005.

MACKINNON, J. et al. **Manejo de áreas protegidas en los tropicos**. Gland: IUCN, 1990.

MACMILLAN, R. A.; JONES, R. K. Defining a hierarchy of spatial entities for environmental analysis and modeling using digital elevation models (DEMs). **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 28, n. 3, p. 175-200, 2004.

MACMILLAN, R. A.; SHARY P. A. **Landforms and Landform Elements in Geomorphometry**. In: HENGL, T.; REUTER, H. I. **Geomorphometry: Concepts, Software, Applications, Developments in Soil Science**, v. 33, Elsevier, p. 227-254, 2008.

MAHESH, P.; MATHER, P. M. An assessment of the effectiveness of decision tree methods for land cover classification. **Remote Sensing of Environment**, v. 86, p. 554-565, 2003.

MALCZEWSKI, J. A GIS-based approach to multiple criteria group decision-making. **International Journal of Geographical Information Systems**, Abigdon, v. 10, n. 8, p. 955-971, 1996.

MALCZEWSKI, J. **GIS and multicriteria decision analysis**. New York: John Wiley, 1999. 362 p.

MALCZEWSKI, J. **GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview**. Progress in Planning, New York, n. 62, p. 3-65, 2004.

MALCZEWSKI, J. **GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature**. International Journal of Geographical Information Science, v. 20, n. 7, August 2006, p. 703-726.

MALCZEWSKI, J. **On the use of weighted linear combination method in GIS: common and best practice approaches**. Transaction in GIS, v. 4, n.1, p. 5-22, 2000.

MALCZEWSKI, J.; JACKSON, M. Multicriteria spatial allocation of educational resources: an overview. **Socio-Economic Planning Sciences**, New York, v. 34, p. 219-235, 2000.

MARBLE, D. F. **Geographic Information Systems: An Overview**. In: PEUQUET, D. J.; MARBLE, D. F. (Ed.). **Introductory Readings in GIS**. London: Taylor and Francis, 1990.

MARBLE, D. F.; PEUQUET, D. J. **Geographic Information Systems and Remote Sensing, Manual of Remote Sensing**, 2 ed., chapter 22, American Society of Photogrammetry, 1983. 1 v.

MARETTI, C. Comentários sobre a situação das Unidades de Conservação no Brasil. In: **Revista de Direitos Difusos**, fevereiro/2001 - Florestas e Unidades de Conservação. Brasília, Ed. Esplanada-ADCOAS, 2001. 5 v.

MARÍN, L. E.; STEINICH, B.; ESCOLERO, O. A. Precision estimates for ellipsoidal height determinations for short baselines using DGPS system. **Geofísica Internacional**, v. 44, n. 4, p. 391-394, 2005.

MARÍN, L. E. Comparison of elevation heights using a Differential Global Positioning System (DGPS) and a Total Station. **Geofísica Internacional**, v. 47, n. 1, p.81-83, 2008.

MARK, D. M.; SMITH, B. **A Science of Topography: From Qualitative Ontology to Digital Representations**. In: Bishop, M. P.; Shroder, J. F. (Ed.) *Geographic Information Science and Mountain Geomorphology*. . Chichester, England: Springer-Praxis, p. 75-100, 2004.

MARPU, P. R. **Geographic Object-based Image Analysis**. Freiberg, 2009. 121f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Faculty of Geosciences, Geo-Engineering and Mining Technische Universität Bergakademie Freiberg, 2009.

MARTINELLI, M. **Mapas da geografia e cartografia temática**. 5. ed. São Paulo, SP: Contexto, 2010.

MARTINS, E. S. F. **Avaliação da exatidão cartográfica de dados SRTM e atualização da carta plani-altimétrica Salinópolis - NE do Pará**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2010.

MCGARIGAL, K.; MARKS, B.J. **FRAGSTATS**: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. USDA Forest Service, Technical Reports, PNW-GTR-351, Portland, 1995.

MCNEELY, J.A., et al. **Conserving the World's Biological Diversity**. Gland, Switzerland, and Washington, D.C. World Conservation Union and World Resources Institute, 1990.

MEDEIROS, R. Evolução das Tipologias e Categorias de Áreas Protegidas no Brasil. In: **Revista Ambiente e Sociedade**, v. IX, n. 1, p. 41-64, jan./jun., 2006.

MELLO, C. R. et al. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Rev. Bras. Ciênc. Solo**, Sept./Oct. 2003.

MENTLIK, P.; NOVOTNA, M. Elementary forms and 'scientific reliability' as an innovative approach to geomorphological mapping. **Journal of Maps**, p. 564-583, 2010.

MENDONÇA, F. A. **Geografia e Meio Ambiente**. 8. ed. São Paulo: Contexto, 2008.

MENDONÇA, F. A; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia**: noções básicas de climas do Brasil. Oficina de Textos, São Paulo, 2007.

MENESES, P. R., ALMEIDA, T. de. **Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto**. 1. ed. Brasília: UnB/CNPq, 2012. 1 v.

MILANO, M. S. **Unidade de conservação**: conceitos e princípios de planejamento e gestão. Brasília: MHU/SEMA/Secretaria Adjunta de Ecossistemas. p. 65, 1989.

MILANO, M. S. Planejamento de unidades de conservação: um meio e não um fim. In: Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Rede Nacional Pró- Unidades de Conservação, Instituto Ambiental do Paraná e Universidade Livre do Meio Ambiente (Org.), v. 1, p. 150-165, 1997.

MILANO, S. M.; TRESINARI, A.; FERREIRA, L. M. **Possibilidades alternativas para o manejo e o gerenciamento das unidades de conservação**. Brasília: IBAMA/PNMA, 1993.

MILLER, K. **Planificación de parques nacionales para el ecodesarrollo en Latinoamérica**. Madrid: Fundación para la Ecología y la Protección del Medio Ambiente (FEPMA), 1980.

MILLER, K. **Evolução do conceito de áreas de proteção** – oportunidades para o século XXI. In: Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação, Curitiba, 1997.

MYINT, S. W. et al. Per-pixel vs. Object-based classification of urban land cover extraction using high spatial resolution imagery. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, n. 5, p. 1145-1161, 2011.

