

## **GEOPROCESSAMENTO PARA PROJETOS AMBIENTAIS**

*Gilberto Câmara*

*José Simeão de Medeiros*

*Antônio Miguel Vieira Monteiro*

### **23.1 INTRODUÇÃO**

Na perspectiva moderna de gestão do território, toda ação de planejamento, ordenação ou monitoramento do espaço deve incluir a análise dos diferentes componentes de ambiente, incluindo o meio físico-biótico, a ocupação humana, e seu interrelacionamento. O conceito de *desenvolvimento sustentado*, consagrado na Rio-92, estabelece que as ações de ocupação do território devem ser precedidas de uma análise abrangente de seus impactos no ambiente, a curto, médio e longo prazo.

Tal postura foi sancionada pelo legislador, ao estabelecer dispositivos de obrigatoriedade de Relatórios de Impacto Ambiental (RIMA), como condição prévia para novos projetos de ocupação do espaço, como rodovias, indústrias e hidroelétricas. Forma ainda a justificativa política para iniciativas como o Programa de Zoneamento Ecológico-Econômico, estabelecido pelo Governo Federal para disciplinar o desenvolvimento da região Amazônica.

Deste modo, pode-se apontar pelo menos quatro grandes dimensões dos problemas ligados aos Estudos Ambientais, onde é grande o impacto do uso da tecnologia de Sistemas de Informação Geográfica: *Mapeamento Temático*, *Diagnóstico Ambiental*, *Avaliação de Impacto Ambiental*, e *Ordenamento Territorial*.

Nesta visão, os estudos de Mapeamento Temático visam a caracterizar e entender a organização do espaço, como base para o estabelecimento das bases para ações e estudos futuros. Exemplos seriam levantamentos temáticos (como geologia, geomorfologia, solos, cobertura vegetal), dos quais o Brasil ainda é bastante deficiente, especialmente em escalas maiores. Tome-se, por exemplo, o caso da Amazônia, onde o mais abrangente conjunto de dados temáticos existente é o

realizado pelo projeto RADAM, no qual os dados foram levantados na escala 1:250.000 e compilados na escala 1:1.000.000.

A área de *diagnóstico ambiental* objetiva estabelecer estudos específicos sobre regiões de interesse, com vistas a projetos de ocupação ou preservação. Exemplos são os relatórios de impacto ambiental (RIMAs) e os estudos visando o estabelecimento de áreas de proteção ambiental (APAs).

Os projetos de *avaliação de impacto ambiental* envolvem o monitoramento dos resultados da intervenção humana sobre o ambiente, incluindo levantamentos como o feito pelo SOS Mata Atlântica, que realizou um estudo sobre os remanescentes da Mata Atlântica em toda a costa leste brasileira.

Os trabalhos de *ordenamento territorial* objetivam normatizar a ocupação do espaço, buscando racionalizar a gestão do território, com vistas a um processo de desenvolvimento sustentado. Neste cenário, estão em andamento hoje no Brasil uma grande quantidade de iniciativas de zoneamento, que incluem estudos abrangentes como o zoneamento ecológico-econômico da Amazônia Legal (Becker e Egler, 1997) até aspectos específicos, como o zoneamento pedo-climático por cultura, coordenado pela EMBRAPA.

Todos estes estudos tem uma característica básica: a *interdisciplinaridade* (Moraes, 1997). Decorrente da convicção de que não é possível compreender perfeitamente os fenômenos ambientais sem analisar todos os seus componentes, estes projetos buscam sempre uma visão integrada do questão ambiental.

Como consequência natural, o uso de Geoprocessamento em projetos ambientais requer o uso intensivo de técnicas de *integração de dados*. Diferentemente de aplicações como Cadastro Urbano, que lidam com um conjunto limitado de dados geográficos (essencialmente mapas no formato vetorial e tabelas de bancos de dados relacionais), os estudos ambientais - para ser feitos de forma adequada - requerem que o especialista em Geoprocessamento combine ferramentas de análise espacial, processamento de imagens, geo-estatística e modelagem numérica de terreno. Nesta perspectiva, o presente tutorial apresenta uma ênfase nos aspectos de integração de dados, procurando descrever toda a diversidade de dados e funções utilizados em projetos de Geoprocessamento para estudos ambientais.

