

SENSORES REMOTOS, ESCALAS GEOGRÁFICAS E ANÁLISES ESPACIAIS ORIENTADOS A PLANEJAMENTOS AMBIENTAIS EM ÁREAS FLORESTAIS*

Bernadete da Conceição Carvalho Gomes PEDREIRA**
Rozely Ferreira dos SANTOS***

RESUMO

Em planejamento ambiental é comum adotar-se a análise espacial como estratégia metodológica mais adequada. No entanto, a escolha correta da escala de trabalho é uma dificuldade comumente encontrada pelo planejador, devido principalmente à carência de trabalhos que abordem discussões sobre esse assunto. Com frequência, ocorrem dúvidas quanto ao nível de detalhe necessário para o mapeamento, a escala que melhor defina alternativas viáveis e implementáveis, ou a relação ideal entre método de análise e escala. Assim, este estudo teve por objetivo contribuir para a solução destas questões, comparando os resultados obtidos por meio do uso de dois sensores, quatro escalas e duas estratégias de análise de paisagem. A vegetação natural (Mata Atlântica) foi escolhida como alvo principal de mapeamento porque é um dos principais indicadores para o planejamento das condições naturais do território e das influências antrópicas recebidas. Os dados obtidos através dos mapeamentos foram quantificados e comparados por meio da integração de dados via sistema de informações geográficas - IDRISI for Windows, e pela aplicação do coeficiente Kappa e matriz de confusão.

Palavras-chave: planejamento; sensoriamento remoto; escala espacial; estudo da paisagem.

1 INTRODUÇÃO

Para planejamento e gestão ambiental é comum avaliar espacialmente o território, de forma a sistematizar e integrar mais facilmente um banco de dados, além de reduzir custos. No entanto, a escolha da escala mais adequada para a realização do trabalho torna-se uma tarefa difícil para o planejador. De acordo com Turner *et al.* (1989) a escala refere-se à dimensão temporal ou espacial dos dados, e deve ser adequada ao fenômeno de interesse.

De maneira geral, a escolha das escalas dos mapas é realizada, simplesmente, de forma intuitiva, obedecendo ao “bom senso” do planejador e sua equipe multidisciplinar. Há ainda o complicador,

ABSTRACT

In environmental planning, spatial analysis is adopted as the most appropriate methodological strategy. The cartographic scale selection is a common difficulty found by the environmental planner, due to the lack of studies that discuss this matter. Usually, there are doubts referring to the detail level necessary for the mapping, the scale that can offer the best possibility to define viable and implementable alternatives, and the ideal relation between analysis method and scale. Therefore, this study had as objective to contribute to the solution of these questions, through the comparison among two remote sensors, four scales and two strategies of spatial analysis: traditional mapping and landscapes assessment. The theme vegetation (Atlantic Forest) was selected because it is one of the most discussed matters in environmental planning, besides to be one of the main indicators of the territory natural conditions and anthropic influences. The spatial data obtained through these mappings were quantified and compared by the integration in a GIS - Geographic Information System/IDRISI for Windows, and by Kappa coefficient and confusion matrix.

Key words: planning; remote sensing; spatial scale; landscape assessment.

no caso de países não desenvolvidos, como o Brasil, da falta de um bom banco digital de dados cartográficos. Assim, muitas vezes, o planejador tem que usar escalas “não ideais” em seus trabalhos, pois são as únicas disponíveis. Com frequência, os membros da equipe de planejamento trabalham com escalas diversas e a escolha da representação espacial final gera conflitos, ocorrendo dúvidas quanto ao nível de detalhe necessário para o mapeamento, a relação ideal entre método de análise e escala, a escala que melhor defina alternativas viáveis e implementáveis e, ainda, quanto ao tempo e custo ideais despendidos no mapeamento, processamento e análise das informações especializadas (Santos & Pivello, 1997).

(*) Aceito para publicação em agosto de 2003. (Apoio CNPq).

(**) Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Cidade Universitária “Zeferino Vaz”, Caixa Postal 6011, 13083-875, Campinas, SP, Brasil. E-mail: pedreira@agr.unicamp.br

(***) Faculdade de Engenharia Civil, Departamento de Saneamento e Ambiente, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Cidade Universitária “Zeferino Vaz”, Distrito de Barão Geraldo, Caixa Postal 6021, 13083-970, Campinas, SP, Brasil. E-mail: roze@fec.unicamp.br

Numa determinada seleção de escala pode-se estar, muitas vezes, perdendo informações importantes, utilizando um mapa pouco detalhado ou, ao contrário, detalhando demasiadamente um mapa que, em seguida, será reduzido, agrupando ou mesmo perdendo as informações que já foram levantadas (Ranieri, 1996). Independentemente da complexidade do meio estudado, é desejável que uma área seja mapeada tão rápido quanto possível, e no nível de detalhe exigido pelos objetivos iniciais do planejamento. Muitas vezes, a própria subjetividade do mapeamento pode ser minimizada com o estudo da relação custo/benefício na utilização de escalas mais ou menos detalhadas.

Segundo Bouma (1989) e Girardi (2001), a escolha da escala deve levar em consideração tanto os objetivos propostos, como o grau de detalhamento desejado para os resultados. Esta é uma questão primordial para o planejamento ambiental: que tipo de respostas é necessário para poder se definir metas, programas e planos viáveis e implementáveis.

Na realidade, o ponto fundamental é que não existe uma escala única correta para descrever populações, ecossistemas ou paisagens; o que não significa, entretanto, que não haja regras gerais quanto à escala, mas sim que elas devem ser avaliadas com muito cuidado. Estas questões devem ser muito bem analisadas em relação a mapeamentos de cobertura vegetal pois, entre os diversos temas abordados em trabalhos de planejamento ambiental, ela é considerada um dos mais importantes indicadores para a elaboração de um diagnóstico, apontando as condições naturais do território e as influências antrópicas recebidas (Orea, 1994).

O presente trabalho foi idealizado visando discutir essas questões, tendo por objetivo central comparar a eficiência de mapeamento da cobertura vegetal entre o uso de dois tipos de sensores remotos, quatro diferentes escalas geográficas de mapeamento e duas estratégias de análise espacial, comuns em planejamentos ambientais. Utilizou-se, como estudo de caso, um trecho de Mata Atlântica da Baixada Litorânea do Estado de São Paulo, localizado no município de Bertiooga, escolhido por apresentar boa densidade e diversidade de cobertura vegetal, além de um conjunto expressivo de interferências antrópicas.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A área de estudo situa-se no município de Bertiooga, entre as coordenadas geográficas: 23°46' S a 23°52' S, e 46°11' WGr. a 46°05' WGr., abrangendo, aproximadamente, uma superfície de 100 km² (FIGURA 1). Desse total, a área efetivamente mapeada foi de 74 km², pois os outros 26 km² referem-se às áreas correspondentes às classes corpos d'água e orla marinha, desconsideradas neste trabalho, para efeito de análise.

A região de Bertiooga faz parte da unidade litoestratigráfica (pré-cambriana) representada pelo Complexo Costeiro. A geologia é caracterizada por rochas granitizadas, granitos, xistos, gnaisses e rochas cristalofílicas. Predominam as rochas migmatíticas, podendo ser encontradas pequenas ocorrências de granulitos intensamente migmatizados e feldspatizados, constituindo núcleos paleossomáticos (Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT, 1981a). Afloramentos rochosos são relativamente freqüentes, associados aos setores de encostas com declividade superior a 45°. Quanto aos movimentos de massa, apresenta desde baixa até muita alta susceptibilidade a escorregamentos e inundações (IPT, 1994).