MITASOVA, H., MITAS, L., **Interpolation by regularized spline with tension**: Theory and implementation. *Mathematical. Geology*, v. 25, p. 641-655, 1993.

MITCHEL, A. **The ESRI guide to GIS analysis**. Redlands: ESRI, 1999.

MITICHIDA, E., et al. Estudo da Geometria de Imagens Aéreas Obtidas por VANT em Faixa de Dutos, a partir da sinalização de pontos de apoio GPS. In: XXVI Congresso Brasileiro de Cartografia. **Anais...** Gramado-RS, 2014.

Ministério do Meio Ambiente (MMA). **Programa de Zoneamento Ecológico Econômico:** diretrizes metodológicas para o zoneamento ecológico econômico no Brasil. Brasília: MMA/SDS, 2001.

_____. **Informe nacional sobre áreas protegidas no Brasil** (Serie Áreas Protegidas do Brasil, 5). Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Departamento de Áreas Protegidas - Brasília: MMA. 2007.

_____. **Quarto Relatório Nacional para a Convenção sobre Diversidade Biológica:** Brasil. Brasília (DF): Ministério do Meio Ambiente/Diretoria do Programa Nacional de Conservação da Biodiversidade - DCBio, 2010.

_____. **Cadastro Nacional de Unidades de Conservação.** Brasília: MMA, 2008. Disponível em <http://sistemas.mma.gov.br/portalcnuc>. Acesso em 10 de dezembro de 2011.

_____. Ministério do Meio Ambiente. **GeoCatálogo do Ministério do Meio Ambiente.** 2013. Disponível em: <file:///C:/Users/Pablo/Downloads/GeoCatalogoManualPublico.pdf> Acesso em: Fev. 2014.

MÖLLER, M.; LYMBURNER, L.; VOLK, M. The comparison index: A tool for assessing the accuracy of image segmentation. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 9, n. 3, p. 311-321, 2007.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento Pelo NAVSTAR-GPS:** Descrição, Fundamentos e aplicações. Editora Unesp, 2000.

MONMONIER, M. **Computer Assisted Cartography, Principles and Prospects:** Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice-Hall, 1982.

MONTEIRO, C. A. F. **Análise Rítmica em Climatologia:** problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho. São Paulo: Universidade de São Paulo/Instituto de Geografia (Série Climatologia nº 1) 1971.

MONTEIRO, C. A. F. **A Dinâmica Climática e as Chuvas no Estado de São Paulo - estudo geográfico sob forma de atlas**. São Paulo: Universidade de São Paulo/ Instituto de Geografia, 1973.

MONTEIRO, C. A. F. **O Estudo Geográfico do Clima**. Cadernos Geográficos, Florianópolis, n.1, Imprensa Universitária, 1999.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e Clima Urbano**. São Paulo: IGEO/USP, 1976.

MONTGOMERY, G.; SCHUCH, C. **Gis Data Conversion Handbook**. Fort Collins: Gis Word Books. 1993.

MOORE, A. B. et al. Using geomorphological rules to classify photogrammetrically-derived digital elevation models. **Int. J. Remote Sens.** v. 24, n. 13, p. 2613-2626, 2003.

MORAN, C. J.; BUI, E. N. Spatial data mining for enhanced soil map modeling. **Int. J. Geographic Inf. Sci.** v. 16, p. 533-549, 2002.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: INPE, 2001.

MORSELLO, C. **Áreas protegidas públicas e privadas: seleção e manejo**. São Paulo: Annablume. FAPESP. 2001.

MOSELEY, J. J.; THELEN, K. D.; MILLER, K. R. **Planificación de parques nacionales: guía para la preparación de planes de manejo para parques nacionales**. Santiago: FAO, 1974.

MOORE, J.C. et al. **Modelling the spatial variability of hydrologic processes using GIS**. In: Hydrology and Water Resources Management: Proceedings Intern. Conference, Vienna, Austria, IAHS, p. 19-22, Wallingford: 1993.

MOURA, A. C. M. **Geoprocessamento na gestão e planejamento urbano**. Belo Horizonte: Ed. da autora, 2005.

MULLER, R. A. A synoptic climatology for environmental baseline analysis: New Orleans. **Journal of Applied Meteorology**, v. 16, p. 20-33, 1977.

NAESSET, E. Conditional Tau coefficient for assessment of producers accuracy of classified remotely sensed data. **ISPRS Journal of Photogrammetry**, v. 51, p. 91-98, 1996.

NAKAMURA, E. T.; QUEIROZ FILHO, A. P. Infraestrutura de dados espaciais: exemplo do Parque Estadual de Intervalos – SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 64, n. 3, p. 22-38, 2012.

NAVULUR, K. **Multispectral image analysis using the object-oriented paradigm**. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2006.

NEPOMUCENO, P. L. M. **Diagnóstico de Áreas de Preservação Permanentes com uso de SIG e Sensoriamento Remoto**. Monografia de Conclusão de Curso da Especialização em Geoprocessamento: UFPR, Curitiba, 2012a.

_____. Mapeamento das “Feições Mínimas” ou “Unidades Elementares do Relevo” com uso de Sistemas de Informações Geográficas. **Anais do IX Simpósio Nacional de geomorfologia**. Rio de Janeiro; SINAGEO, 2012b.

NEPOMUCENO, P. L. M.; LUCHIARI, A. Mapeamento Morfológico de Detalhe: Experiências para a integração entre técnicas de Fotointerpretação e Sistemas de Informações Geográficas no Município de Salesópolis-SP, In: **Revista do Departamento de Geografia – USP**, Volume 28, p. 198-220, 2014.

NOGUEIRA, J. D. de L.; AMARAL, R. F. do A. Comparação entre os métodos de interpolação (Krigagem e Topo to Raster) na elaboração da batimetria na área da folha Touros – RN. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, Natal. **Anais: INPE**, p. 4117-4123, 2009.

NOVACK, T. **Classificação da cobertura da terra e do uso do solo urbano utilizando o sistema InterIMAGE e imagens do sensor Quickbird**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2009.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda. 1. ed., 1988.

