

Avaliação do Estado de Conservação

**da Vegetação nas Encostas da Serra
do Mar – Município de Cubatão,
Utilizando Sensoriamento
Remoto e SIG**

***Cintia Maria Afonso
Marisa Dantas Bitencourt***

**Cintia Maria Afonso é
arquiteta e mestre em ciência
ambiental – doutoranda FAUUSP –
PROCAM – USP e**

**Marisa Dantas Bitencourt é bióloga
e doutora – Laboratório de
Ecologia da Paisagem e Conservação
(LEPaC) – Departamento de
Ecologia Geral – IB-USP**

MEIO AMBIENTE

RESUMO

O município de Cubatão, no estado de São Paulo, sedia atividade industrial de importância nacional, principalmente nas áreas siderúrgica, petroquímica e química. No entanto, sua localização na planície litorânea junto à base da Serra do Mar não favorece a dispersão dos poluentes atmosféricos lançados diariamente pelas indústrias. Essa condição tem gerado sérios problemas de degradação da vegetação que cobre a área serrana, tendo sido detectados, em meados da década de 80, inúmeros escorregamentos do solo que cobre as encostas. Nessa época, o governo do estado, através da Cetesb, iniciou programa de controle da poluição industrial no município, incluindo o replantio de espécies nativas da Mata Atlântica que cobre as encostas. O presente estudo pretende verificar o estado de conservação dessa vegetação após seu replantio, utilizando sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica ou SIG.

ABSTRACT

The city of Cubatão, in the state of São Paulo, comprises significant industrial activities, mainly metallurgy of iron and steel, chemical and petrochemical. It is located in the littoral plain, at the bottom of the "Serra do Mar" mountain range, unabling the dispersion of the pollutants released daily in the atmosphere by all the industries. The amount of pollution was such in the early 80s that it caused severe damage to the vegetation, specially those located on the mountain slope. As a result, hundreds of soil sliding occurred, strongly affecting the landscape. At that time, the state government, through Cetesb, began a program to control industrial pollution in the municipality, which included sowing, "Mata Atlântica" native species over the degraded areas. The purpose of the present study is to verify the vegetation state of conservation after the sowing program, using remote sensing and GIS techniques.



Avaliação do Estado de Conservação

da Vegetação nas Encostas da Serra
do Mar – Município de Cubatão,
Utilizando Sensoriamento
Remoto e SIG

Introdução

A percepção dos graves efeitos sobre o ambiente, advindos dos atuais padrões de desenvolvimento, motivou a organização da Conferência de Estocolmo em 1972, a publicação do texto "Our Common Future" pela Comissão Brundtland em 1987, e a organização da Conferência do Rio de Janeiro em 1992. Tais conferências e textos buscaram estabelecer novos conceitos e metas para o desenvolvimento, culminando com a conhecida definição para desenvolvimento sustentável "atender às necessidades do presente, sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atender às suas próprias necessidades" e com a publicação da *Agenda 21*, programa mundial de ação a ser implementado pelos governos, agências de desenvolvimento e organizações das Nações Unidas em cada área onde a atividade econômica afeta o meio ambiente.

A constatação da existência de poluição do ar e das águas em larga escala, bem como dos desmatamentos dos últimos remanescentes florestais, com a extinção de espécies vegetais e animais, trouxe consigo uma nova preocupação para os planejadores: como conciliar desenvolvimento com conservação do ambiente, atendendo à premissa do desenvolvimento sustentável.

A inclusão de condicionantes ambientais aos aspectos socioeconômicos participantes do planejamento, tornou necessária a compreensão dos processos ambientais e a conseqüente busca de novas técnicas passíveis de aplicação em estudos envolvendo o meio ambiente.

Simultaneamente a esta constatação, a evolução tecnológica permitiu o uso de sensoriamento remoto, para gerar mapas temáticos diversos, e o desenvolvimento de sistemas apropriados para a análise geográfica computadorizada ou geoprocessamento. A análise computadorizada de dados espacialmente referenciados permite hoje uma vasta gama de aplicações entre os quais os estudos que relacionam diferentes aspectos do meio físico, visando a análise da paisagem.

Nosso objetivo neste texto é indicar as possibilidades de uso do geoprocessamento para planejamento e monitoramento, fornecendo as informações teóricas que consideramos essenciais à sua compreensão e utilização. Para ilustrar, apresentamos um estudo de caso, para o município de Cubatão – SP, desenvolvido a partir de imagens remotamente sensoriadas e de dados da literatura, e analisadas em ambiente de SIG (Sistema de Informações Geográficas), cujos sistemas fazem parte do geoprocessamento. Após o estudo de caso, o leitor vai encontrar, de forma resumida, os fundamentos teóricos que regem o sensoriamento remoto.

Localização da área de estudo

O município de Cubatão está localizado na planície litorânea do estado de São Paulo, entre a Grande São Paulo e os municípios de Santos e São Vicente, na faixa dos meridianos 46° 15' e 46° 30' e dos paralelos 23° 45' e 24° 00'. conforme mostra a Figura 1. Parte do município está situada na planície litorânea, onde encontram-se manguezais e matas de restinga, e parte na serrania costeira denominada Serra do Mar, bastante íngreme e coberta por Mata Atlântica.

Caracterização do núcleo urbano de Cubatão

Aspectos históricos e socioeconômicos

O núcleo urbano de Cubatão surgiu como pequeno porto (Porto das Armadias), no caminho de ligação entre Santos e São Paulo. Viajantes e mercadorias provenientes do exterior chegavam de barco ao porto e ali