A área de estudo está inserida na Província Costeira (IPT, 1981b), entre o Planalto Atlântico e as Planícies Litorâneas do Estado de São Paulo, englobando as unidades geomorfológicas: *Planalto* (entre 800 m e 900 m); *Escarpas e Cristas* (até 1.000 m); *Morros Baixos* (entre 180 m a 220 m); e *Planícies Marinha e Fluvial/Intertidal* (até 20 m) (Ross & Moroz, 1997).

Segundo Oliveira *et al.* (1999), a área estudada é constituída por duas classes de solos: Espodossolos Ferrocárbicos Hidromórficos (Podzóis) e Cambissolos Háplicos. Os Espodossolos restringem-se à Planície Litorânea (Ross & Moroz, 1997) e, são essencialmente arenosos, de textura grosseira, muito porosos e com elevada permeabilidade. Apresentam baixa capacidade sortiva, são desprovidos de minerais primários intemperizáveis e, conseqüentemente, de reservas minerais em nutrientes. Os Cambissolos Háplicos ocorrem em terrenos situados em relevo variando de montanhoso a escarpado. Devido à sua elevada capacidade de degradação, elevada erodibilidade e forte limitação à trafegabilidade, apresentam severas restrições ao uso agrícola e, até mesmo, limitações ao uso pastoril e florestal. Além disso, é freqüente a presença de afloramentos rochosos e de solos rasos representados pelos Neossolos Litólicos (Oliveira, 1999).

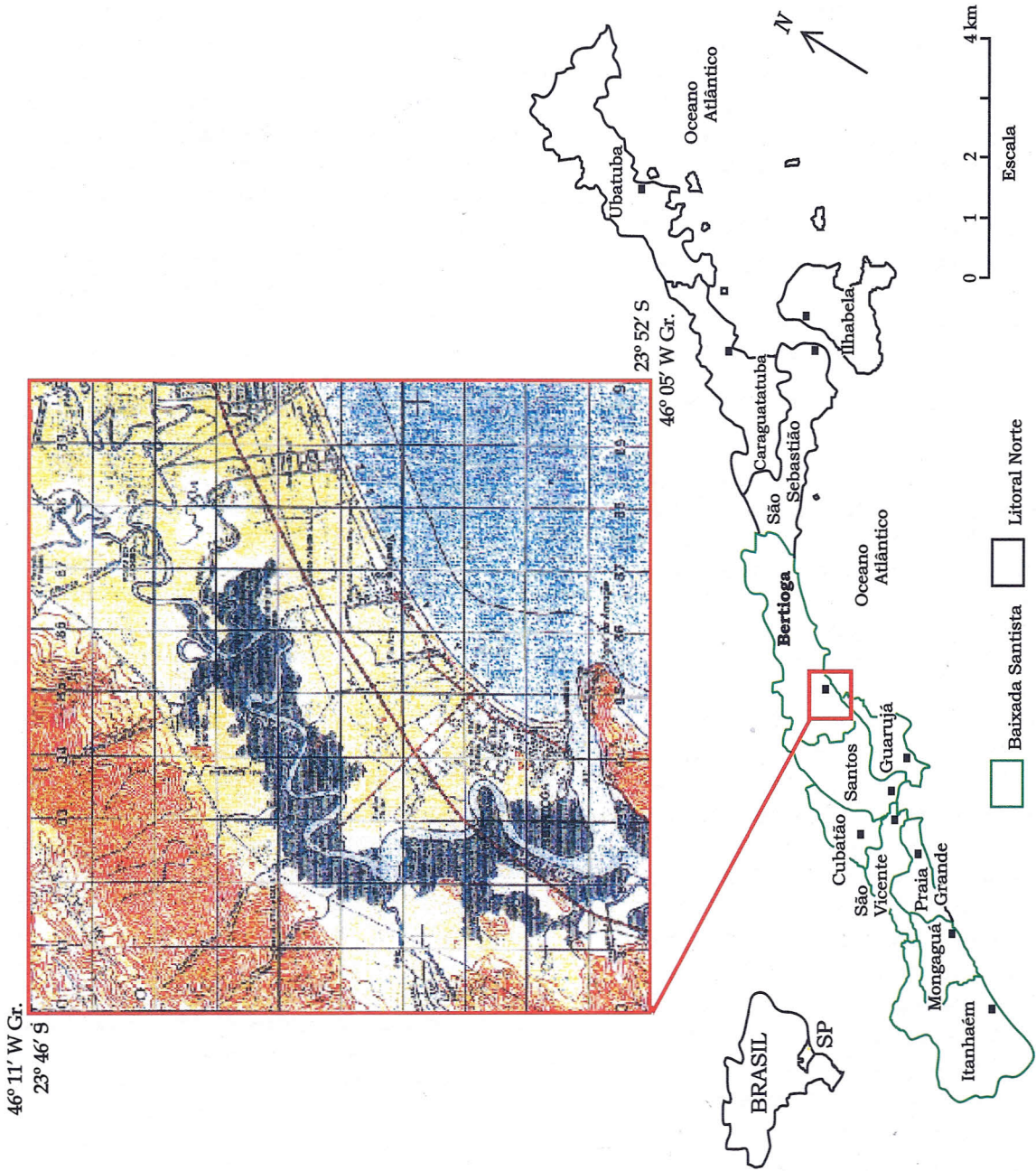


FIGURA 1 – Localização da área de estudo.

O clima é classificado, segundo Köppen, como Af (*tropical super úmido sem estação seca*), na zona das Baixadas Litorâneas, e Cfa (*mesotérmico úmido sem estação seca, com verão quente*) em direção à serra costeira. A temperatura não apresenta grandes variações ao longo do ano, com média anual superior a 20°C (Setzer, 1966), chuva anual de 2.500 mm a 4.500 mm (Companhia de Saneamento da Baixada Santista - SBS, 1974) e umidade relativa do ar variável entre 70% e 90%.

A cobertura vegetal é caracterizada pela presença da Mata Atlântica, tendo como formação predominante a floresta ombrófila densa ou floresta pluvial tropical (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 1991), além dos ecossistemas associados, como os manguezais e as restingas, sendo que boa parte dessa cobertura vegetal pertence ao Parque Estadual da Serra do Mar.

2.2 Seleção dos Sensores, Escalas e Estratégias de Mapeamento

Realizou-se um trabalho de campo para reconhecimento da área de estudo e, a seguir, realizado o mapeamento da cobertura vegetal natural e atividades antrópicas, de acordo com uma abordagem geográfica (Metzger, 2001), através da interpretação visual das imagens orbitais (sensor TM do satélite *Landsat-5*, passagem de 15 de agosto de 1995, órbita 219, ponto 76, quadrante D, composição colorida RGB 543, pixel 30 m e escalas 1:50.000, 1:100.000 e 1:250.000) e de fotografias aéreas pancromáticas verticais pela análise estereoscópica (vô BASE Aerofotogrametria e Projetos S. A., de agosto de 1994, escala 1:25.000), considerando-se como elementos de reconhecimento: tonalidade, textura, padrão e formas (Hernandez Filho *et al.*, 1988 e Santos *et al.*, 1981).