O'CALLAGHAN, J. F.; MARK, D. M. The extraction of drainage networks from digital elevation data. **Computer Vision. Graphics and Image Processing**. v. 28, p. 323-344, 1984.

OLSON, D. M.; DINERSTEIN E. **The Global 200: A representation approach to conserving the earth's most biologically valuable ecoregions**. Conservation Biology, 1998.

PADUA, M. T. J. **Unidades de conservação**: muito mais do que atos de criação e planos de manejo. In: *Unidades de Conservação: Atualidades e Tendências*, Miguel Sereduik Milano (org.) — Curitiba: Fundação O Boticário de Proteção à Natureza, 2002.

PAL, M., MATHER, P.M. **An assessment of the effectiveness of decision tree methods for land cover classification**. *Remote Sensing of Environment*, v. 86, n. 4, p. 554-565, 2003.

PANIZZA, M. **Geomorfologia Applicata. Metodi di applicazione alla Pianificazione territoriale e alla Valutazione d’Impatto Ambientale**. La Nuova Italia Scientifica, Roma, 1988.

PAO, Y. H. **Adaptive Pattern Recognition and Neural Networks**. New York: Addison-Wesley, 1989.

PARASHAR, S., LANGHAM, E., MCNALLY, J., AHMED, S. RADARSAT mission requirements and concepts. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 19 (4), 1993, p. 280– 288.

PARETA, K. **Morphometric Analysis of Dhasan River Basin, India, Uttar Bharat Bhoogol Patrika**, Gorakhpur, v. 39, p. 15-35, 2003.

PARETA, K. Quantitative morphometric analysis of a watershed of Yamuna basin, India using ASTER (DEM) data and GIS. **International Journal of Geomatics and Geosciences**, v. 2, p. 248-269, 2011.

PASZYŃSKI, J.; MIARA, K.; SKOCZEK, J. **Wymiana energii między atmosferą a podłożem jako podstawa kartowania topoklimatycznego**. Dokumentacja Geograficzna 14, Warszawa, 1999.

PEDRAS, L. R. V. A paisagem em Alexander von Humboldt: o modo descritivo dos quadros da natureza. In: **Revista USP**, São Paulo, n. 46, p. 97-114, 2000.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: Fundamentos e Aplicações Práticas**. Guaíba (RS): Livraria e Editora Agropecuária, 2002.

PEREIRA, G. S. **O plano de manejo e o seu uso como ferramenta de gestão dos Parques Nacionais do Estado do Rio de Janeiro**. 2009. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2009.

PÉRICO, E. et al. Análise fisiográfica da Bacia hidrográfica do rio Forqueta, RS. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15. 2011. **Anais...** Curitiba, p. 1200-1207, 2011.

PETROPOULOS, G. P.; KALAITZIDIS, C.; VADREVU, K. P. Support vector machines and object-based classification for obtaining land-use/cover cartography from Hyperion hyperspectral imagery. **Computers and Geosciences**, v. 41, p. 99-107, 2012.

PINTY, B.; VERSTRATE M. M. **A non-linear index to monitor global vegetation from satellites**, 1992.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos-SP. Editora Parêntese, 2009.

POWERS, R. P. et al. Remote sensing and object-based techniques for mapping fine-scale industrial disturbances. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 34, p. 51-57, 2015.

PRIMA, O. D. A. et al. Supervised landform classification of Northeast Honshu from DEM-derived thematic maps. **Geomorphology**, v. 78, n. 3-4, p. 373-386, 2006.

QUINTÃO, A. T. B. Evolução do conceito de Parques Nacionais e sua relação com o processo de desenvolvimento. **Brasil Florestal**. Brasília, n. 54, p. 13 a 28. Abril-junho, 1983.

RADOSZ J.; CAPUTA Z.; KAMIŃSKI A. Changes of Jastrzębie Zdrój topoclimate during periods of economic transformation. **Geographical Information Systems in Research & Practice**, Zagreb, p. 149-156, Croatia: 2004.

RAFFO, J. G.G. Técnicas de Localização e Georreferenciamento. In: VENTURI, L. A. B. (Org.) **Geografia: Práticas de Campo e de Laboratório**. São Paulo: Editora Sarandi, 2011. p. 255-270.

RAHMAN, M. R., SHI, Z. H.; CHONGFA, C. Soil erosion hazard evaluation—An integrated use of remote sensing GIS and statistical approaches with biophysical parameters towards management strategies. **Ecol. Model.** v. 220, p. 1724-1734, 2009.

RAMU, B.; MAHALINGAM, B.; JAYASHREE P. Morphometric analysis of Tungabhadra drainage basin in Karnataka using GIS. **journal of Engineering, Computers e Applied Science**, v. 2, n. 7, 2013.

RAO, L. A. K. et al. Hydrogeomorphological Studies for ground water prospect using IRS 1D LISS-III image, in parts of Agra district along the Yamuna River. **Jour. Environ. Res. Develop.**, v. 3, n. 4, p.1204-1210, 2009.

REIS, M. H.; et al. Espacialização de dados de precipitação e avaliação de interpoladores para projetos de drenagem agrícola no estado de Goiás e Distrito Federal. In: **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, 2005.

RIBEIRO, A. G. As escalas do clima. Rio Claro. **Boletim de Geografia Teorética**, v. 23, p.288-294, 1992.

RICHARDS, J.A. **Remote sensing digital image analysis**: An introduction. Berlin: Springer-Verlag, 1986.

RICHARDSON, A.J.; C.L., WIEGAND. **Distinguishing vegetation from soil background information**: Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 1977.

RIETZ, G. E. Vegetation analysis in relation to homogeneousness and size of sample areas. In: **CONGRÈS INTERNATIONAL DE BOTANIQUE**, v. 8, 1954, Paris. Comptes rendus des séances et rapports et communications déposés lors du congrès. Paris, 1954. Seção 7-8.

ROB, P.; CORONEL, C. **Sistemas de Banco de Dados** - Projeto, Implementação e Administração. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

RODRIGUES, M. Geoprocessamento: Um Retrato Atual. **Revista Fator GIS**, ano 1, n.2, p. 20-23. Curitiba: Sagres, 1993.