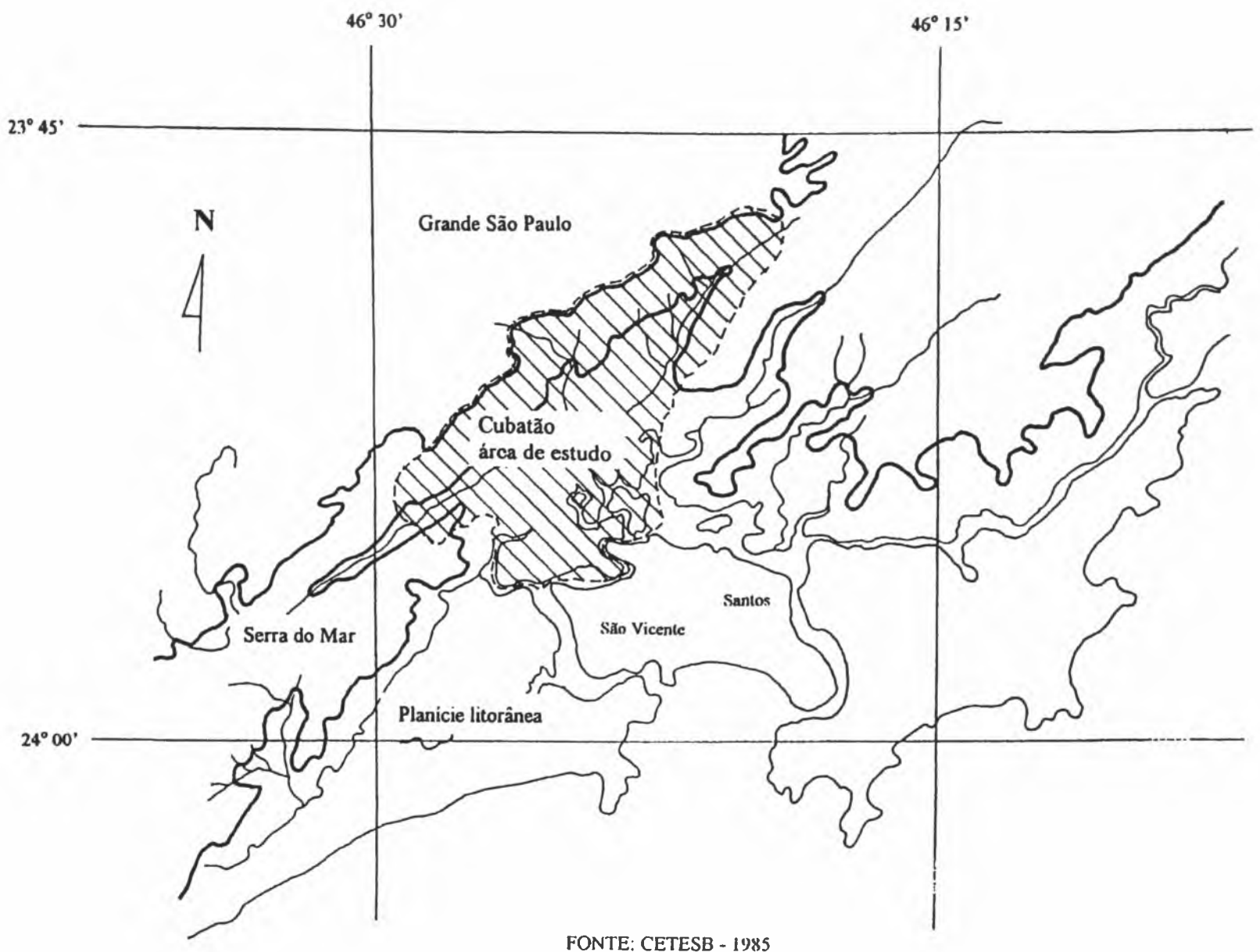


Figura 1 – Localização da área de estudo

substituíam o meio de transporte pelas tropas, ocorrendo processo inverso com as pessoas e os produtos vindos do planalto.

No início, a ligação litoral-planalto era apenas um caminho perigoso e sujeito ao ataque dos índios, mas com o passar do tempo e com o fluxo crescente de mercadorias foi sendo melhorado e pavimentado, até que no final do século 19 entrou em operação o ramal Santos-Jundiaí da estrada de ferro São Paulo Railway Co., facilitando imensamente a comunicação. No início do século 20 foi construída a primeira ligação rodoviária entre Santos e São Paulo, em 1947 foi construída a via Anchieta e em 1978 a rodovia dos Imigrantes (Afonso, 1996).

A abertura de novos caminhos foi se tornando necessária devido ao fluxo intenso de mercadorias importadas e exportadas, e foi

simultaneamente favorecendo a comunicação entre a Baixada Santista e o Planalto, propiciando o surgimento e desenvolvimento de outras atividades além do comércio dessas mercadorias, tais como atividades turísticas e industriais (Afonso, 1996).

Na primeira metade deste século, o núcleo de Cubatão foi escolhido para sediar importantes atividades industriais devido à sua proximidade de São Paulo e do Porto de Santos, e a facilidade de captação da água necessária aos processos industriais. Ali se localizaram indústrias de base com importância nacional, como a siderúrgica Cosipa, indústrias químicas, petroquímicas e de fertilizantes.

Cubatão manteve-se, no entanto, como núcleo urbano modesto, não tendo havido preocupação quanto ao planejamento da ocupação do solo. Isso possibilitou o surgimento de vários bairros periféricos para moradia dos operários e trabalhadores temporários sem recursos para aquisição de moradias. Assim foram e continuam sendo ocupadas ilegalmente terras pouco valorizadas ou áreas públicas, às margens de rodovias ou ferrovias, escarpas e manguezais, invadidas para construção de habitações para população carente.

Aspectos ambientais

Quando da escolha da localização da área industrial em Cubatão, levou-se em conta apenas a viabilidade técnico-econômica, esquecendo-se de considerar as condições ambientais da região, localizada no sopé da Serra do Mar. A serra comporta-se como uma barreira natural aos ventos de sul, sudeste e sul-sudoeste (Gutberlet, 1996), dificultando a dispersão das emissões industriais e fazendo com que sejam verificados níveis alarmantes de poluição atmosférica. Essa poluição provocou inúmeros danos à saúde dos habitantes do entorno industrial, tendo sido detectados, no início dos anos 80, casos de anomalias congênitas, perdas gestatórias, anencefalia e problemas pulmonares graves (Gutberlet, 1996). Provocou também acelerada degradação, por poluição atmosférica, da vegetação que cobre a Serra do Mar.

A Serra do Mar é coberta pela floresta pluvial tropical de encosta, também conhecida como Mata Atlântica. É bastante densa, possuindo grande biodiversidade e distribuindo-se de forma escalonada sobre as vertentes em geral muito íngremes.

Durante muitos anos as indústrias lançaram diariamente inúmeros poluentes atmosféricos, incluindo fluoretos, amônia, dióxido de enxofre, óxidos de nitrogênio e materiais particulados, provocando o desaparecimento irregular da vegetação florestal natural, substituída por espécies secundárias pouco diversificadas, capazes de suportar certa carga de poluição, mas incapazes de responder satisfatoriamente pela estabilidade do solo (Silva et al, 1991). Como a vegetação é importante agente inibidor da ação erosiva, sua degradação facilitou a ocorrência de escorregamentos de terra pelas encostas da Serra do Mar, ocorrência que se tornou generalizada no início de 1985 (Claudio et al, 1987).