Tanto a imagem orbital como as fotografias aéreas utilizadas neste trabalho foram tomadas no período mais seco, condição esta recomendável, por permitir melhor identificação dos tipos de cobertura vegetal (Santos & Novo, 1977). Procurou-se, ainda, escolher entre os produtos de sensoriamento remoto disponíveis para aquisição, aqueles com datas tão próximas quanto possível, visando reduzir os erros que podem ocorrer na obtenção dos dados de referência (Congalton & Green, 1993).

Foram aplicadas duas estratégias de análise, comumente usadas em planejamentos ambientais: (a) mapeamento tradicional, ou seja, por delineamento individual dos polígonos que representam as áreas de vegetação, tal como elas se apresentam

(Küchler & Zonneveld, 1988), e (b) mapeamento por unidades de paisagem, ou seja, por agrupamento das áreas que se encontram sob um mesmo relevo, tipo(s) principal(is) e estado de conservação da cobertura vegetal e atividades humanas, representando, cartograficamente, os conjuntos semelhantes de interações entre indicadores.

Depois de concluídos os trabalhos de mapeamento da cobertura vegetal, foi definida a amostragem por transecto de campo (IBGE, 1991) para cada sensor e escala, e para cada estratégia de mapeamento. Os pontos ou transectos amostrais visitados em campo foram escolhidos em função de sua representatividade quanto aos alvos ou categorias de legenda.

Como dados de apoio foram utilizados materiais cartográficos (Carta Topográfica, IGGSP, Folha SF-23-Y-D-IV-4, Bertiooga, na escala 1:50.000, 1971; Carta de Utilização da Terra do Estado de São Paulo, IGC, Folha SF-23-Y-D, Santos, na escala 1:250.000, 1982; Cobertura Vegetal e Uso da Terra, CODIVAP/INPE, na escala 1:250.000, 1991; Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo, IPT, na escala 1:1.000.000, 1981), receptor GPS Explorer II e observações de campo.

Na definição das legendas dos mapeamentos procurou-se obter o maior detalhamento possível, considerando aspectos importantes para os planejamentos ambientais, como por exemplo: a identificação das formações florestais existentes, os estádios sucessionais, o estado de conservação, as variações estruturais da cobertura vegetal e formas de ação antrópica sobre os remanescentes, entre outros. Estes aspectos eram associados, basicamente, a critérios de avaliação fisionômica.

Os dados analógicos obtidos através da análise visual das imagens orbitais e fotografias aéreas foram digitalizados em AUTOCAD R13 e, a seguir, quantificados e comparados por meio da integração de dados em um sistema de informações geográficas – IDRISI *for Windows*, o qual possibilitou a geração de matrizes de erro ou confusão e coeficiente de concordância (Coeficiente Kappa, cf. Congalton *et al.*, 1983).

A precisão do processo de digitalização foi aferida através da verificação dos RMS (Erro Médio Quadrático) referente às coordenadas planimétricas de pontos de controle selecionados nos mapeamentos, conferindo, assim, confiabilidade aos cruzamentos dos diferentes planos de informação no SIG.

A análise da exatidão dos mapeamentos requer a adoção de uma referência para a comparação dos mapas. Neste trabalho foi considerada como referência, a fotointerpretação realizada na escala de 1:25.000, de maior detalhamento.

A matriz de erros ou matriz de confusão é uma matriz quadrada de números que expressa a quantidade de unidades amostrais, associadas a uma dada categoria durante o processo de classificação efetuado, e a categoria real a que pertencem essas unidades (Congalton, 1991). Essa matriz favorece a visualização dos resultados da classificação temática e expressa a relação entre os dois tipos de erros associados ao sistema de classificação: os de inclusão e os de omissão (Card, 1982).

O Kappa é um coeficiente de concordância expresso por:

$$K = \frac{Pa - Pc}{1 - Pc} \quad \text{Equação 1}$$

sendo,

Pa = proporção de concordância entre os dados classificados e os dados de referência, e

Pc = proporção esperada de concordância entre as unidades.

O coeficiente Kappa indica a qualidade da classificação, variando de 0 a 1, sendo que quanto mais se aproxima do valor 1, maior a concordância entre os mapas comparados. Também por meio da estimativa Kappa, a estatística \hat{K} , pode-se obter a medida de exatidão (Congalton, 1991). No caso da análise de exatidão de classificação, tem-se que \hat{K} é uma medida da concordância geral calculada para cada matriz de erro baseada na diferença entre a concordância real da classificação e a concordância por puro acaso, expressa por:

$$\hat{K} = \frac{n \sum_{i=1}^l x_{ii} - \sum_{i=1}^l (x_{i+} x_{+i})}{n^2 - \sum_{i=1}^l (x_{i+} x_{+i})} \quad \text{Equação 2}$$

sendo,

l = dimensão da matriz de erro quadrada;

x_{ii} = número de observações da linha i, coluna i;

x_{i+} e x_{+i} = totais marginais da linha i e da coluna i, respectivamente, e

n = número total de observações.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A comparação entre os dois sensores, as quatro escalas, e as duas estratégias de mapeamento resultou em oito mapas georreferenciados, conforme FIGURAS 2a a 2d e 3a a 3d. Os QUADROS 1a e 1b mostram a legenda de maior detalhamento obtida para as duas estratégias, respectivamente, 19 e 17 classes de mapeamento tradicional e por unidade de paisagem, evidenciado as diferentes respostas.

De acordo com os autores citados neste estudo, em planejamentos ambientais, a primeira questão que se deve observar sobre a eficiência das características e procedimentos para o mapeamento é a **exatidão da interpretação**. Sob essa perspectiva, entre as duas estratégias adotadas, o mapeamento por unidades de paisagem foi aquele considerado mais satisfatório, pois obteve 100% de acerto relativo aos 78 pontos amostrais verificados em campo, em todas as escalas propostas. Além disso, em termos de planejamento, essa estratégia auxilia e acelera as tomadas de decisão em planejamentos ambientais pois se pôde apresentar, claramente, as relações da vegetação com outros elementos, como o relevo e as atividades antrópicas que interferem direta ou indiretamente sobre a ocorrência e qualidade da cobertura florestal.

Independentemente do sensor, da resolução ou da escala adotada, houve uma perda de informação quando se tratava das áreas de transição entre restinga e mata de encosta. Em outras palavras, elas não foram evidenciadas pelos instrumentos e estratégias adotados neste trabalho e, portanto, os limites em áreas de transição apresentados nas FIGURAS 2 e 3 são artificiais, inferidos por um fator topográfico. O mangue, por apresentar características espectrais de água e vegetação, também induziu erros de delimitação ou classificação de tipo, só percebidas em campo. Para o planejador, essas fontes de erro devem receber especial atenção, uma vez que dificultam a delimitação precisa dessas unidades que deveriam apresentar um sistema particular de gestão, pelo seu valor ambiental.

PEDREIRA, B. da C. C. G.; SANTOS, R. F. dos. Sensores remotos, escalas geográficas e análises espaciais orientados a planejamentos ambientais em áreas florestais.