RODRIGUES, C. Efeitos da Urbanização em Sistemas Geomorfológicos. O Exemplo de São Paulo - Brasil. In: X Encontro de Geógrafos da América Latina, 2005, São Paulo. **Anais do X Encontro de Geógrafos da América Latina**, 2005.

ROSA, R. Análise Espacial em Geografia. **Revista da ANPEGE**, v. 7, n. 1, número especial, p. 275-289, 2011.

ROSA, R. Geotecnologias na Geografia Aplicada. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 16, p. 81-90, 2005. Disponível em: <<http://www.cchla.ufrn.br/geoesp/arquivos/artigos/ArtigoAmbienteGeotecnologias.pdf>> Acesso em: Mai. 2013.

_____. **Introdução ao sensoriamento remoto**. Uberlândia: Ed. UFU, 2007.

ROSE, J.; SMITH, M. J. Glacial geomorphological maps of the Glasgow region, western central Scotland. *Journal of Maps*, p. 399-416, 2008.

ROSS, J. L. S. Registro Cartográfico dos Fatos Geomorfológicos e a questão da Taxonomia do Relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, n.6, p.17-29, 1992.

_____. Análise Empírica da Fragilidade dos Ambientes Naturais e Antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, n.8, FFLCH-USP, São Paulo, 1994.

_____. **Ecogeografia do Brasil: subsídios para o planejamento ambiental**. São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo**. São Paulo, SP: FFLCH/USP e IPT/FAPESP, 1997.

ROUSE, J. W. et al. **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. Third ERTS Symposium, NASA, 1973.

RUMBAUGH, J. et al. **Object-Oriented Modeling and Design**. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1991.

RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I.; BOOCH, G. **The Unified Modeling Language Reference Manual**. Reading, MA: Addison-Wesley, 2004.

SAADAT, H. et al. Land use and land cover classification over a large area in Iran based on single date analysis of satellite imagery. **ISPRS J. Photogrammetry Remote Sensing**, v. 66, p. 608-619, 2011.

SALINAS, E. C. **Análisis y evaluación de los paisajes en la planificación regional de Cuba**. Tesis (Doctorado en Ciencias Geográficas) - Facultad de Geografía, Universidad de la Habana, Cuba, 1991.

- SALINAS, E. C.; FERNANDES, J. Q. **Paisajes y ordenamiento territorial**: obtención del mapa de paisajes del estado de Hidalgo en México a escala media con el apoyo de los SIG. Alquiya. **Revista de Investigación del Bajo Segura**, n. 7, p. 517-527, 2001.
- SALOMÉ, A. I.; DORSSER, H. J. V.; RIEFF, P. H. L. A comparison of geomorphological mapping systems. **ITC Journal**, v. 3, p. 272-274, 1982.
- SAMIZAVA, T. M. et al. SIG aplicado à escolha de áreas potenciais para instalação de aterros sanitários no município de Presidente Prudente – SP. In: **PLURIS** - 2º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento, Urbano, Regional, Integrado, Sustentável. Braga. p. 1-12, 2008.
- SAMPAIO, E. P. M. **Noções básicas de detecção Remota, fotogrametria e fotointerpretação em pedologia**. São Paulo: Évora, 2007.
- SANDELOWSKI M; BARROSO J. **Handbook for synthesizing qualitative research**. New York: Springer; 2007.
- SANDELOWSKI, M.; VOILS, C. I.; BARROSO, J. Defining and designing mixed research synthesis studies. **Research in the Schools**, v. 13, n. 1, p. 29-40, 2006.
- SANTIAGO, A. R. et al. Proposta Metodológica para o Mapeamento da Vegetação brasileira utilizando o modelo linear de mistura spectral. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 66, n. 3, p. 681-690, 2014.
- SANTOS, D. R. **Automação da resseção espacial de imagens com uso de hipóteses de rodovias como apoio de campo derivadas do sistema de varredura laser**. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- SANTOS, R. F. **Planejamento ambiental: teoria e prática**. Editora Oficina de Textos. 3º edição. São Paulo, 2009.
- SAVIGEAR, R.A.G. **A technique of morphological mapping**. University of Sheffield, England, 1965.
- SHARMA, K. M. S.; SARKAR, A. Modified contextual classification technique for remote sensing data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 64, p. 273-280, 1998.

SCHMIDT, F. M.; FERGUSON. J. H. A. **Rainfall types based on wet and dry ratios for Indonesia**. Djawatan Meteorologi dan Geofisika, Verhandelingen 42, Jakarta, 1951.

SCHMITZ, L. K. **Geotecnologias Aplicadas ao SIG**. Apostila do Curso de Especialização em Geoprocessamento. Curitiba: UFPR, 2010.

SCHLUTER, D.; RICKLEFS, R. E. Convergence and the regional component of species diversity. In: Ricklefs, R.E. & Schluter, D. (Ed.). **Species Diversity in Ecological Communities: Historical and Geographical Perspectives**. University of Chicago Press, Chicago.1993, p. 230-242.

SCHNEEVOIGT, N. J. et al. Detecting Alpine landforms from remotely sensed imagery: A pilot study in the Bavarian **Alps**. **Geomorphology**, v. 93, p. 104-119, 2008.

SCHNEIDER P. R.; FINGER, C. A. G. **Manejo sustentado de floresta inequidêneas heterogêneas**. Santa Maria: UFMS; 2000.

SCHÖPFER, E.; LANG, S.; ALBRECHT, F. **Object-fate analysis: Spatial relationships for the assessment of object transition and correspondence, Object-Based Image Analysis: Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications** (T. Blaschke, S. Lang and G. J. Hay, editors). Springer, Berlin, p. 785-801, 2008.

SEABRA, V. S.; CRUZ, C. B. M. Mapeamento da Dinâmica da Cobertura e Uso da Terra na Bacia Hidrográfica do Rio São João, RJ. **Soc. & Nat.**, Uberlândia, v. 25, n. 2, p. 411-426, 2013.