A ênfase deste capítulo será na utilização das técnicas de análise geográfica para aplicações ambientais. O uso de sistemas de informação geográfica, como ferramentas de Cartografia Automatizada, para automatizar a produção de mapas topográficos já dispõe de metodologia conhecida e não será discutido aqui.

### 23.2 METODOLOGIAS PARA ESTUDOS AMBIENTAIS

Um dos conceitos mais tradicionais e utilizados em Geografia diz respeito à noção de *região*. Conceito importante a ponto de ser considerado por certas escolas como a base dos estudos geográficos (Moraes, 1995), a região apresenta uma grande diversidade de definições e abordagens, que tornam singularmente difícil de expressar num SIG.

Tal dificuldade leva a maior parte das aplicações de Geoprocessamento a representar a noção de região geográfica apenas a partir da delimitação de uma área de estudo (na prática, um retângulo definido por coordenadas geográficas), sem capturar a característica particular que possa distingui-la de seu entorno. Neste contexto, a maior parte das análises é baseada numa abordagem *ponto-a-ponto*: a região de estudo é dividida em pequenas células, e cada célula é examinada e processada separadamente de das demais.

A abordagem pontual, apesar de sua simplicidade de implementação e uso, apresenta algumas limitações. Como cada ponto é considerado independente dos demais, não há garantia de uma coerência espacial no resultado.

A alternativa refere-se ao uso de metodologias de Geografia Sistemática, muito utilizadas em estudos de Ecologia da Paisagem e de Ecodinâmica (Tricart, 1977), em conjunto com as alternativas mencionadas. A hipótese de trabalho da Geografia Sistemática requer a identificação prévia de áreas homogêneas, sobre as quais são realizadas as análises (de forma qualitativa ou quantitativa).

Esta hipótese é coerente com a visão de Hartshorne (1978), que propõe o conceito de uma área-unidade (*unit-area*) como uma partição ideal do espaço geográfico, definida pelo pesquisador em função do objeto de estudo e da escala de trabalho, que apresenta características individuais próprias; estas áreas-unidades seriam a base de um sistema de classificação e organização do espaço. A partir da decomposição do espaço em áreas-unidade, o pesquisador relacionaria, para cada uma destas partições, as correspondentes características físicas-bióticas que a individualizam em relação a todas as demais componentes do espaço.

Deste modo, podemos agrupar de forma genérica, as diferentes metodologias de análise ambiental em duas grandes classes:

- Análise integrada, baseados em métodos de combinação dos atributos descritivos das variáveis geográficas, onde cada localização é considerada independente das demais
- Estudos sistêmicos, que utilizam os conceitos de unidades-área.

### 23.3 ANÁLISE INTEGRADA

#### 23.3.1 Equação Universal de Perdas de Solos na Microbacia do Ribeirão Araras - Sp

Kuntschik (1996), trabalhando na microbacia do Ribeirão das Araras, em Araras, no Estado de São Paulo, implementou um modelo para a estimativa da perda de solos por erosão hídrica. Todo o projeto foi desenvolvido na escala 1: 50.000.

Para tanto, foram utilizadas técnicas de geoprocessamento, visando identificar dentro desta bacia, as regiões com maior susceptibilidade à perda de solos por erosão hídrica. O modelo escolhido é a Equação Universal de Perda de Solo (USLE). Este modelo leva em conta seis fatores: erosividade, dada pela capacidade da chuva de provocar desprendimento e arrasto de solo, erodibilidade, que quantifica a susceptibilidade de um solo a ser erodido pela chuva, fator topográfico que considera comprimento de encosta e declividade, e o fator antrópico, que inclui cobertura e uso do solo e práticas conservacionistas.