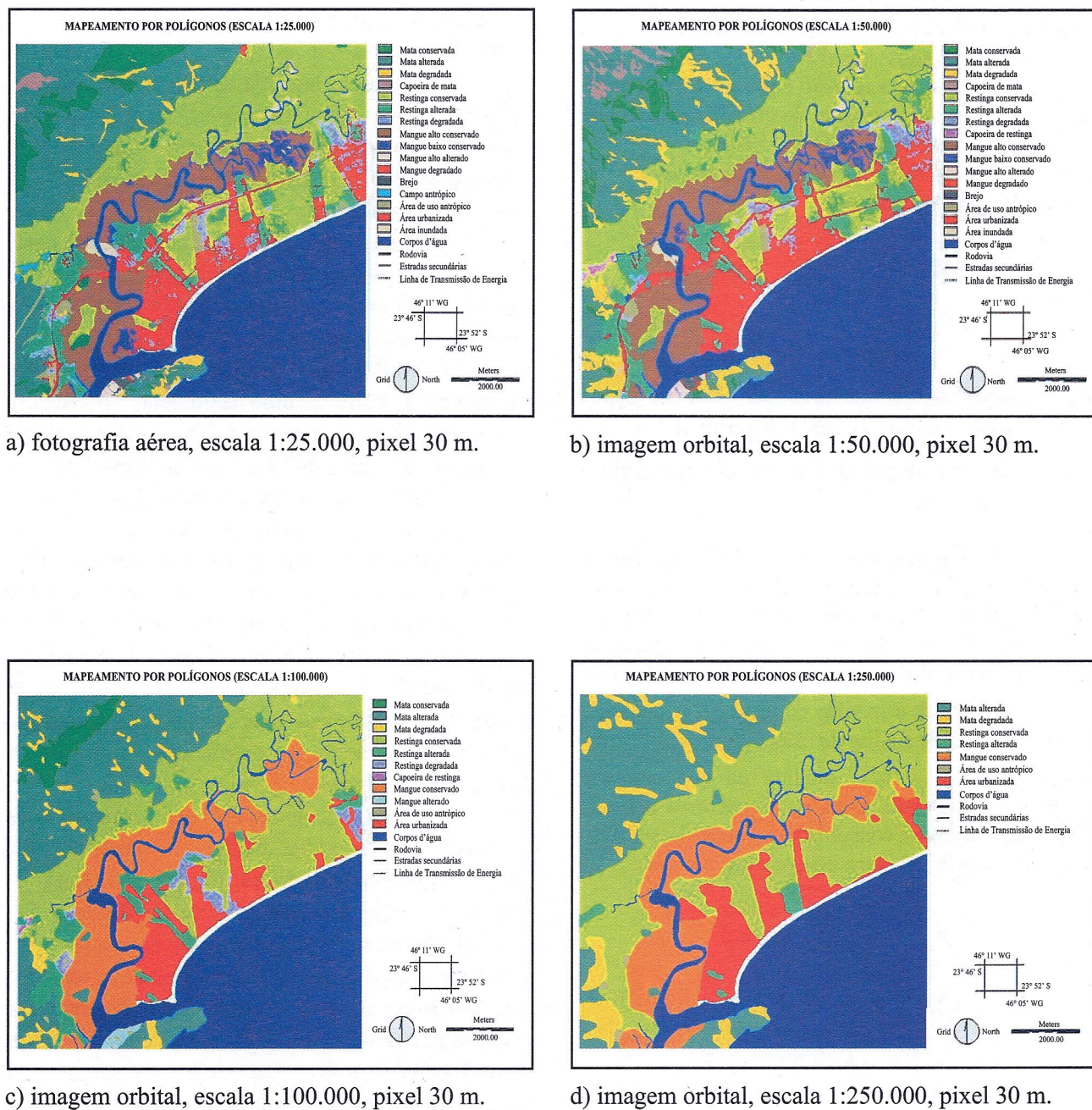
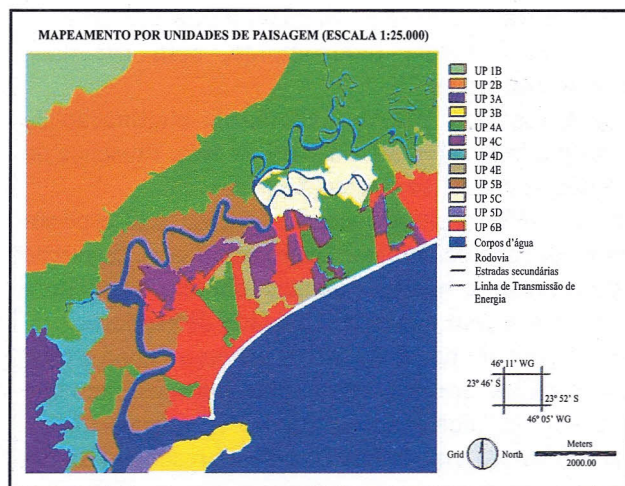
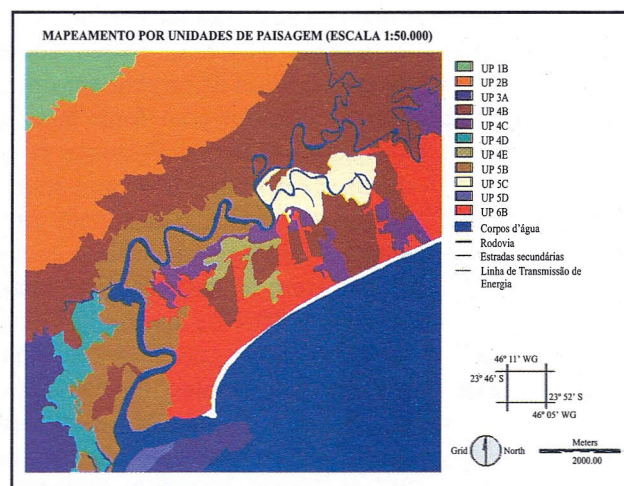


FIGURA 2 – Mapeamento da cobertura vegetal e usos da terra da região de Bertioiga (SP), por polígonos individualizados, para os diversos produtos de sensores remotos.

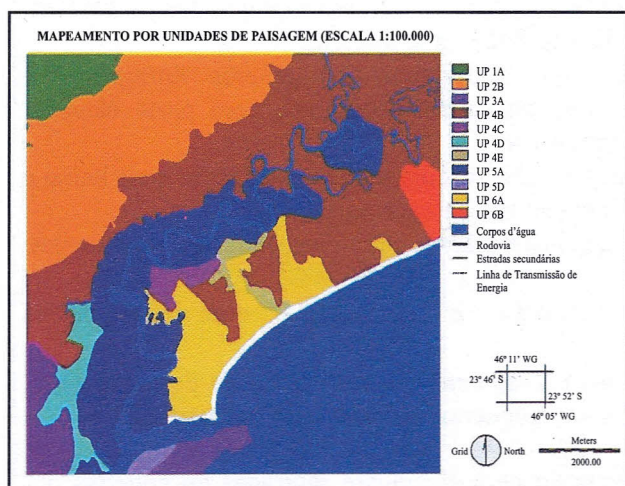
PEDREIRA, B. da C. C. G.; SANTOS, R. F. dos. Sensores remotos, escalas geográficas e análises espaciais orientados a planejamentos ambientais em áreas florestais.



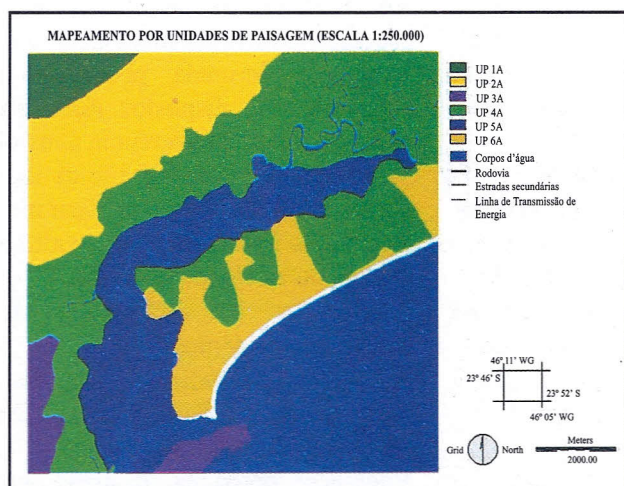
a) fotografia aérea, escala 1:25.000, pixel 30 m.



b) imagem orbital, escala 1:50.000, pixel 30 m.



c) imagem orbital, escala 1:100.000, pixel 30 m.



d) imagem orbital, escala 1:250.000, pixel 30 m.