SECRETARIA DE ESTADO DO MEIO AMBIENTE (SMA). **Inventário florestal da vegetação natural do estado de São Paulo**. Imprensa Oficial do Estado SP (Atlas), São Paulo, 2005.

_____. **Inventário florestal do estado de São Paulo**. Imprensa Oficial do Estado SP, São Paulo, 2010.

_____. **Cessão de Uso de Imagens** Coordenadoria de Planejamento Ambiental, São Paulo, 2014. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/cpla/cessao-de-uso-de-imagens/> Acesso em: Janeiro de 2014.

SEIJMONSBERGEN, A. C. et al. **Semi-automated identification and extraction of geomorphological features using digital elevation data**, Geomorphological Mapping, Elsevier, Amsterdam 2011, p. 297-335.

SELLARS, R. W. **Preserving Nature in the National Parks: A History**. New Haven, Conn.: Yale University Press, 1997.

SENTELHAS, P. C., PEREIRA, A. R., ANGELOCCI, L. R. **Meteorologia agrícola**, 3ª edição, Piracicaba: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2000.

SERAFINI JR, S. **Delimitação de unidades climáticas locais no Parque Nacional Cavernas do Peruaçu**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Geografia Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, 2005.

SERAFINI JR, S. **O Microclima de uma Vereda Degradada: Estudo de Caso no Parque Estadual Veredas do Peruaçu – MG**. Tese (Doutorado) - Programa de Pósgraduação em Geografia Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

SERAFINI, S. J. et al. Adequação da Escala Climatológica para Planos de Manejos: o Parque Estadual de Intervales como estudo de caso. **Revista Geografia Ensino e Pesquisa**. ISSN 0103-1538. São Paulo: FFLCH-USP, 2008.

SHEEREN, D.; RIBIERE, O.; RAYNAUD, B. **Assessing land cover changes in the French Pyrenees since the 1940s: a semiautomatic GEOBIA approach using aerial photographs**, Proceedings of the AGILE' 2012 conference, 23-27 April 2011, Avignon, France. Disponível em:

<http://w3.geode.univtlse2.fr/permanents/houet/Sheeren_al_100_Poster_ISBN_AGILE2012.pdf> Acesso em: Mai. 2014.

SHRESTHA, D. P.; ZINCK J. A. Land use classification in mountainous areas: integration of image processing, digital elevation data and field knowledge (application to Nepal). **Int J Appl Earth Obs and Geoinf**, p. 78-85, 2011.

SIART, C.; BUBENZER, O.; EITEL, B. Combining digital elevation data (SRTM/ASTER), high resolution satellite imagery (Quickbird) and GIS for geomorphological mapping: A multi-component case study on Mediterranean karst in Central Crete. **Geomorphology**, v. 112, n. 1-2, p. 106-121, 2009.

SILVEIRA, C. T. **Análise digital do relevo na predição de unidades preliminares de mapeamento de solos**: integração de atributos topográficos em sistemas de informações geográficas e redes neurais artificiais. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

SIQUEIRA, G. M. et al. **Zoneamento de Parâmetros Climáticos no Estado de São Paulo (Brasil) Utilizando Técnicas de Geoestatística**. *Revista Brasileira de Geografia Física*, p. 612-629, São Paulo, 2012.

SIRTOLI, A. E. et al. Atributos do relevo derivados de modelo digital de elevação e suas relações com solos. *Scientia agraria*, v. 9, n. 3, p. 317-329, 2008.

SLUITER, R. **Mediterranean land cover change**: modelling and monitoring natural vegetation using GIS and remote sensing. *Nederlandse Geografische Stud* 333: p. 117-144, 2005.

SOARES, M. B.; MACIEL, F. P. **Alfabetização**. Brasília: MEC; Inep; Comped, 2000.

SOARES-FILHO, B. S.; CERQUEIRA, G. C. Geoprocessamento aplicado à avaliação ambiental de grandes empreendimentos: o uso de modelos de simulação computacional. VIII Simpósio de Geografia Física Aplicada. **Anais do VIII Simpósio de Geografia Física Aplicada**. SBGF, Belo Horizonte, MG, 24 a 31 de outubro de 1999.

SOARES-NETO, G. B. **Método de classificação semiautomático das unidades básicas de relevo em regiões tropicais**. Tese (Doutorado em Geociências Aplicadas) — Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

SOHN, Y; REBELLO, N. S. Supervised and unsupervised spectral angle classifiers. *Photogramm. Eng Remote Sens*, v. 68, p. 1271-1280, 2002.

SORRE, M. Introduction-Livre Premier: Climatophysique e Climatochimie. In: PIERRY (Org.). **Traité de Climatologie Biologique et Médicale**. Tomo I, 1934, p. 1-9.

SOUSA, G. M.; SANTOS, F. V.; FERNANDES, M. C. Mapeamento da cobertura da terra da APA Petrópolis/RJ utilizando análise baseada em objeto no sistema InterIMAGE. **Revista Brasileira de Cartografia – RBC**, v. 64, n. 4, p. 517-530, 2012.

SOUSA, G. M.; FERNANDES, M. C.; COSTA, G. A. O. P. Classificação da Susceptibilidade à Ocorrência de Incêndios Através de Mineração de Dados e GEOBIA. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 67/3, p. 555-567, 2015.

SPILKER, J. J. **GPS signal structure and theoretical performance**. In: PARKINSON BW; SPILKER, J. J. (Ed.): *Global Positioning System: theory and applications*, 1996.

STAR, J.; ESTES, J. **Geographical Information Systems: An Introduction**. Englewoods Cliffs, New Jersey, Prentice Hall, 1990.

STEELE, B. M. **Combining multiple classifiers**: An application using spatial and remotely sensed information for land cover type mapping, *Remote Sensing of Environment*, v. 74, p. 545-556, 2000.

STEHMAN, S. V. Comparison of systematic and random sampling for estimating the accuracy of maps generated from remotely sensed data. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, v. 58, n. 9, p. 1343–1350, 1992.

STORE, R.; KANGAS, J. Integrating spatial multi-criteria evaluation and expert knowledge for GIS-based habit suitability modeling. **Landscape and Urban Planning**. v. 55, p.79-93, 2001.