A partir do mapa de solos, cartas topográficas e dos valores numéricos correspondentes a cada fator considerado, foram criados arquivos matriciais em formato ASCII. Nestes arquivos, cada número representa o valor da grandeza para uma área quadrada de 250 m de lado no terreno. Estes arquivos foram tratados através de planilhas de cálculo e das funções disponíveis no SIG, sendo gerados os mapas de potencial natural de erosão (PNE) e de perdas solos calculadas (A), conforme mostram as Figuras 23.1 e 23.2.

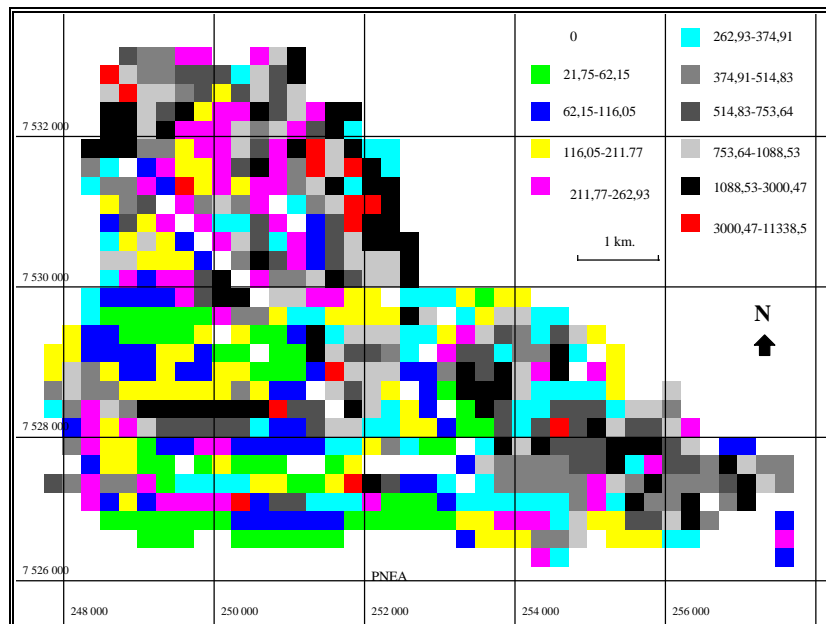


Fig.23.1. Potencial Natural de Erosão Anual (em ton./ha.ano<sup>-1</sup>). Fonte: Kuntschik (1996).

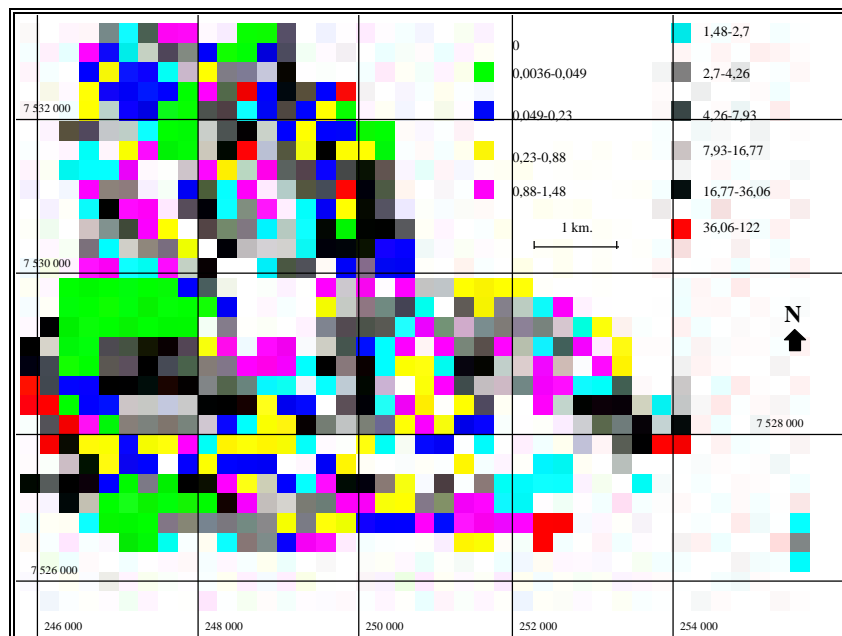


Fig.23.2. Perda de Solo Calculada (em ton./ha.ano<sup>-1</sup>) Fonte: Kuntschik (1996).