Na ocasião, o governo do estado de São Paulo concluiu que seria necessária a adoção de medidas emergenciais para evitar os deslizamentos e controlar a poluição em Cubatão. Dentro do plano então elaborado buscou-se recuperar a vegetação destruída através do replantio manual e de semeadura aérea de espécies nativas. Essas atividades, a cargo da Cetesb, foram desenvolvidas no período chuvoso de 1988-1989

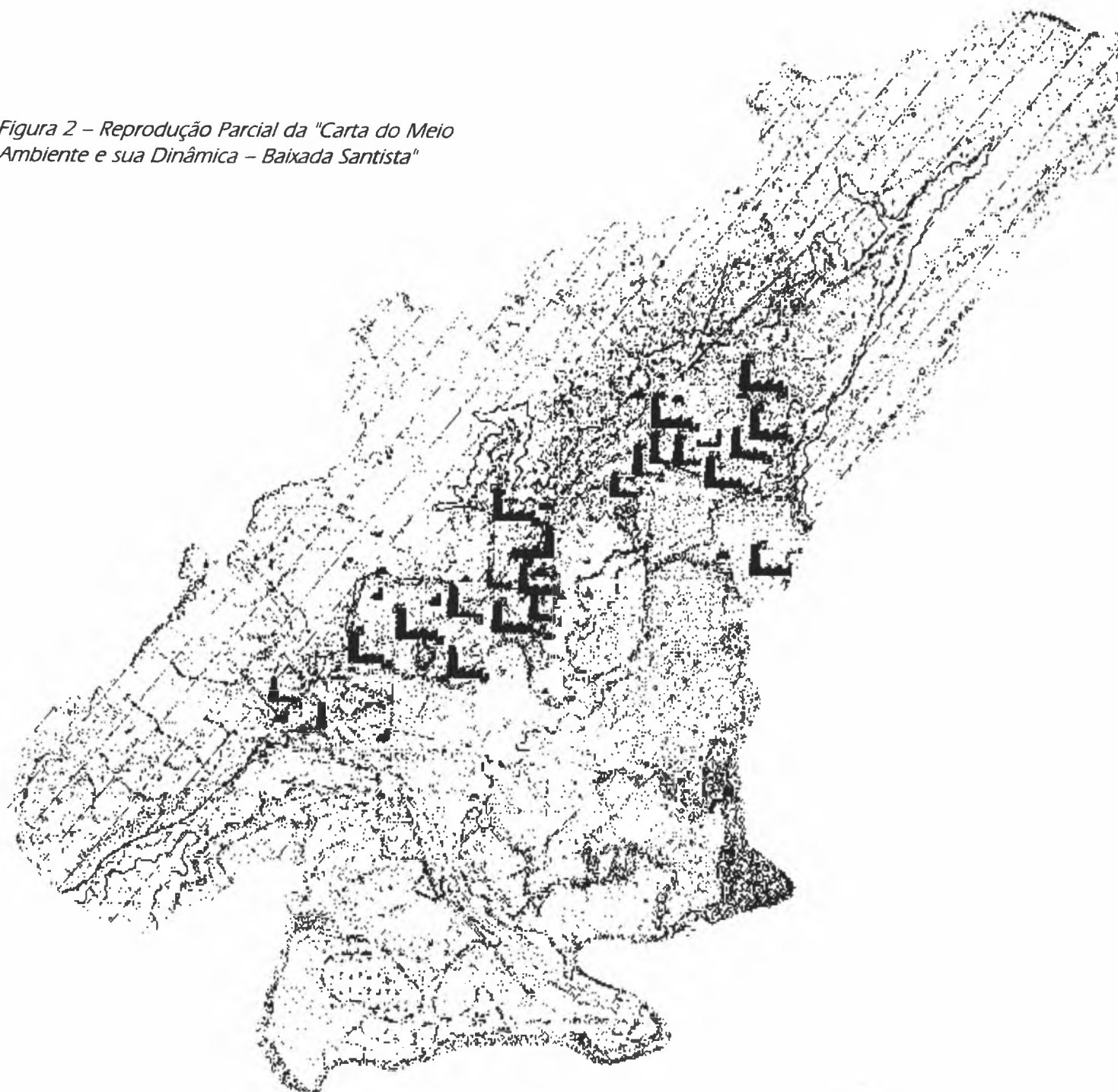
O estudo de caso, apresentado a seguir, visa ilustrar as possibilidades de utilização de sistemas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento, tendo-se escolhido monitorar as condições da área, então desmatada, nas encostas serranas de Cubatão. Para tanto, tomou-se como base as informações integrantes da “Carta do meio ambiente e de sua dinâmica – Baixada Santista” (Cetesb, 1985), conforme mostra a Figura 2. Nesta figura são indicadas as áreas então consideradas críticas, os escorregamentos, as modificações e degradações da vegetação natural. Dada a sua extensão apresenta-se apenas a legenda referente ao assunto em questão.

Partindo dessa informação cartográfica e utilizando os dados espectrais contidos nas imagens fornecidas pelo satélite Landsat-5, em 15.03.1992, para o município de Cubatão, foi possível verificar as condições das encostas após o replantio efetuado pela Cetesb, com o auxílio de técnicas de geoprocessamento.






Utilização de sensoriamento remoto e geoprocessamento em estudos ambientais

Com os recursos disponíveis hoje na área da computação, a análise geográfica ficou muito mais simplificada. Ficou mais fácil incluir dados





*Figura 2 – Reprodução Parcial da "Carta do Meio
Ambiente e sua Dinâmica – Baixada Santista"*



LEGENDA PARCIAL

-  Escorregamento
-  Mata altamente degradada
-  Mata moderadamente degradada
-  Mata pouco degradada
-  Vegetação de restinga degradada

FONTES DE POLUIÇÃO DO AR

-  Indústrias com risco potencial alto
-  Indústrias com risco potencial moderado
-  Indústrias com risco potencial leve
-  Indústrias virtualmente sem risco ambiental

FONTE: CETESB, 1985.

temáticos de diferentes origens, contidos na literatura, através da transferência para linguagem computacional (ou digitalização). Paralelamente, graças aos SIGs, ficou mais fácil utilizar informações espectrais obtidas por satélite, uma vez georreferenciadas, e compor outros planos temáticos, de modo a complementar a análise geográfica. A seguir, são apresentados alguns conceitos que consideramos básicos para a compreensão da metodologia utilizada no estudo de caso.