STOUTJESDIJK, P. H.; BARKMAN, J. J. **Microclimate, Vegetation and Fauna**: the microclimate of forests. Knivsta, Sweden: Opulus Press, 1992.

STOW, D.; TOURÉ, S.I.; LIPPITT, C.D.; LIPPITT, C.L.; LEE, C. Frequency distribution signatures and classification of within-object pixels. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 15, p. 49-56, 2012.

STRAHLER, A. N. **Quantitative analysis of watershed geomorphology**. New Halen: Transactions: American Geophysical Union 38:1957, p. 913-920.

STRAHLER, A.N. **Physical Geography** , 3rd edition, Wiley, New York, USA, 1969.

STROBL, J. Datenmanipulation und Datenanalyse. In: KILCHENMANN, A. (Hrsg.), **Technologie Geographischer Informationssysteme**, Berlin u. a., Springer, 1992, p. 47-56.

STUART, N.; BARRATT, T.; PLACE, C. Classifying the neotropical savannas of Belize using remote sensing and ground survey. **J Biogeogr** 33, p. 476-90, 2006.

STUCKENS, J.; COPPIN, P. R.; BAUER, M. E. Integrating contextual information with per-pixel classification for improved land cover classification. **Remote Sensing of Environment**, v. 71, p. 282-296, 2000.

SZUSTER, B. W.; CHEN, Q.; BORGER, M. A comparison of classification techniques to support land cover and landuse analysis in tropical coastal zones. **Applied Geography**, v. 31, p. 525-532, 2011.

TAGIL, S.; JENNESS, J. GIS-Based automatic landform classification and topographic, landcover and geologic attributes of landforms around the Yazoren Polje, Turkey. **Journal of Applied Sciences**, v. 8, n. 6, 2008.

TAGLIANI, C. R. A. **Técnica para avaliação da vulnerabilidade ambiental de ambientes costeiros utilizando um sistema geográfico de informações**. Curitiba: FatorGIS, 2002. p. 12-22.

TANSEY, K. J. et al. Classification of forest volume resources using ERS tandem coherence and JERS backscatter data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, p. 751-768, 2004.

TARIFA, J. R. Unidades Climáticas dos Maciços Litorâneos da Juréia-Itatins. In: OTÁVIO, A. V.. MARQUES; Duleba W. (Org.). **Estação Ecológica Juréia-Itatins - Ambiente Físico, Flora e Fauna**. 1. ed. p. 42-50, Ribeirão Preto: Holos. 2004, v. 1.

TARIFA, J. R., ARMANI, G. **Atlas Ambiental do Município de São Paulo – Clima Urbano**. São Paulo – SP. São Paulo: Prefeitura do Município de São Paulo/ FAPESP, 2004. Disponível em: <http://atlasambiental.prefeitura.sp.gov.br/pagina.php?id=21>. Acesso em: 15 Mai. 2014.

TAYLOR, D. R. F. **Geographic Information System: the microcomputer and modern cartography**. Oxford, UK: Elsevier, 1991.

TEN-CATEN, A. et al. Mapeamento digital: probabilidade associada à distribuição espacial de classes de solos. **Revista Geomática**, v. 4, n. 2, p.87-97, 2009. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/rgeomatica/page4/08.pdf>. Acesso em: 19 Dez. 2011.

TERJUNG, W.H. Physiological climates of the conterminous united state. **Anais Assoc. Amer. Geógrafis**, n. 56, p.141-179, 1996.

- THAPA, K.; BOSSLER, D. J. **Accuracy of Spatial Data Used in Geographic Information Systems**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v. 58, n. 6, p. 835-841, 1992.
- THENKABAIL, P. S.; LYON, G. J.; HUETE, A. **Hyperspectral Remote Sensing of Vegetation**. CRC Taylor and Francis, New York, 2011.
- THORNTHWAITE, C. W. An approach towards a rational classification of climate. **Geographical Review**, London, v. 38, p. 55-94, 1948.
- THORNTHWAITE C. W. **Topoclimatology**. Proceedings of the Toronto Meteorologica, Conference: 1953, p. 227-232.
- THORNTHWAITE C. W. Introduction a la climatologie de la zone aride. In: **Climatology and microclimatology**. Proceedings of the Canberra Symposium, Arid Zone Research, XI, UNESCO: 1958, p. 23-31.
- THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The Water Balance**. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology (Publications in Climatology, v. 8, n.1), 1955.
- TZOTSOS, A.; ARGIALAS, D. Support Vector Machine classification for object-based image analysis. In: BLASCHKE, T., LANG, S., HAY, G. J. (Ed.). **Object-Based Image Analysis**. Berlin Heidelberg, p. 663-678, 2008.
- TOMLIN, D. **Geographic information Systems and Cartographic Modeling**. Prentice Hall, New York, 1990.
- TOUTIN, T.; GRAY, A. L. State-of-the-art of extraction of elevation data using satellite SAR data. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 55, n. 1, p. 13-33, 2000.
- TRICART, J. **Principes et méthodes de geomorphologie**. Paris: Masson Ed., 1965.
- TRICART, J. **The Landforms of the Humid Tropics: Forests and Savannas** Longman, London, 1972.
- TROLL, C.; PAFFEN, K. H. **Jahreszeitenklima der Erde**. In: LANDSBERG, H. E. et al. Weltkarten zur Klimakunde. Berlin: Springer, 1963.
- TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE, 1977.

TOOKE, T. R. et al. Extracting urban vegetation characteristics using spectral mixture analysis and decision tree classifications. **Remote Sensing of Environment**, v. 113, p. 398-407, 2009.

UNESCO. **Reserva da Biosfera da Mata Atlântica – Fase VI**: Revisão e atualização dos limites e zoneamento da reserva da biosfera da mata atlântica em base cartográfica digitalizada, São Paulo; 2009.

VARSHNEY, P.K., et al. Decision tree regression for soft classification of remote sensing data. **Remote Sens Environ**, v. 117, p. 322-336, 2012.