O potencial natural de erosão é dado pela seguinte equação:

$$PNE = R * K * LS$$

onde:  $R$  é erosividade da chuva anual,  $K$  é a erodibilidade do solo e  $LS$  é uma variável calculada a partir do comprimento da encosta  $L$  e declividade média  $S$  através da fórmula

$$LS = 0,00984 * L^{0,63} * S^{1,18}$$

A erosividade da chuva ( $R$ ) é dada por:

$$R = 67.335 (p^2/P)^{0,85}$$

onde  $p$  é a precipitação média mensal e  $P$  é a precipitação média anual.

Neste exemplo para a bacia do Ribeirão das Araras na região de Araras o valor de  $R$  corresponde a 6675. A erodibilidade do solo ( $K$ ), ou seja a resistência deste à ação da chuva, depende diretamente do tipo de solo em questão. Para cada tipo de solo há um valor associado de acordo com a tabela proposta por Lombardi Neto (1995).

A partir do mapa de altimetria, gerou-se um modelo numérico de terreno utilizando-se o interpolador TIN (grade triangular). Desta grade, gerou-se outra grade de declividade e um mapa temático com classes de declividade. O valor do comprimento da encosta ( $L$ ), ou percurso da água, foi obtido a partir de um mapa de distância entre o limite da bacia e os níveis mais baixos de altimetria, resultando em um modelo numérico do terreno.

A partir desta formulação metodológica, apresentamos a seguir um programa em LEGAL que realiza este procedimento. O LEGAL foi utilizado para:

- converter o mapa de solos em uma grade de valores de erodibilidade, utilizando-se a função PONDERE;
- converter o mapa de classes de declividade em uma grade de valores médios de declividade, utilizando o valor central de cada intervalo, também através da função PONDERE;
- aplicar a equação universal de perda de solo considerando todos os parâmetros acima, gerando uma grade onde cada ponto da superfície está associado ao valor de potencial natural de erosão.

Apresenta-se a seguir a sintaxe utilizada:

```
{
//Declaração das variáveis

Tematico solo ("solo"), decl ("declive");

Numerico S ("decliv-media"), K ("erodibilidade"),
          L ("encosta"), LS ("LS"), pne ("PNE");

Float    R = 6675.;

Tabela tabk (Ponderacao),      tabs (Ponderacao);

// Transforma Declividade em (S )declividade media

decl= Recupere(Nome = "Declividade");

S = Novo ( Nome = "DeclivMedia",      Representacao = Matriz,
          ResX = 250, ResY = 250, Escala = 100000, Min = 0, Max = 50);

tabs = Novo(CategoriaIni="declive",

            "0-3" : 1.5,              "3-6" : 4.5,
            "6-12" : 9.0,             "12-20" : 123.0,
            "20-40" : 30.0,           ">40" : 40.0 );

S = Pondere (decl,tabs);

//Transf. solo em erodibilidade (K)

solo= Recupere(Nome = "TiposdeSolo");

K = Novo (Nome = "Erodibilidade(K)", Representacao = Grade,
          ResX = 250, ResY = 250, Escala = 100000, Min = 0, Max = 1);
```

```

tabk = Novo (CategoriaIni = "solo",

    "pv2alva" : 0.0462,          "pv3Olaria" : 0.0280,
    "pv3+pv4" : 0.028,          "lrd+le1" : 0.0143,
    "lrdbaraogeraldo" : 0.0128,  "lreribpreto" : 0.0098,
    "le1+lrd" : 0.01514,        "LV4+LV3" : 0.0132
    "lvsmatodentro" : 0.0246,  "te" : 0.0181,
    "serrinha" : 0.0462 ,       "pv2usina" : 0.0462,
    "li3" : 0.0442,             "pv5" : 0.0462,
    "li2" : 0.0362 ,            "urbano" : 0,
    "li2+pv4" : 0.03292,        "lrd+lre" : 0.0116 ,
    "le1" : 0.0167,             "agua" : 0,
    "lv4speculas" : 0.0132,     "LV3LaranjAzeda" : 0.0132);

K = Pondere (solo, tabk);

// Calculo de LS

L= Recupere(Nome = "L-CompEncosta");

LS = Novo (Nome = "LS", Representacao = Grade,
    ResX = 250, ResY = 250, Escala = 100000, Min = 0, Max = 100 );

LS= 0.00984 * (L^0.63)* (S^1.18);

// Calculo de PNE

PNE = Novo (Nome = "PotNatErosao", Representacao = Grade,
    ResX = 250, ResY = 250, Escala = 100000, Min = 0, Max = 100);

PNE = R*K*LS;

}