Sensoriamento remoto

Sensoriamento remoto, segundo Lillesand & Kiefer (1996), *“é a ciência e a arte de obter informações sobre um objeto, área ou fenômeno pela análise de dados adquiridos através de dispositivo que não esteja em contato com o objeto, área ou fenômeno sob investigação”*

A parte do sensoriamento remoto que ficou mais popular nos estudos ambientais são os sensores orbitais. Estes registram as radiações refletidas e emitidas pelos diferentes alvos presentes na superfície da Terra que são: vegetação, rochas e solos e as águas, operado quase que exclusivamente nas faixas do visível e infravermelho. O comportamento espectral destes três conjuntos de alvos, nestas faixas do espectro, é bastante conhecido e perfeitamente diferenciável.

Se analisarmos separadamente as respostas de cada faixa e se levarmos em conta que a ocupação humana da Terra pode ser avaliada pelas modificações (remoção ou implantação) na vegetação e nos corpos d'água, teremos:

- As águas refletem muito pouco no visível, quase chegando a zero no infravermelho. Os particulados em suspensão na água (mineral ou plâncton) são os responsáveis pela maioria da reflectância da água nessas faixas, por isso a qualidade da água pode ser quantificada a partir da análise apropriada de imagens nas faixas do visível (azul, verde e vermelho).
- A vegetação reflete muito pouco no visível, reflete muito no infravermelho próximo e volta a refletir pouco no infravermelho médio. No infravermelho próximo, quanto mais densa a vegetação maior a reflectância, permitindo que se estime a quantidade de fitomassa verde. O vigor da vegetação também pode ser medido avaliando o teor de água no interior das folhas através da reflectância no infravermelho médio.

- As rochas e os solos nus também se comportam de acordo com sua composição. No caso dos solos, os arenosos refletem mais que os argilosos, assim como os mais secos refletem mais que os úmidos. A presença de quartzo faz refletir mais em todas as faixas e a presença de ferro faz refletir menos na faixa do vermelho.

É possível analisar estes dados combinando-se duas ou mais imagens, conforme o caso. Se combinarmos três faixas e atribuirmos uma das três cores primárias a cada uma delas podemos ter alguns aspectos muito interessantes, embora apenas qualitativos. O uso e ocupação ficam bem destacados e permitem até uma fotointerpretação deste produto. A combinação pode ter o objetivo de gerar índices. O índice mais usado é o da vegetação de diferença normalizada que guarda uma relação direta com a quantidade de folhas verdes presentes naquela superfície. Este índice, resultante da divisão da diferença pela soma das imagens no infravermelho próximo e no vermelho, é diretamente proporcional à fitomassa foliar verde. Este índice vem sendo muito utilizado no mundo todo, desde o início da década de 70, tanto como estimador de fitomassa verde, como na previsão de safras.

Faixa Espectral	Utilização das Informações Espectrais
Visível (azul, verde e vermelho)	Análise do pigmento das folhas, da qualidade das águas superficiais e para localização de atividades humanas (cidades, estradas, etc.)
Infravermelho próximo	Análise da estrutura celular das folhas, discriminação de diferentes tipos de solo e para localização de corpos d'água
Infravermelho médio	Análise do teor de água existente no tecido das folhas, discriminação de diferentes tipos de solo e para conhecimento dos diferentes tipos de rochas e minerais
Termal	Mapeamento de diferenças de temperatura, análise de <i>estresse</i> na vegetação e para discriminação de diferentes tipos de solo
Microondas	Análise da condutividade (salinidade) das águas e da rugosidade superficial dos corpos

Para facilitar a utilização das imagens produzidas por sistemas de sensoriamento remoto em estudos ambientais, apresentamos a seguir um resumo das principais informações espectrais contidas em cada faixa do espectro eletromagnético.

Geoprocessamento

O conjunto de tecnologias de coleta, tratamento, manipulação e apresentação de informações espaciais, é também denominado geoprocessamento. Estão incluídos os sistemas de entrada e saída de dados, tratamento de imagens, criação de modelos numéricos de elevação do terreno, análise de superfícies e análise estatística, bem como os sistemas para cruzamento de todas essas informações que são os SIGs (Sistemas de Informações Geográficas).

O sistema de entrada de dados pode ser vetorial ou matricial. O sistema vetorial entra via digitalização enquanto o matricial entra via leitor de fita cartucho, *scanner*, CD ou imagem previamente elaborada. Há também a possibilidade de entrada de tabelas de valores que complementam dados em geral, desde que, é claro, estejam georreferenciadas. As imagens orbitais são sistemas matriciais que podem entrar via disquete, CD ou fita cartucho.

Estes sistemas são quase sempre gerados em coordenadas matriciais, necessitando que se faça seu georreferenciamento. Para auxiliar este trabalho usa-se o material cartográfico existente ou a tomada de pontos de referência com GPS no campo. Os mapas cartográficos e temáticos são mais facilmente manipulados se entrarem via digitalização, ou seja, na forma de vetor.

Os arquivos de vetores são facilmente manipuláveis, mas os arquivos matriciais (imagens) são mais fáceis de operar via computador. Por essa razão, usa-se transformar arquivo vetorial em imagem, especialmente quando o objetivo é cruzar.

Os sistemas de processamento de imagem também são utilizados para preparar as diversas imagens, classificando-as ou refinando-as para posterior cruzamento.

Os SIGs (Sistemas de Informações Geográficas) são sistemas computadorizados que visam a análise geográfica, ou seja, o cruzamento das informações geográficas, edafológicas, geológicas, biológicas,

antropológicas e estatísticas, que estejam na forma de mapas, gerando novos mapas. A base deste tratamento é a sobreposição (*overlay*) de imagens no mesmo formato e tamanho, mas com informações distintas. Para se fazer isso via computador, aplica-se a Lógica Booleana que consiste no seguinte:

- a adição de imagens classificadas constitui a união das mesmas;
- a multiplicação de imagens classificadas constitui a intercessão das mesmas;
- a negação.

Através do SIG, utilizando informações cartográficas digitalizadas e imagens orbitais armazenadas no sistema, é possível realizar diversas operações úteis às diversas áreas do conhecimento que lidam com monitoramento. Estas operações são, fundamentalmente, a obtenção de padrões espaciais selecionados a partir do banco de dados, criando mapas temáticos. Como exemplo, é possível obter mapa de declividades a partir de carta topográfica existente e, combinando-o com informações referentes ao tipo de solo e a incidência de chuvas, produzir mapas indicativos de zonas de fragilidade.