VARSHNEY, P.K.; ARORA, M.K. **Advanced Image Processing Techniques for Remotely Sensed Hyperspectral Data**. Berlin, Germany: Springer; 2014.

VALLEJO, L. R. **Unidades de Conservação: uma Discussão Teórica à Luz dos Conceitos de Território e de Políticas Públicas**. Rio de Janeiro: Dept. de Geografia da UFF, 2010. p. 20.

VALENZUELA, C.R. **Remote Sensing and geographical information systems for resource management in developing countries**. Euro Courses: Remote Sensing, Amsterdam, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, vol. 1, 1991.

VALERIANO, M. M. Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande**, v. 7, n. 3, p. 539-546, 2003.

VALERIANO, M. M. **Topodata: guia para utilização de dados geomorfométricos locais**. São José dos Campos, SP: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais, 2008.

VALERIANO, M. M.; ALBUQUERQUE, P. C. G. **Topodata: Processamento dos dados SRTM**. São José dos Campos, SP: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais, 2010.

VAN ZUIDAM, R. A. Considerations on systematic medium scale geomorphological mapping. **Zeitschrift fur Geomorphologie**, Berlin-Stuttgart, v. 26, n. 4, p. 473-480, 1982.

VANZOLINI, P. **Paleoclimates, relief, and species multiplication in tropical forests.** In: Tropical Forest Ecosystems in Africa and South America: a Comparative Review (eds. Meggers, B.J., Ayensu, E.S. and Duckworth, W.D.), Smithsonian Inst. Press, Washington; 1973, p. 255-258.

VASSILOPOULOU, S. et al. Orthophoto Generation Using Ikonos Imagery and High Resolution DEM: a case study on monitoring of volcanic hazard on Nisyros island (Greece). **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 57, 2002.

VATSAVAI, R. R.; SHEKHAR, S. **An Efficient Hybrid Classification System for Mining Multi-spectral Remote Sensing Imagery Guided by Spatial Database**, 2002. Disponível em: <<http://www-users.cs.umn.edu/~vatsavai/papers/prrs02f-vatsavai.ps>> Acesso em: 21 Abr. 2012.

VELOSO, H. P. Contribuição à fitogeografia do Brasil: a flora através dos tempos. **Anuário Brasileiro de Economia Florestal**, Rio de Janeiro: Instituto Nacional do Pinho - INP, ano 16, 1964, p. 19-42.

VELOSO, H. P. et al. **Vegetação:** as regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos: estudo fitogeográfico. In: FOLHA NA.20 Boa Vista e parte das folhas NA.21 Tumucumaque, NB.20 Roraima e NB.21. Rio de Janeiro: Projeto Radambrasil, p. 307-403, 1975. Cap. 4.

VELOSO, H. P.; GÓES-FILHO, L. **Fitogeografia brasileira: classificação fisionômicoecológica da vegetação neotropical.** Salvador: Projeto Radambrasil, 1982. p. 86. (Boletim técnico. Vegetação, n. 1).

VETTORAZZI, C. A. **Avaliação multicritérios, em ambiente SIG, na definição de áreas prioritárias à restauração florestal visando à conservação de recursos hídricos.** Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” USP, Piracicaba, 2006. 151 p.

VETTORAZZI, C. A.; FERRAZ, S. F. B.; VALENTE, R. O. A. **Monitoramento de risco de incêndios florestais com auxílio de sistemas de informações geográficas.** In: SEAB. Sensoriamento remoto e SIG aplicados ao planejamento ambiental. Botucatu: FCA/UNESP, p. 45-48, 1999.

VETTORAZZI, C. A.; VALENTE, R. O. A.; BALLESTER, M.V. R. Forest fire hazard mapping in a GIS environment for a river basin in the state of São Paulo, Brazil. In: **International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry**, 2, Lake Buena Vista, Proceedings. Ann Arbor: ERIM International, p.10-12, 2000. v. 1.

VERSTAPPEN, H.TH. **Introduction to the ITC system of geomorphological survey**. Koninklijk Nederlands Aardijkkundig Genootschap, Geografisch Nieuwe Reeks, 4.1, p. 85-91, 1970.

VERSTAPPEN, H. T. H.; VAN ZUIDAM, R. A. **ITC textbook of PhotoInterpretation**, VII: 2 – ITC system of geomorphological survey. ITC, Delft, The Netherlands, 1968.

VIEIRA, B. C. **Previsão de escorregamentos Translacionais rasos na Serra do Mar, (SP), a partir de modelos matemáticos em base física**. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós Graduação em Geografia, Rio de Janeiro, 2007.

VIEIRA, M. A. et al. Object Based Image Analysis and Data Mining to a remotely sensed Landsat time-series to map sugarcane over large areas. **Remote Sensing of Environment**, v. 123, p. 553-562, 2012.

VICTOR, M. A. M. et al. **Cem anos de devastação: revisitada 30 anos depois**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2005.

VOOGD, H. **Multicriteria evaluation for urban and regional planning**. London: Pion, 1983.

WADDINGTON, H. et al. **How to do a good systematic review of effects in international development: a tool kit**. J Dev Eff 4, p. 359-387, 2012.

WAND, Y. A proposal for a formal model of objects. In: **Object-oriented concepts, databases, and applications**, ed. W. Kim and F. H. Lochovsky, New York: ACM Press, p. 537-559, 1989.

WANG, Q.; TENHUNEN, J. Vegetation mapping with multitemporal NDVI in North Eastern China Transect (NECT). **Int J Appl Earth Obs Geoinf**, v. 6, p. 17-31, 2004.

WANGENHEIM, C., KOCHANSKI, D.; SAVI, R., 2009. Revisão Sistemática sobre Avaliação de Jogos Voltados para Aprendizagem de Engenharia de Software no Brasil. In: **II FEES**, SBES, Fortaleza, Brasil, p. 41-48, 2009.

WATTS, A. C.; AMBROSIA, V. G.; HINKLEY, E. A. Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: Classification and considerations of use, *Remote Sensing* 4, p. 1671-1692, 2012.