```

Esta equação pode ser aplicada a outras áreas desde que os parâmetros de solo, altimetria e precipitação estejam disponíveis para a mesma.



### 23.4 ESTUDOS SISTEMICOS (REGIONALIZAÇÃO)

Em Geoprocessamento, denotamos por *regionalização* o processo de obter unidades homogêneas ou unidades territoriais básicas, a partir de procedimentos analíticos disponíveis num SIG. Também chamado de *zoneamento*, este processo objetiva produzir indicadores de planejamento ambiental que permitam orientar a gestão do território.

#### 23.4.1 A Região Geográfica

A noção de região geográfica é bastante utilizada nas Ciências da Terra e indica um particionamento do espaço geográfico em unidades com características homogêneas, sob o ponto de vista da análise a ser realizada. Sotchava (1977) recomenda que, para a elaboração de uma classificação de geossistemas, de uma maneira ou de outra (visual ou experimental) a área homogênea é o ponto de partida.

Por exemplo, conforme a proposta taxonômica de Bertrand (1971), a classificação das regiões geográficas está associada à escala de trabalho escolhida. Em suas palavras, “a definição de uma paisagem é função da escala”. Em seu trabalho, Bertrand indica sete escalas de grandeza espaciais, que vão desde uma *zona* composta de vários biomas (p.ex., a zona tropical), descendo sucessivamente aos níveis de *domínio*, *região natural*, *geossistema*, *geofácies* e chegando ao *geótopo*, a unidade mínima.

#### 23.4.2 O Processo de Regionalização em um SIG

O processo de regionalização parte de uma escala de trabalho e, por conseguinte, de uma definição de paisagem. Neste processo, conforme proposto por Ross (1993), pode ser gerado um único mapa cadastral composto por várias unidades de paisagem, onde cada unidade possui certas características particulares sob o ponto de vista biofísico ( geologia, geomorfologia, solos, cobertura vegetal e clima) e sócio-econômicas ( uso da terra).

Os critérios para realizar a regionalização dependem fundamentalmente das características do produto desejado. Para cada produto desejado, deve-se identificar variáveis explicativas, cujo interrelacionamento permite distinguir com detalhe suficiente as diferentes unidades homogêneas e realizar o particionamento do espaço geográfico de forma satisfatória, como por exemplo, é realizado no procedimento proposto por Crepani et al (1996).

Em síntese, este processo parte de um banco de dados geográficos no qual estão armazenados mapas cadastrais constituídos por geo-objetos (dos quais são

conhecidos os atributos descritivos e a representação espacial). Escolhe-se um dos atributos para obter o mapa temático resultante (que pode passar por um processo de fatiamento).