FIGURA 3 – Mapeamento da cobertura vegetal e usos da terra da região de Bertioga (SP), por unidades de paisagem, para os diversos produtos de sensores remotos.

QUADRO 1a – Descrição das classes obtidas através dos mapeamentos por polígonos.

CLASSES DE MAPEAMENTO POR POLÍGONOS	
LEGENDA	DESCRIÇÃO DA CLASSE TEMÁTICA
Mata conservada	Cobertura florestal densa, dossel contínuo, muito pouco interrompido, com eventuais irregularidades, alta densidade de espécies, não apresentando sinais de interferência antrópica.
Mata alterada	Vegetação arbórea, dossel contínuo ou parcialmente interrompido, com eventuais irregularidades de origem antrópica, presença de cipós.
Mata degradada	Dossel florestal com forte interferência antrópica, e nítidos indícios da eliminação de indivíduos arbóreos. Presença de arvoretas e arbustos em 50% a 70% da área. Presença de danos severos no estrato arbustivo e ocorrência casual de vegetação herbácea.
Capoeira de mata	Cobertura vegetal com estrato arbustivo, de média a alta densidade, com ou sem espécies arbóreas ou vegetação arbórea com dossel totalmente descontínuo, entremeada com vegetação de cobertura bastante variável, redução do primeiro e segundo estratos arbóreos e cobertura inferior a 50%. As árvores são de troncos finos e com menor diversidade de espécies.
Restinga conservada	Vegetação sobre cordões arenosos mais estáveis de porte arbustivo-arbóreo denso e com bromélias terrícolas, e vegetação entre cordões arenosos em áreas permanentemente úmidas com populações mais densas, arbóreas, incluindo palmitheiro (<i>Euterpe edulis</i>), xaxim (<i>Dicksonia selowiana</i>) e caxeta (<i>Tabebuia cassinoides</i>). Não apresentam sinais expressivos de interferência antrópica.
Restinga alterada	Vegetação em áreas de planície, cordões e entre-cordões marinhos, formada por árvores e arbustos, com pequenos sinais de interferência antrópica.
Restinga degradada	Vegetação em áreas de planície, cordões e entre-cordões marinhos, formada por árvores e arbustos, com fortes sinais de interferência antrópica.
Capoeira de restinga	Vegetação de restinga em processo de regeneração, ausência de dossel, com ou sem sinais de interferências antrópicas recentes.
Mangue conservado	Vegetação linear aos canais, de porte arbóreo, dossel contínuo e pouca diversidade em espécies. Não apresenta sinais visíveis de interferência antrópica.
Mangue alto conservado	Vegetação formada, predominantemente por indivíduos dos gêneros <i>Rhizophora</i> e <i>Laguncularia</i> , dispostos junto aos esteiros ou canais estuarinos, com porte elevado. Não apresenta interferência antrópica expressiva.
Mangue baixo conservado	Vegetação com predomínio de indivíduos do gênero <i>Laguncularia</i> , de porte mais baixo e copas de menor diâmetro. Sem interferência antrópica expressiva.
Mangue alterado	Vegetação fisionomicamente alterada, pela instalação de caminhos, estradas, construções, aterros ou atividade agrícola.
Mangue alto alterado	Associação de indivíduos de <i>Rhizophora</i> e <i>Laguncularia</i> , com interferências antrópicas evidentes.
Mangue degradado	Associação de indivíduos de <i>Rhizophora</i> e <i>Laguncularia</i> com áreas de desmatamento, extração de madeira, troncos cortados ou pequenos arbustos de regeneração e com exposição do substrato escuro.
Brejo	Vegetação herbácea em áreas permanente ou periodicamente saturadas ou cobertas por água, localizadas nas depressões das planícies arenosas.
Campo antrópico	Vegetação herbácea subsequente à intensa ação antrópica, geralmente associada a antigos terrenos agricultáveis, em repouso ou pré-preparados para construções civis.
Área de uso antrópico	Áreas desmatadas e áreas modificadas pela intervenção humana, para mineração, agricultura ou loteamentos.
Área urbanizada	Área ocupada por aglomeração urbana e periurbana, loteamentos e outras infra-estruturas próprias de centros urbanos.
Área inundada	Área coberta por água, extrapolando os limites dos corpos d'água.

Fonte: Pedreira (1998), modificado.

QUADRO 1b – Descrição das classes obtidas através dos mapeamentos por unidades de paisagem.

CLASSES DE MAPEAMENTO POR UNIDADE DE PAISAGEM	
LEGENDA	DESCRIÇÃO DA CLASSE TEMÁTICA
UP 1A	Planalto, com cobertura florestal alterada (matriz) e inclusão de manchas de mata degradada.
UP 1B	Planalto, com cobertura florestal alterada (matriz) e inclusão de manchas de capoeira.
UP 2A	Encostas apresentando cobertura florestal alterada e inclusão de manchas de mata degradada.
UP 2B	Encostas, com cobertura florestal alterada (matriz), topos com mata em bom estado de conservação e pequenas inclusões (fragmentos) de mata degradada.
UP 3A	Morros isolados, com cobertura florestal alterada (matriz), topos com mata em bom estado de conservação e inclusões de mata degradada.
UP 3B	Morros isolados, com cobertura florestal alterada (matriz), topos com mata em bom estado de conservação, inclusões ou fragmentos de mata degradada e de capoeira.
UP 4A	Planície litorânea, com vegetação de restinga em bom estado de conservação (matriz), presença de morrotes cobertos por mata alterada, pequenas inclusões de restinga alterada e degradada, e inclusões de pequenas áreas com interferência antrópica.
UP 4B	Planície litorânea, com vegetação de restinga em bom estado de conservação, presença de morrotes cobertos por mata alterada, pequenas inclusões de restinga alterada, degradada e capoeira de restinga, e áreas com interferência antrópica.
UP 4C	Planície litorânea, com vegetação de restinga alterada (matriz), com interferências pontuais e lineares, sob forte pressão de urbanização.
UP 4D	Planície litorânea, com vegetação de restinga alterada (matriz), inclusão de manchas de restinga degradada e áreas de uso antrópico.
UP 4E	Planície litorânea, com vegetação de restinga degradada (matriz) sob forte pressão de urbanização.
UP 5A	Planície litorânea, com vegetação de mangue em bom estado de conservação (matriz) e inclusão de morrotes cobertos por mata alterada.
UP 5B	Planície litorânea, com vegetação de mangue alto em bom estado de conservação (matriz) e pequenas inclusões de mangue degradado.
UP 5C	Planície litorânea, com vegetação de mangue baixo em bom estado de conservação (matriz).
UP 5D	Planície litorânea, com vegetação de mangue alterado (matriz), com sinais de interferência antrópica.
UP 6A	Planície litorânea, com alta densidade populacional (matriz), infra-estrutura urbana, e inclusão de manchas de restinga alterada, sob forte pressão de urbanização.
UP 6B	Planície litorânea, com alta densidade populacional (matriz), infra-estrutura urbana, pequenas inclusões de restinga alterada e degradada e áreas de uso antrópico sob forte pressão de urbanização.