As possibilidades de aplicação em estudos e planejamento ambiental, indicadas no estudo de caso apresentado a seguir são, no entanto, mais amplas, permitindo inventariar, mapear e monitorar alterações nos recursos naturais, quantificar características ambientais ou avaliar mudanças e soluções alternativas de manejo ambiental para uma área determinada. A criação de mapeamento indicativo de áreas apropriadas para instalação de parque industrial em determinado município, de locais adequados para captação de água potável com fins de abastecimento público, ou a identificação de zonas urbanas sujeitas a enchentes são apenas alguns exemplos da vasta gama de aplicações possíveis para os SIGs.

Utilização do programa IDRISI para monitoramento da área desmatada nas encostas da Serra do Mar – Cubatão

O estudo apresentado analisa com o auxílio do programa IDRISI (Eastman, 1993), que apresenta sistema de informações geográficas e de processamento de imagens, no qual foram integradas as informações da “Carta do meio ambiente e de sua dinâmica – Baixada Santista” (Cetesb, 1985) na escala 1:50.000, com os dados

espectrais das imagens LANDSAT, faixas TM3, TM4 e TM5, de 15.03.1992, sobre o município de Cubatão. Com os dados da literatura e os dados atualizados de 1992 é possível monitorar a área desmatada por poluição atmosférica em locais de difícil acesso no município de Cubatão.

Antes, porém, as imagens foram georreferenciadas em relação à carta citada, de modo a ficarem sobrepostas.

Através da imagem “Índice de Vegetação” obtida através da operação aritmética $(TM4 - TM3) / (TM4 + TM3)$, na opção *overlay*, são identificadas para posterior classificação áreas cobertas por vegetação, de acordo com a quantidade de biomassa existente. Para monitoramento municipal ou regional, este tipo de informação pode ser muito útil, pois permite identificar, localizar e quantificar áreas em processo de desmatamento, uma vez que este índice indica a densidade de vegetação por área. No estudo de caso apresentado, identifica-se, via carta, a área de Mata Atlântica existente no município de Cubatão e, por sobreposição à imagem gerada “Índice de Vegetação” verifica-se seu grau de degradação. O fato das datas serem distintas (1985 e 1992) não inviabiliza sua comparação trazendo informações referentes ao quanto de uma determinada classe estabelecida em 1985 está conservada em 1992.

A seguir indicamos os principais passos percorridos, de modo que possam ser repetidos, e os resultados obtidos:

A. A partir da “Carta do meio ambiente e de sua dinâmica – Baixada Santista” foi elaborado um decalque em papel poliéster, selecionando, para o município de Cubatão, os dados referentes ao uso do solo (espaços construídos, espaços cultivados, espaços verdes) e algumas informações quanto a áreas florestais degradadas.

B. Estas informações georreferenciadas foram transferidas para o programa IDRISI via mesa digitalizadora, através do módulo TOSCA, gerando um arquivo de vetores que recebeu edição posterior, de modo a compatibilizar linhas e polígonos digitalizados.

C. O arquivo de vetores foi transformado em imagem através de processo de rasterização oferecido pelo módulo POLYRAS, gerando o arquivo “Uso do solo – Cubatão” apresentado na Figura 3.

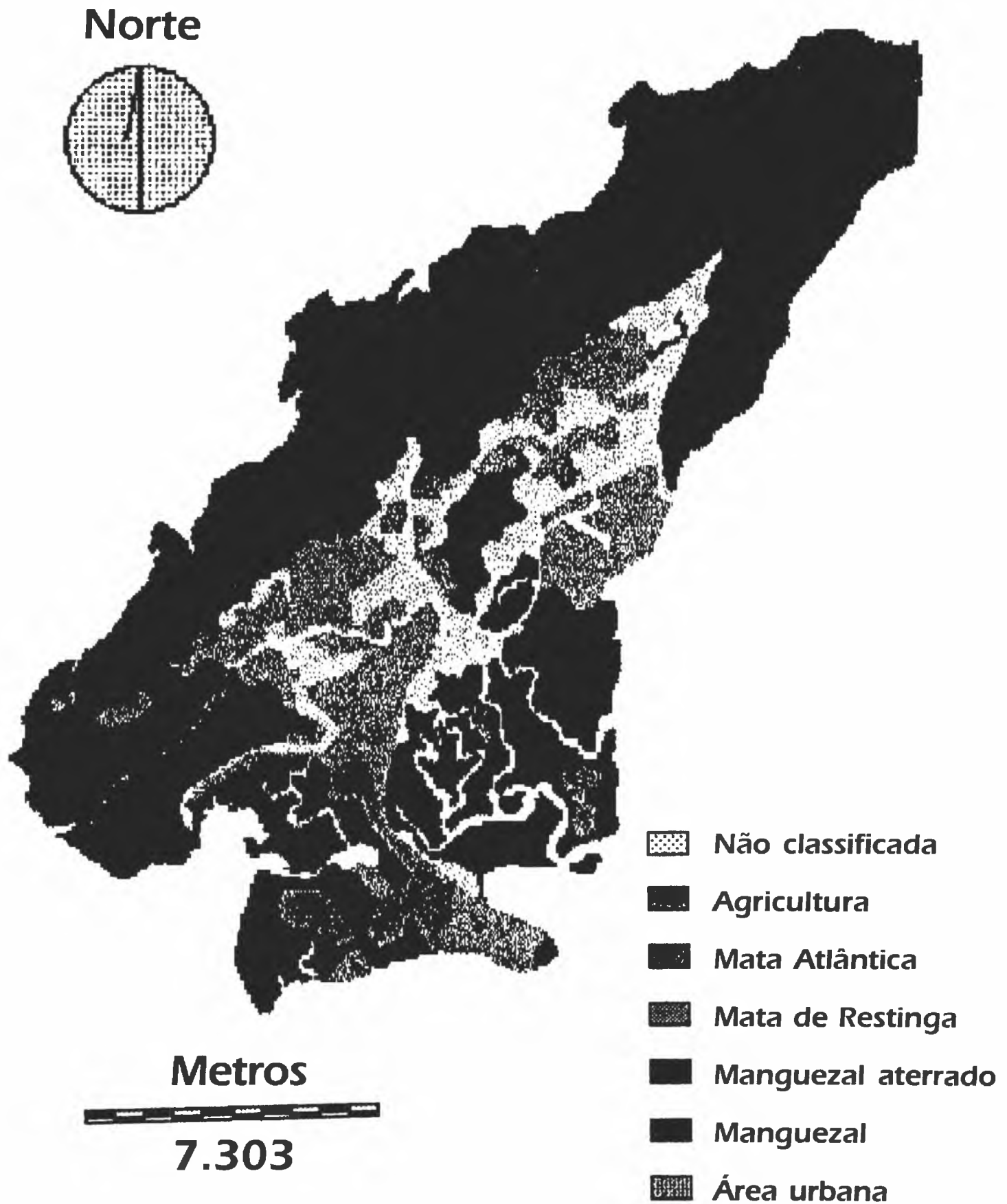
D. Simultaneamente foram transferidas para o programa IDRISI as imagens digitais obtidas em 1992, através do sistema de sensoriamento remoto, abrangendo a área do município de Cubatão, nas bandas TM3, 4 e 5 (respectivamente faixas do vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio).