WEBER, D. D., ENGLUND, E. J. Evaluation and comparison of spatial interpolators. *Mathematical Geology*, v. 26, p. 589-603, 1994.

WEIDNER, U. **Contribution to the assessment of segmentation quality for remote sensing applications**, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVII, Part B7, p. 479-484, Beijing, 2008.

WELCH, R. et al. ASTER as a source for topographic data in the late 1990's. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, v. 36, n. 4, p. 1282-1289, 1998.

WEHR A., LOHR U. Airborne laser scanning – An introduction and overview. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, v. 54, p. 68-82, 1999.

WEŻYK, P. et al. Aaktualizacja Mapy Glebowo-Rolniczej z Wykorzystaniem Klasyfikacji Obiektowej (OBIA) Zobrazowań Teledetekcyjnych Oraz Analiz Przestrzennych GIS. In: *Archiwum Fotogrametrii, Kartografii i Teledetekcji*, v. 23, p. 477-488, 2012.

WHITE S. A.; WANG Y. Utilizing DEMs derived from LIDAR data to analyze morphologic change in the North Carolina coastline. *Remote Sensing of Environment*, v. 85, n. 1, p. 39-47, 2003.

WHITESIDE, T.G.; BARTOLO, R.E. Mapping Aquatic Vegetation in a Tropical Wetland Using High Spatial Resolution Multispectral Satellite Imagery. *International Journal Remote Sensing* 7, 2015, p. 11664-11694.

WHITESIDE, T. G.; MAIER, S. W.; BOGGS, G. S. Area-based and location-based validation of classified image objects. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 28, 2012, p. 117-130.

WIGGERS, K. L.; RIBEIRO, S. R. A. Validação da classificação do uso e cobertura da terra mediante visita “in loco” e imagem de VANT. **Anais do X Congresso Brasileiro de Agroinformática**, 21 a 23 de outubro de 2013.

WILSON, E.O.; PETER, F.M. **Biodiversity**. Washington: National Academy Press, 1988.

WISCHMEIER, W. H.; SMITH, D. D. **Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning**. USDA, Washington, 1978.

WITTEN, I. H.; FRANK, E.; HALL, M. A. **Data mining: practical machine learning tools and techniques**. Burlington: Morgan Kaufmann Publishers, 2011.

WOLF, P. R., DEWITT, B. A.: **Elements of Photogrammetry with Applications in GIS**, McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 2000.

WOLLMANN, C. A.; SIMIONI, J. P. D. Variabilidade espacial dos atributos climáticos na Estação Ecológica do Taim (RS), sob domínio polar. **Revista do Departamento de Geografia – USP**. São Paulo, v. 25, n.1, p. 56-76, jun. 2013.

WOLLMANN, C. A.; SIMIONI, J. P. D.; LENSSE, A. C. **Atlas climático da Estação Ecológica do Taim**: Contribuição ao estudo do clima em unidades de conservação no Rio Grande do Sul. Instituto Chico Mendes e FAPRGS, 2015.

WWF-BRASIL. **Unidades de Conservação**: conservando a vida, os bens e os serviços ambientais. São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.amane.org.br/download/unidades.pdf>> Acesso em: 21 Nov. 2012.

XAVIER, A. C. et al. Multi-temporal analysis of MODIS data to classify sugarcane crop. **Int J Remote Sens**, v. 27, p. 755-68, 2006.

XAVIER-DA-SILVA, J. Digital model of the environment: An Effective Approach to Areal Analysis. In: **Latin American Conference**, Rio de Janeiro, 1982.

XAVIER-DA-SILVA, J. Metodologia de Geoprocessamento. In: **Revista de Pós-graduação em Geografia**, v.1. Rio de Janeiro: UFRJ/PPGG, 1997.

XAVIER-DA-SILVA, J. **Geoprocessamento para Análise Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001.

XAVIER-DA-SILVA, J.; CARVALHO-FILHO, L. M. Sistema de Informação Geográfica: uma proposta metodológica. **IV Conferência Latinoamericana sobre Sistemas de Informação Geográfica e II Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento**. São Paulo: EDUSP, 1993.

XU, B.; GONG, P.; SETO, E.; SPEAR, R. Comparison of gray-level reduction and different texture spectrum encoding methods for land-use classification using a panchromatic IKONOS image. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 69, p. 529-536, 2003.

XU, M.; WATANACHATURAPORN, P.; VARSHNEY, P. K. Decision tree regression for soft classification of remote sensing data. **Remote Sens Environ**, v. 97, p. 322-336, 2005.

YAN, G. et al. Comparison of pixel based and object oriented image classification approaches: a case study in a coal fire area, Wuda, Inner Mongolia, China. **International Journal of Remote Sensing**, v.27, p. 4039-4055, 2006.

YOUNG, A. Slope Profile Analysis. **Zeitschrift fur Geomorphologie**, Supplementband 5:17-27, 1964.

ZADEH, L. H. Fuzzy sets. **Information and Control**, v. 8, p. 438-353, 1965.

ZELLER, R. H. **Aplicabilidade dos Planos de manejo de oito parques nacionais do sul e sudeste do Brasil**. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal) Curitiba: UFPR. 2008.

ZHAN, Q. et al. Quality assessment for geo-spatial objects derived from remotely sensed data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 26, n. 14, p. 2953-2974, 2005.

ZHANG, Y. Understanding image fusion. **Photogramm Eng Remote Sens.**, v. 70, p. 657-661, 2004.

ZHONG, C. et al. **Multi-scale segmentation of the high resolution remote sensing image**, 2005. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org>. Acesso em: Mai. 2012.

ZHU, A. X.; DALE, A. P. A Web-based decision analysis tool for natural resource and environmental management. **Environmental Modelling and Software**, JavaHP, v. 16, n. 3, p. 251-262, 2001.

ZHU, A.X. et al. Soil mapping using GIS, expert knowledge and fuzzy logic. **Soil Sci. Soc. America J.**, v. 65, p. 1463-1472, 2001.

ZHU, L.; TATEISHI, R. Fusion of multisensor multitemporal satellite data for land cover mapping. **Int J Remote Sens**, v. 27, p. 903-18, 2006.