#### 23.4.3 Exemplo - Cartografia Fito-ecológica de Fernando de Noronha

Para exemplificar, considere-se a metodologia empregada em Batistella (1993) para realizar a cartografia fito-ecológica do arquipélago de Fernando de Noronha. A partir da interpretação visual de fotos aéreas, foram delimitadas 618 regiões homogêneas, que foram a base de um trabalho de campo. Para cada região homogênea, foi feito um questionário (que corresponde aos atributos descritivos) para 54 descritores, que incluem: formação vegetal dominantes, acomodação da vegetação pelo vento, regularidade de estrutura vegetal e acomodação da vegetação pelo vento. A Figura 23.3 indica as regiões homogêneas, oriundas da fotointerpretação.

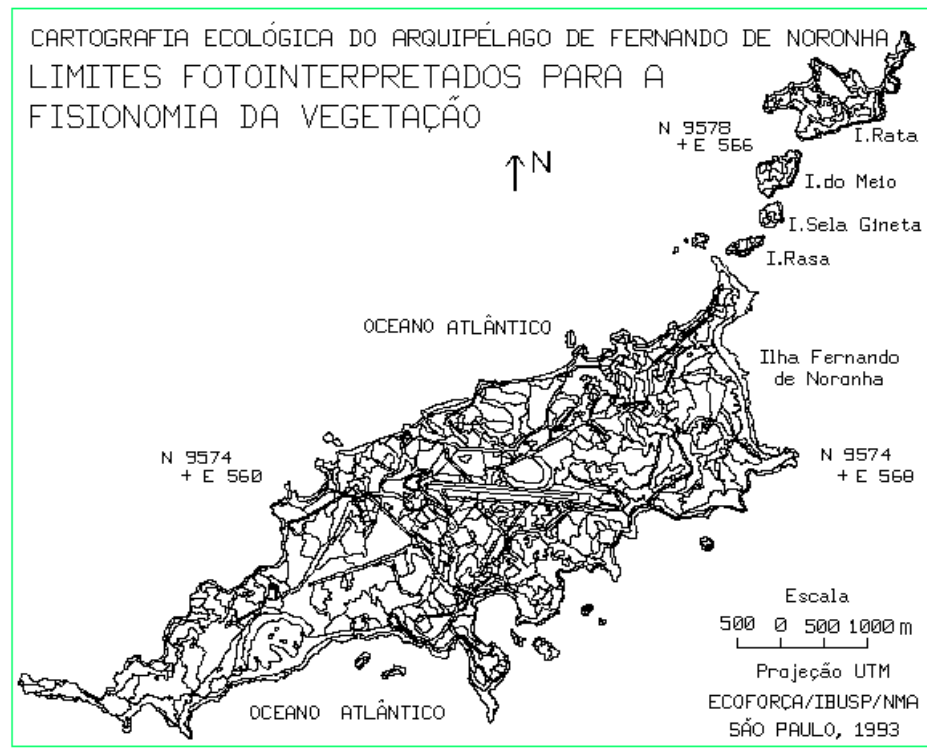


Figura 23.3 - Unidades homogêneas obtidas por fotointerpretação. Fonte: Batistella (1993).

Este trabalho de campo permitiu a criação de um banco de dados onde cada região possuía 54 atributos. A partir desta informação, foi possível gerar 78 mapas temáticos básicos e derivados, correspondendo aos temas do levantamento. Um dos mapas gerados (regularidade da estrutura vegetal) está mostrado na Figura 23.4.