E. Através da sobreposição do arquivo de vetores às imagens TM3, 4 e 5, foi identificada uma pequena divergência entre o georeferenciamento existente nas imagens e o digitalizado em conjunto com o arquivo de vetores, sendo necessário efetuar correção das coordenadas da imagem, compatibilizando-as ao sistema de referência do arquivo vetor, através do comando RESAMPLE, de modo a possibilitar execução posterior dos *overlays*.

F. A combinação das informações espectrais existentes nas faixas do infravermelho próximo e do vermelho, através do acionamento do módulo *overlay* – opção 5 (NDVI), permitiu obter a imagem “Índice de Vegetação – Cubatão” (Figura 4). Esta imagem indica a quantidade de vegetação existente na área selecionada. Nesta figura, a maior quantidade de vegetação é indicada pela tonalidade mais clara de cinza, quantidade essa que vai sendo reduzida na mesma proporção em que a tonalidade vai tendendo para cores escuras. Este “Índice de Vegetação” (NDVI) vem sendo usado desde o início da década de 70 como um excelente indicador da densidade de vegetação por área (Gamon et al., 1995). O recorte da imagem resultante, de acordo com a divisa municipal, foi feito extraindo-se do arquivo vetor o polígono referente ao limite de município (comando VECTEDIT), transformando-o em imagem pelo processo de rasterização e sobrepondo-o, na forma de máscara, através do comando *overlay*, à imagem “Índice de Vegetação – Cubatão”

G. A seleção da área de Mata Atlântica na imagem “Índice de Vegetação” foi obtida usando o comando VECTEDIT, onde foi gerado novo arquivo para a classe Mata Atlântica a partir do arquivo “Uso do Solo – Cubatão” Este arquivo foi posteriormente transformado em imagem (comando POLYRAS), reclassificado para uso como máscara (comando RECLASS), e sobreposto à imagem “Índice de Vegetação” (comando *overlay* – opção 5) para obtenção da imagem “Índice de Vegetação – Mata Atlântica” (Figura 5).

*Figura 3 – Uso do solo obtido a partir da Cetesb (1985)
convertido para formato digital*



**Cintia
Maria
Afonso &
Marisa D.
Bitencourt**

Avaliação do Estado de Conservação da
Vegetação nas Encostas da Serra do Mar
– Município de Cubatão, Utilizando
Sensoriamento Remoto e SIG

*Figura 4 – Índice de Vegetação (NDVI) obtido a partir
das imagens TM3 e TM4 do Landsat*