Fonte: Pedreira (1998), modificado.

Quanto à **inclusão de novas classes** nas legendas obtidas para diferentes escalas pode-se afirmar que, independentemente da estratégia adotada, existe um incremento significativo e não linear, sempre que a diferença entre escalas é maior. A TABELA 1 exemplifica esta constatação e evidencia que entre escalas de 1:50.000 e 1:25.000 não houve mudança substancial. Ressalva-se esta última informação porque, para um planejamento que visasse à conservação das florestas nessa área, não seria indicado o uso de fotografias aéreas,

de maior custo e maior tempo de interpretação, uma vez que os resultados mostraram que houve uma única inclusão de uma categoria que, por sua vez, não responde sobre a cobertura vegetal natural. É óbvio que este exemplo é específico para esta região e, em outra área, o resultado poderia ser diferente, porém o que se chama a atenção é que o planejador não deve, impulsivamente, optar pelo sensor e pela escala de maior detalhamento acreditando que terá melhores resultados. São imprescindíveis testes preliminares, que envolvem tipo de sensor, escala e amostragem de campo.

TABELA 1 – Inclusão de classes ou categorias de legenda (incremento) em relação às escalas para os mapeamentos por polígonos.

ESCALA REFERÊNCIA	ESCALA DE MAPEAMENTO	INCREMENTO EM NÚMERO DE CATEGORIAS	CATEGORIAS DE LEGENDA
1:250.000	1:25.000	10	mata conservada, capoeira de mata, restinga degradada, mangue alto conservado, mangue baixo conservado, mangue alto alterado, mangue degradado, brejo, campo antrópico, área inundada
1:100.000	1:25.000	8	capoeira de mata, mangue alto conservado, mangue baixo conservado, mangue alto alterado, mangue degradado, brejo, campo antrópico, área inundada
1:50.000	1:25.000	1	campo antrópico

Fonte: Pedreira (1998), modificado.

A terceira questão a ser observada pelo planejador é se, trabalhando com diferentes escalas da mesma temática, altera-se significativamente o percentual de **concordância em área de mesma classe**. Sob esse aspecto, as TABELAS 2a e 2b demonstram que, para a estratégia de polígonos, as maiores variações percentuais ocorrem nas áreas de uso antrópico e, em segundo plano, para as áreas naturais alteradas, mais incluídas em mapeamentos de maior detalhe. Sob a perspectiva do mapeamento da paisagem, a diferença observada entre as escalas adotadas concentrou-se muito mais na inclusão de novas classes do que no percentual de concordância de área por elas coberta.

A cada mudança de escala observou-se uma mudança de categorias dentro de uma única parcela do território. Foram constatadas 822 alterações entre as diversas escalas e procedimentos.

Para este trabalho, a maior incidência de mudança esteve contida nas categorias mangue conservado, restinga conservada e mata alterada. Para os mapeamentos tradicionais, a mudança de escala e sensor atingiu, primordialmente, a qualidade da cobertura natural, isto é, alteravam-se as categorias porque mudava a classificação do estado de conservação (como mata e restinga conservada para mata e restinga alterada) ou da característica peculiar do tipo fitofisionômico (mangue para mangue alto). Deve-se atentar que, para os planejamentos, o estado e a variabilidade de tipos fisionômicos da vegetação natural representam elementos norteadores para tomada de decisão sobre a preservação e definição de unidades de conservação no local de estudo, conforme já citado pela literatura. Assim, as alternativas finais apresentadas pelo grupo planejador poderão ser díspares, se a resolução não for convenientemente testada.

TABELA 2a – Porcentagem de concordância em área dos mapeamentos realizados por polígonos individualizados, referentes às quatro escalas de trabalho, com relação à área das categorias de legenda da escala 1:25.000 (referência).

MAPEAMENTO POR POLÍGONOS INDIVIDUALIZADOS			
Categorias de legenda	Escala 1:50.000 concordância em área (%)	Escala 1:100.000 concordância em área (%)	Escala 1:250.000 concordância em área (%)
mata conservada	65,4	54,9	0
mata alterada	92,8	90,2	99,5
mata degradada	0	0	0
capoeira de mata	42,17	0	0
restinga conservada	92,3	93,6	72,0
restinga alterada	91,2	86,1	20,2
restinga degradada	78,3	65,7	0
capoeira de restinga	0	0	–
mangue conservado	–	0	0
mangue alto conservado	94,8	0	0
mangue baixo conservado	74,5	0	0
mangue alterado	0	0	–
mangue alto alterado	0	0	0
mangue degradado	0	0	0
brejo	0	0	0
campo antrópico	0	0	0
área de uso antrópico	49,0	23,0	12,1
área urbanizada	80,0	83,9	90,9
área inundada	75,0	0	0

Fonte: Pedreira (1998), modificado.

TABELA 2b – Porcentagem de concordância em área dos mapeamentos realizados por unidades de paisagem, referentes às quatro escalas de trabalho, com relação à área das categorias de legenda da escala 1:25.000 (referência).

MAPEAMENTO POR UNIDADES DE PAISAGEM			
Categorias de legenda	Escala 1:50.000 concordância em área (%)	Escala 1:100.000 concordância em área (%)	Escala 1:250.000 concordância em área (%)
UP 1A	0	0	0
UP 1B	99,5	0	0
UP 2A	–	–	0
UP 2B	98,7	96,6	0
UP 3A	60,9	64,7	73,8
UP 3B	0	0	0
UP 4A	0	0	73,7
UP 4B	0	0	–
UP 4C	86,8	26,6	0
UP 4D	87,2	66,1	0
UP 4E	54,5	47,1	0
UP 5A	–	0	0
UP 5B	96,4	0	0
UP 5C	99,2	0	0
UP 5D	98,7	91,9	0
UP 6A	–	–	0
UP 6B	73,9	17,1	0

Fonte: Pedreira (1998), modificado.

A análise da relação entre os erros de omissão e inclusão, quanto às categorias de legenda ou classes mapeadas, foi obtida pela aplicação conjunta do coeficiente Kappa de concordância,

índice de exatidão global e respectivas matrizes de erro. As TABELAS 3a a 3c exemplificam o produto dos 12 cruzamentos entre os 8 mapeamentos realizados.

TABELA 3a – Indicação dos cruzamentos realizados entre os mapeamentos e a equivalência relativa entre o índice de exatidão global e os valores relativos do coeficiente Kappa.

Cruzamento entre os mapeamentos (escala de referência x escala de mapeamento)	Exatidão Global (%)	Coefficiente Kappa (valor relativo)
pol 25.000 x pol 50.000	79	0,7552
UP 25.000 x UP 50.000	70	0,6577

Nota: pol. = mapeamento por polígonos, UP = mapeamento por unidade de paisagem.

Fonte: Pedreira (1998), modificado.

PEDREIRA, B. da C. C. G.; SANTOS, R. F. dos. Sensores remotos, escalas geográficas e análises espaciais orientados a planejamentos ambientais em áreas florestais.

TABELA 3b – Matriz de erro para o cruzamento entre os mapeamentos por polígonos (escala 1:25.000 versus escala 1:50.000).