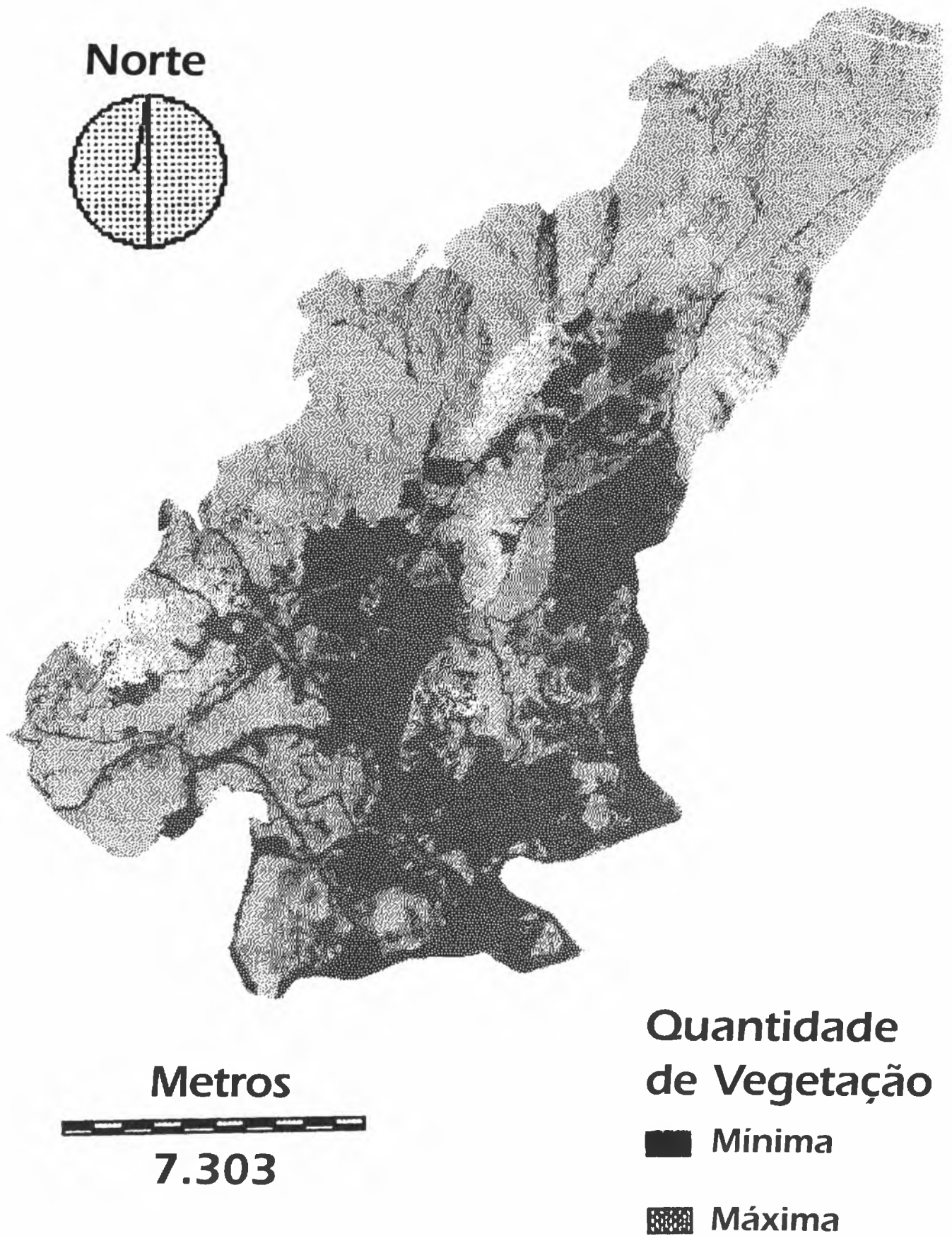
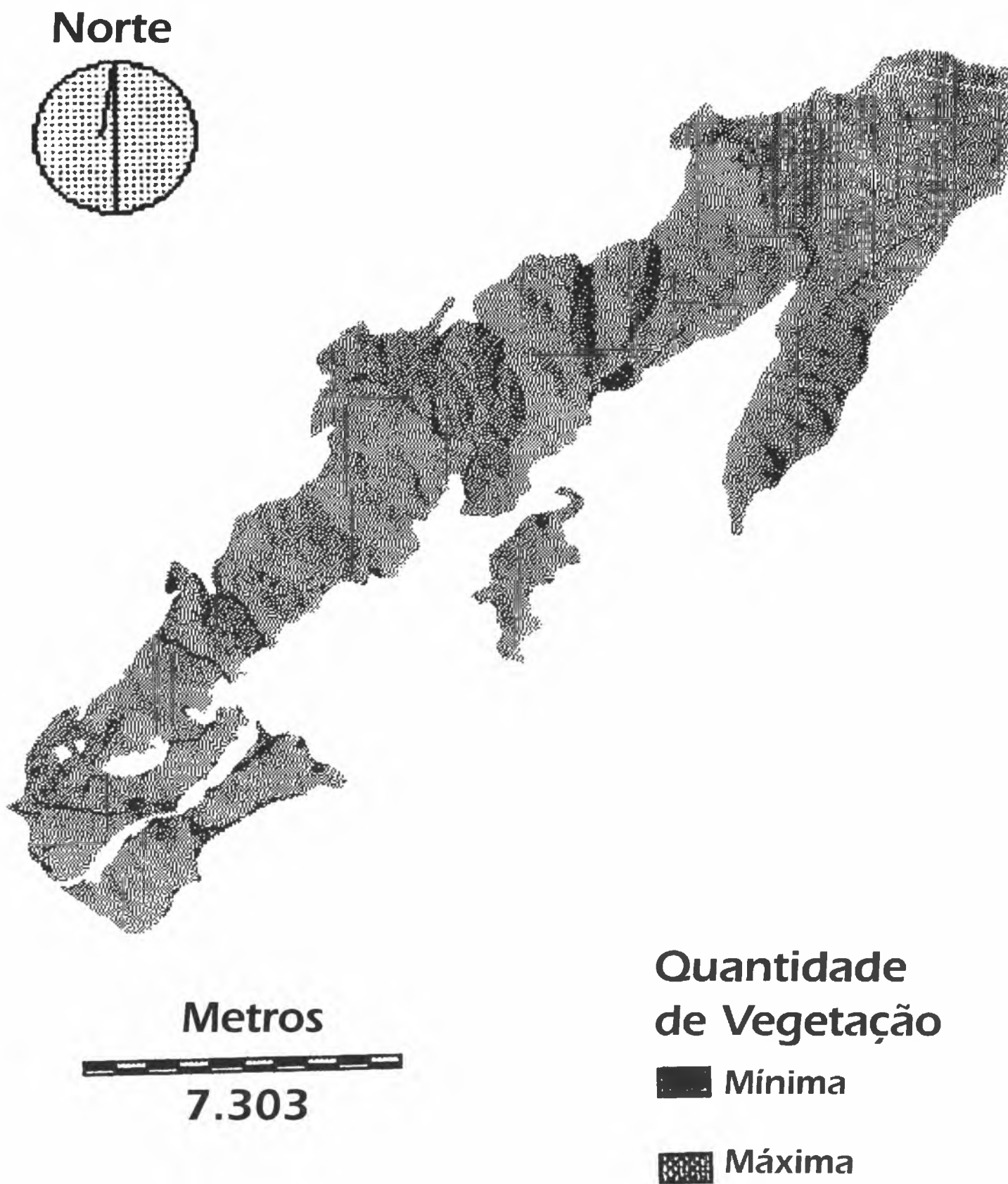


Figura 5 – Índice de Vegetação (NDVI) da Área de Mata Atlântica, obtido a partir da combinação das Imagens Índice de Vegetação e Uso do Solo



Analisando a imagem resultante “Índice de Vegetação – Mata Atlântica” verificamos que a mata de encosta, que na década de 80 encontrava-se degradada pela poluição atmosférica proveniente da emissão de gases oriundos das indústrias sediadas no município de Cubatão, em 1992, já estava (se não totalmente ao menos em boa parte) recuperada com os trabalhos de semeadura aérea executados pela Cetesb no final da década de 80.

A pêndice

Fundamentos teóricos do sensoriamento remoto

Sensoriamento remoto, segundo Lillesand & Kiefer (1996), *“é a ciência e a arte de obter informações sobre um objeto, área ou fenômeno pela análise de dados adquiridos através de dispositivo que não esteja em contato com o objeto, área ou fenômeno sob investigação”*

Para se obter este tipo de informação é necessário um sensor de energia eletromagnética, para cada faixa do espectro de interesse. Este sensor pode ser operado em terra, em plataforma aérea (avião) ou em plataforma orbital (satélite). Quando operado em plataforma aérea ou orbital, funciona juntamente com um sistema de imageamento. Existem sensores específicos para registrar tanto a energia eletromagnética emitida como a refletida.

Dependendo do modo como esta energia é rastreada e da faixa do espectro são feitas reproduções fotográficas em papel ou são produzidas imagens no formato digital. Neste último caso amplia-se o potencial de obtenção de informações para mapeamento e monitoramento dos recursos naturais terrestres, graças ao caráter multiespectral destas informações, ou seja, existe uma imagem para cada faixa do espectro.

No que se refere à sua utilização, estas informações podem ser interpretadas visualmente (através de reprodução fotográfica) ou via computador (através de imagem no formato digital). Independentemente do formato, informações sobre tipo, extensão, localização e condição dos recursos naturais são facilmente obtidas, e podem ser posteriormente cruzadas com dados referenciais ou de campo, gerando novos mapas ou pranchas.

A multiespectralidade e o imageamento são os grandes trunfos desta ciência ou arte. A partir de ambos é possível tornar “visível” aspectos e fenômenos, normalmente não visíveis ao olho humano.

A quantidade de faixas do espectro (resolução espectral) tem variado com os avanços tecnológicos, o que vem ampliando o potencial de utilização destes dados. Hoje, além dos sensores nas faixas do visível, há também sensores nas faixas do infravermelho próximo e médio, sem contar com o sensor na faixa do infravermelho distante ou termal. Há contudo, outras faixas do espectro eletromagnético sendo utilizadas para sensoriar corpos mineralizados ou feições geológicas. São as radiações gama e as microondas que têm sido pouco utilizadas para estudos ambientais, mas que têm potencial ainda inexplorado.

A radiação eletromagnética é uma forma de transferência de energia na forma de ondas eletromagnéticas que se propagam em qualquer meio. O espectro eletromagnético é composto pelas faixas de radiação conhecidas (luz, ondas de rádio, calor, raios ultravioleta), classificadas por comprimento de ondas, energia ou frequência. Os sensores capazes de registrar estas energias podem ser manuais, aéreos ou orbitais, podendo ainda ser classificados como ativos, que têm sua própria fonte de energia, ou passivos, que utilizam o Sol como fonte de energia. Deste astro a Terra recebe a maior parte da radiação conhecida. Os sistemas ativos são os radares, nos quais uma fonte de energia artificial emite, em direção à Terra, uma certa radiação que após interagir com a superfície retorna ao mesmo veículo emissor onde será processado de modo a gerar uma imagem da rugosidade e da condutividade. Os sistemas passivos se valem da luz do dia (o Sol é a fonte) e registram a interação da superfície com as radiações nas faixas do visível, infravermelho próximo e médio, cada um com um detector próprio. Os sistemas sensores orbitais ficaram populares pela sua previsibilidade, repetitividade e pela qualidade de seus produtos.

Do processo de interação entre energia eletromagnética e alvo, o que caracteriza o alvo é a sua propriedade de refletir e de emitir. Cada alvo interage de uma maneira peculiar refletindo mais ou menos nas faixas do visível e infravermelho próximo e médio e emitindo mais ou menos na faixa do infravermelho termal conforme sua temperatura real. Se agruparmos os principais componentes da superfície terrestre teremos as águas, as coberturas vegetais e as terras desprovidas de vegetação ou água. As águas normalmente refletem muito pouco e a cobertura

vegetal reflete mais à medida que fica mais densa. As áreas nuas refletem conforme sua composição mineral. É graças a essas propriedades que se torna possível produzir levantamentos e monitoramento de recursos naturais através de sensoriamento remoto. Assim, nas imagens geradas a partir dos sensores remotos observa-se uma relação direta com uma das duas formas de interação de energia, separadamente. Os sistemas sensores apresentam uma certa sensibilidade em registrar esta variação de energia conforme a faixa espectral. Nas faixas do visível e infravermelho próximo e médio, a resolução radiométrica é de 256 níveis de energia (no termal de 128 níveis de energia). O olho humano não é capaz de distinguir mais que 22 níveis de energia, por isso o sensoriamento remoto, principalmente o orbital, veio ampliar, em muito, a capacidade de distinguir os diversos alvos e muitos dos seus detalhes.

A imagem é uma matriz em cujas celas estão guardadas posição geográfica e nível de energia registrado (número digital). Cada cela ou "pixel" (*pictorial element*) corresponde no terreno a 30 x 30 m, no caso do satélite Landsat e a 20 x 20 m no caso do satélite Spot.

O conjunto de tecnologias de coleta, tratamento, manipulação e apresentação de informações espaciais, é também denominado geoprocessamento. Estão incluídos os sistemas de entrada e saída de dados, tratamento de imagens, criação de modelos numéricos de elevação do terreno, análise de superfícies e análise estatística, bem como os sistemas para cruzamento de todas essas informações que são os SIGs (Sistemas de Informações Geográficas).

Na entrada de dados, o único limite é que as informações devem estar georreferenciadas. Neste caso as fontes são: mapas cartográficos (topografia, hidrografia), mapas temáticos (geologia, geomorfologia, pedologia, uso e ocupação, limites políticos), imagens orbitais, fotografias aéreas e informações de campo referenciadas por GPS (*Global Position System*).

B I B L I O G R A F I A

- AFONSO, C. M. *Uso e ocupação do solo na zona costeira do estado de São Paulo: Uma análise ambiental*. São Paulo, 1996. Dissertação (mestrado). PROCAM-USP
- CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. *Carta do meio ambiente e de sua dinâmica: Baixada Santista*. São Paulo, 1985.
- CLAUDIO, C. S. B., BRAGA, C. Z. F., VALERIANO, D. M., KONO, E. C.; PONZONI, F. J., AGUIAR, L. S. J., BITENCOURT-PEREIRA, M. D., SANTOS, R. P. *Mapeamento do uso do solo, das cicatrizes de escorregamentos e caracterização preliminar da estrutura da cobertura vegetal da Serra do Mar em Cubatão – SP*. São Paulo: Cetesb, 1987, 85 p. e 4 mapas.
- EASTMAN, J. R. IDRISI Version 4.1. Clark University – Graduate School of Geography, Worcester, MA, 1993.
- FORESTI, C., HAMBURGUER, D. S. Sensoriamento remoto aplicado ao estudo do uso do solo urbano. In: TAUK, S. T. *Análise ambiental: uma visão multidisciplinar*. São Paulo: Unesp, 1991, p. 115-120.
- GAMON, J. A. et al. Relationship between NDVI, canopy structure, and photosynthesis in three Californian vegetation types. *Ecological Application*, v. 5, n. 1, p. 28-48, 1995.
- GUTBERLET, J. *Cubatão: desenvolvimento, exclusão social e degradação ambiental*. São Paulo: Edusp/Fapesp, 1996.
- LILLESAND, T. M., KIEFER, R. W. *Remote sensing and image interpretation*. 2 ed. Nova York: John Wiley & Sons, 1996.
- SILVA, I. X.; MORAES, R. P.; SANTOS, R. P.; POMPEIA, S. L.; MARTINS, S. E. – 1991. *Avaliação do estado de degradação dos Ecossistemas da Baixada Santista – SP*. Relatório Técnico 06/1991, 45 p. e 4 mapas.
- TURNER, M. G., GARNER, R. H. *Quantitative methods in landscape ecology*. Nova York: Springer-Verlag, 1993.
- WELCH, R., REMILLARD, M., ALBERTS, J. Integration of GPS, remote sensing, and GIS techniques for coastal resource management. *Photogrammetric engineering & remote sensing*. v. 58, n. 11, p. 1571-1578, 1992.

Agradecimentos

Ao Marcelo Hiromiti Matsumoto, pelo precioso auxílio na fase de edição das figuras.