1:25.000 1:50.000	Mata Cons.	Mata Alter.	Mata Degr.	Capoeir. de Mata	Restinga Cons.	Restinga Alter.	Restinga Degr.	Mangue Alto Cons.	Mangue Baix.Cons.
	AR (%)	AR (%)	AR (%)	AR (%)	AR (%)	AR (%)	AR (%)	AR (%)	AR (%)
Mata Conserv.	28,46	6,64	3,63	1,44	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00
Mata Alterada	58,49	70,94	40,18	67,58	3,04	1,88	0,16	0,47	0,00
Erro de Omissão	0,7155	0,2909	0,4866	0,7633	0,1814	0,4446	0,6207	0,0972	0,4720

Mangue Alto Alter.	Mangue Degr.	Brejo	Campo Antróp.	Área Uso Antróp.	Área Urban.	Área Inund.	Corpos d'Água	Orla Mar.	Área Tot.Rel.	Erro de Inclusão
AR (%)	AR (%)	AR (%)	AR (%)	AR (%)	AR (%)	AR (%)	AR (%)	AR (%)	(%)	(%)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,75	0,01	0,00	0,00	0,00	2,39	0,5657
0,00	0,00	0,00	0,00	9,49	0,04	0,00	0,00	1,10	16,48	0,2322
0,158	1	0,2426	1	0,7388	0,1157	0,5117	0,0016	0,1701	–	–

Nota: AR (%) = área relativa em porcentagem.

Fonte: Pedreira (1998), modificado.

TABELA 3c – Matriz de erro para o cruzamento entre os mapeamentos por unidades de paisagem (escala 1:25.000 versus escala 1:50.000).

1:25.000 1:50.000	UP 1B	UP 2B	UP 3A	UP 3B	UP 4A	UP 4C	UP 4D	UP 4E	UP 5B	UP 5C
	AR (%)	AR (%)	AR (%)	AR (%)	AR (%)	AR (%)	AR (%)	AR (%)	AR (%)	AR (%)
UP 1B	94,86	0,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
UP 2B	5,16	94,85	0,00	0,00	2,23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Erro de Omissão	0,0516	0,0518	0,0929	1	1	0,5267	0,2485	0,7078	0,0530	0,076

UP 5D	UP 6B	Corpos d'Água	Orla Marinha	Área Tot. Relat.	Erro de Inclusão
AR (%)	AR (%)	AR (%)	AR (%)	(%)	(%)
0,00	0,00	0,00	0,00	2,76	0,0558
0,00	0,00	0,00	0,00	16,13	0,0396
0,0135	0,0506	0,0010	0,0577	–	–

Nota: AR (%) = área relativa em porcentagem.

Fonte: Pedreira (1998), modificado.

A concordância geral entre os cruzamentos, obtida através do cálculo da exatidão global, é um pouco maior daquela obtida pelo índice Kappa, porém, a variação entre ambas é pequena. Os resultados mostraram que os maiores valores de coeficiente Kappa foram obtidos entre as escalas 1:25.000 e 1:50.000, tanto para os mapeamentos por polígonos ($K = 0,7552$), como para os mapeamentos por unidades de paisagem ($K = 0,6577$). Isso evidencia a semelhança em grau de detalhamento e acuidade de informações possível de ser extraído, a partir dessas duas escalas. Ambas apresentam a mesma qualidade de informação, apenas divergindo nos limites poligonais em função da melhor discriminação entre os alvos oferecida pelas fotografias aéreas. O mesmo não se pode dizer, por exemplo, da comparação entre as escalas 1:50.000 e 1:100.000 do mapeamento tradicional. Os índices de exatidão global e os valores do coeficiente Kappa devem ser interpretados pelo planejador através da consideração de que, quanto maior o coeficiente, maior a concordância entre diferentes escalas e adequação dos produtos de sensoriamento, tendo, a partir dessa informação, a liberdade de decidir entre duas escalas em função do tempo e custo de execução do mapeamento. Em outras palavras, recomenda-se que o planejador, frente aos seus objetivos, identifique primeiro as fontes de erros e julgue a influência delas no desenvolvimento do planejamento.

A comparação dos resultados obtidos quanto à concordância geral entre os mapeamentos, permite dizer que aqueles realizados por polígonos, nas diferentes escalas, apresentaram maior concordância entre si do que os mapeamentos realizados por unidades de paisagem. Esta constatação parece estar mais ligada à divergência da legenda entre escalas de mapeamento do que, propriamente, a erros de classificação ou de contorno de polígonos das áreas mapeadas. Para planejamentos essa observação é fundamental, à medida que a diversidade ou complexidade da legenda pode levar à somatória de alternativas de ação diferenciadas.

Todas as escalas e estratégias adotadas neste estudo alcançaram o objetivo de mostrar a estrutura e distribuição espacial dos diferentes tipos de vegetação da área de estudo. Entretanto, nenhuma das escalas ou estratégias utilizadas apresentaram-se perfeitas, não sendo possível expressar ou diferenciar corretamente as particularidades da cobertura vegetal observadas em campo, nem descrever a composição florística da vegetação,

formas de vida, distribuição das espécies, integridade florística, presença de invasoras, espécies valiosas, ou identificar espécies dominantes (com exceção do mangue). Em alguns casos, o domínio de espécies também é verificado em formações em estádios secundários iniciais e intermediários de florestas e restingas. No entanto, a complexidade, dimensão e mosaico formado pelas categorias que compunham o território em estudo, resultando em grande heterogeneidade espacial e estrutural, não permitiram tal diagnóstico. Assim, não se pôde revelar, com detalhamento, as qualidades reais do sítio. Sem dúvida, esta é a maior deficiência observada no uso de indicadores espaciais quando do estabelecimento de diretrizes de planejamento ambiental.

Sob a estratégia de mapeamento de polígonos, todas as escalas permitem mapear a informação ambiental, mas não expressam, realmente, as informações ecológicas e a dinâmica do meio. Nesta direção, os mapas de paisagens, que apontam as relações da vegetação com outros elementos do meio, mostraram-se mais adequados. Eles induzem a interpretação da organização da paisagem, permitindo uma leitura mais adequada. Escalas de detalhe permitiram, por exemplo, observar a ocorrência de pequenas inclusões de categorias de legenda em macrounidades de paisagens que, num planejamento, deveriam ter diretrizes específicas. Isto quer dizer que se fosse considerada somente uma escala menor então haveria o erro da inclusão não considerada. O planejamento seria mais genérico e, desta forma, mais necessário seria definir o grau de confiabilidade e probabilidade de acerto das propostas de planejamento e gestão. Por outro lado, como já citado, os muitos erros de omissão máxima ocorridos entre categorias de legenda, quando do cruzamento entre paisagens desenhadas em diferentes escalas, são originados mais pela falta de correspondências entre as categorias de legenda e não quanto à diferença do delineamento de cada categoria. As categorias de legenda são divergentes em função de "inclusões" presentes nas paisagens, que geram subdivisões, dentro das macropaisagens, as quais praticamente permanecem inalteradas, independentemente da escala utilizada. Para planejamentos, os erros oriundos apenas por essas inclusões não são muito significativos, desde que as fitofisionomias fiquem bem retratadas, pois eles apenas denotam que o detalhamento permite definir outras unidades de estrutura e função, como fragmentos específicos inseridos em uma matriz.

Um outro ponto a salientar é que o mapeamento por unidades de paisagem, torna mais fácil o monitoramento da variação espaço-temporal da cobertura vegetal. O mapeamento tradicional (polígonos individualizados) tem a informação perdida, muitas vezes, em curto espaço de tempo, tomando o mapeamento impreciso. Não é possível desenhar as transformações da cobertura vegetal com a mesma frequência com que ela ocorre. É importante ressaltar que, apesar dos avanços obtidos pela avaliação das unidades de paisagem, há muito que se trabalhar, conceitual e metodologicamente, essa linha de interpretação.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados deste trabalho ressaltam as múltiplas respostas de mapeamentos, retratando a dificuldade da tomada de decisão quanto à escala. Apontam que, o fato de se obter maior detalhamento em uma determinada escala não significa que ela seja adequada. Em suma, conduzem à conclusão de que, se o planejador pretende avaliar a apropriação dos sensores, das escalas e dos métodos de avaliação espacial, bem como retratar suas limitações, ele deve considerar, no início do processo do seu planejamento, pelo menos, 5 questões a serem medidas: a exatidão da interpretação, a inclusão de novas classes de mapeamento, a concordância em área de mesma classe, a mudança de categorias e a determinação dos erros de omissão e inclusão.

Neste trabalho, qualquer estratégia e escala levaria ao resultado de se reconhecer as áreas de importância fundamental e/ou alto valor ambiental para a região. No entanto, deve-se questionar o limite de erro aceitável quanto ao delineamento dessas áreas. Para cada escala, e em cada estratégia, esse limite seria diferenciado. Estas observações se refletem, principalmente, quando o objetivo é indicar áreas de manejo. Deste e dos trabalhos levantados, pode-se afirmar que nenhuma escala permitiu gerar um plano de manejo com propostas detalhadas, mesmo porque não se reconhece por meio dos indicadores espaciais a dinâmica dos processos internos aos sistemas ecológicos ou às paisagens. O que este estudo indica é a possibilidade de apontar áreas prováveis de manejo, com menores possibilidades de erro à indicação quando se detalha a escala e se trabalha com paisagem que caracteriza a influência do entorno, mas nunca o processo em si mesmo. Pode-se dizer que esta conclusão também é válida quando das propostas de recuperação, reabilitação ou restauração do meio.

As limitações, os erros e as incertezas de interpretação são aceitos como parte de um trabalho de planejamento e gestão. Desta forma, as alternativas propostas nos planejamentos devem indicar as probabilidades de erro advindas dos mapeamentos. Portanto, além de avaliar as inúmeras limitações das estratégias adotadas, como aponta este estudo, é importante que as decisões políticas e econômicas reconheçam as limitações da interpretação técnica. De acordo com este trabalho, mais que multiplicar ou especificar as categorias de mapeamento, é necessário interpretar as respostas que podem ser geradas de cada polígono ou paisagens desenhadas em um mapa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BOUMA, J. Using soil survey data for quantitative land evaluation. In: STEWART, B. A. (Ed.). **Advances in soil science**. New York: Springer-Verlag, 1989. v. 9, p. 177-213.
- CARD, D. H. Using known map category marginal frequencies to improve estimates of thematic map accuracy. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, v. 48, n. 3, p. 431-439, 1982.
- COMPANHIA DE SANEAMENTO DA BAIXADA SANTISTA - SBS. **Baixada Santista: plano de saneamento das zonas alodiais**. Rio de Janeiro: Engenharia Gallioli, 1974. p. 13-20.
- CONGALTON, R. G.; ODERWALD, R. G.; MEAD, R. A. Assessing Landsat classification accuracy using discrete multivariate analysis statistical techniques. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, v. 49, n. 12, p. 1671-1678, 1983.
- CONGALTON, R. G. A review of assessing the accuracy of classification of remotely sensed data. **Remote Sensing of Environment**, Amsterdam, v. 37, n. 1, p. 35-46, 1991.
- CONGALTON, R. G.; GREEN, K. A practical look at sources of confusion in error matrix generation. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, v. 59, n. 5, p. 641-644, 1993.

GIRARDI, A. C. S. **Subsídios metodológicos para o planejamento e gestão de restingas: estudo de caso – Bertioga-SP.** 2001. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo, São Paulo.

HERNANDEZ FILHO, P. *et al.* **Avaliação de dados TM/LANDSAT e HRV/SPOT na identificação de áreas reflorestadas na região de Mogi-Guaçu-SP.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5., 1988, Natal. **Anais...** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, 1988. v. 3, p. 726-731.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. **Manual técnico da vegetação brasileira.** Rio de Janeiro, 1991. 92 p. (Série Manuais Técnicos em Geociências, 1).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT. **Mapa geológico do Estado de São Paulo.** São Paulo, 1981a. v. 1, 126 p. Escala: 1:500.000. (IPT Publicação, 1184; IPT Monografias, 6).

_____. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo.** São Paulo, 1981b. 94 p. Escala: 1:1.000.000. (IPT Publicação, 1183; IPT Monografias, 5).

_____. **Carta geotécnica do Estado de São Paulo.** 1.ed. São Paulo, 1994. v. 2. Escala: 1:500.000.

KÜCHLER, A. W.; ZONNEVELD, I. S. (Ed.). **Vegetation mapping.** Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988. 635 p.

METZGER, J. P. W. Efeitos do padrão de desmatamento e da extensão de Reservas Legais na conservação florestal em áreas de assentamento da Amazônia Brasileira. **Biota Neotropica**, Campinas, v. 1, n. 1/2, 2001.

OLIVEIRA, J. B. **Solos do Estado de São Paulo: descrição das classes registradas no mapa pedológico.** Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1999. 108 p. (Bol. Técn., 45).

_____. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo.** Campinas: Instituto Agronômico de Campinas: EMBRAPA, 1999. Escala 1:500.000.

OREA, D. G. **Ordenación del territorio: una aproximación desde el medio físico.** Madrid: Instituto Tecnológico Geominero de España: Editorial Agrícola Española, 1994. 238 p. (Serie Ingeniería Ambiental).

PEDREIRA, B. da C. C. G. **Planejamentos ambientais e apropriação de escalas para mapeamentos de cobertura vegetal.** 1998. 162 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

RANIERI, S. B. L. **Avaliação de métodos e escalas de trabalho para determinação de risco de erosão em bacia hidrográfica utilizando sistemas de informação geográficas (SIG).** 1996. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo.** São Paulo: USP: IPT: FAPESP, 1997. v. 1 e v. 2. Escala 1:500.000. (Mapas e Relatório).

SANTOS, A. P.; NOVO, E. M. L. M. **Uso de dados do Landsat-1 na implantação, controle e acompanhamento de projetos agropecuários no Sudoeste da Amazônia Legal.** 1977. 207 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. (INPE-1044-TPT/056).

SANTOS, J. R.; HERNANDEZ FILHO, P.; SHIMABUKURO, Y. E. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicação em vegetação.** São José dos Campos: Instituto de Pesquisas Espaciais, 1981. 59 f. (INPE-2215-MD/010).

SANTOS, R. F.; PIVELLO, V. R. **Planejamento ambiental.** Campinas: UNICAMP, Departamento de Saneamento e Ambiente, Faculdade de Engenharia Civil, 1997. 78 p. (Curso apostilado).

SETZER, J. **Atlas climático e ecológico do Estado de São Paulo.** São Paulo: Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguaí: Centrais Elétricas do Estado de São Paulo, 1966. 61 p.

TURNER, M. G.; DALE, V. H.; GARDNER, R. H. Predicting across scales: theory development and testing. **Landscape Ecology**, Dordrecht, v. 3, p. 245-252, 1989.