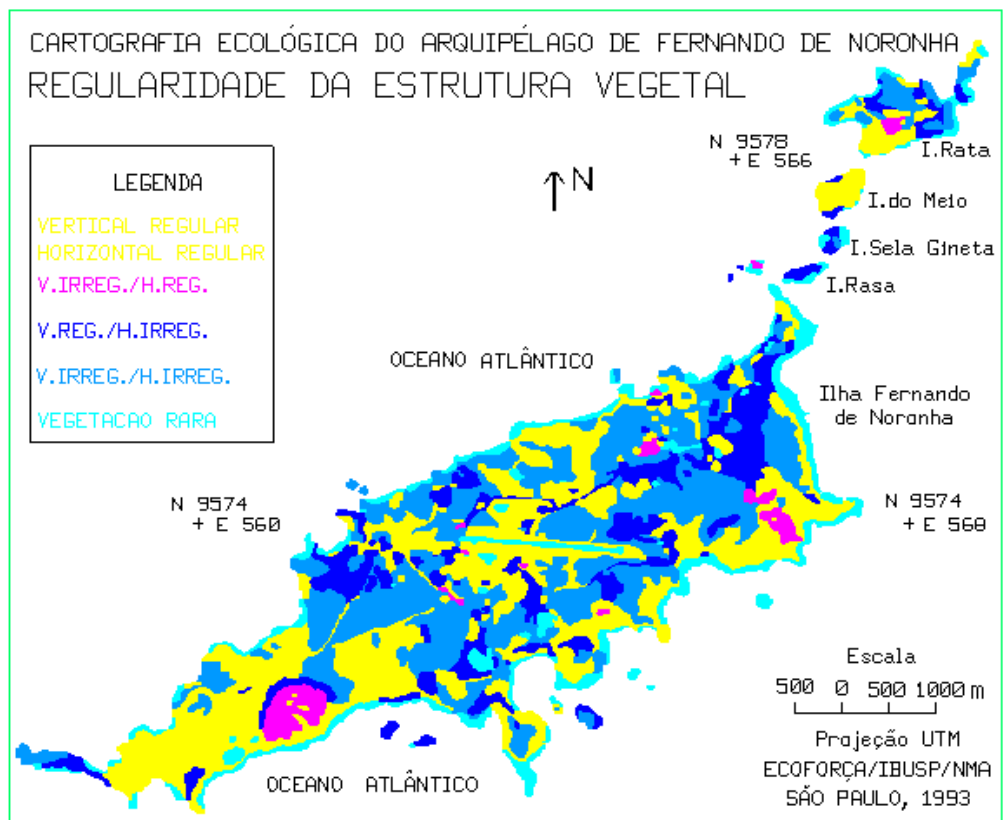


Fig. 23.4 - Carta de Regularidade da Estrutura Vegetal de Fernando de Noronha. Fonte: Batistella (1993).

A operação de reclassificação por atributos ilustra um ponto importante do Geoprocessamento: informações cadastrais devem ser armazenadas de forma integrada, com os atributos descritivos guardados num banco de dados tradicional (tipicamente relacional). Com isto, grande quantidade de mapas distintos pode ser gerada a partir da mesma informação básica.

#### 23.4.4 Exemplo de Regionalização: Zoneamento Ecológico-Econômico

Na metodologia para Zoneamento Ecológico-Econômico descrita em Crepani et al. (1996) e Becker e Egler (1996), o uso de imagens de satélite serve como base para definição de unidades de paisagem (chamadas *unidades territoriais básicas*). Uma *unidade territorial básica* (UTB) exprime o conceito geográfico de zonalidade através de atributos ambientais que permitem diferenciá-la de outras unidades vizinhas, ao mesmo tempo em que possui vínculos dinâmicos que a articulam a uma complexa rede integrada por outras unidades territoriais. Estas UTBs são definidas por

foto-interpretação em imagens de satélite e servem como âncora para a definição dos mapas derivados do meio físico-biótico.

Para exemplificar o ZEE, escolhemos uma parte do processo : a geração de uma carta temática de vulnerabilidade natural à erosão, parte do procedimento de caracterização do meio físico. O roteiro metodológico para elaboração destas cartas segue os seguintes passos:

1. Elaboração de um mapa preliminar de unidades homogêneas de paisagem obtidas a partir da análise e interpretação visual de LANDSAT/TM, considerando os padrões fotográficos identificados pela variação dos matizes de cores, e pelos elementos texturais de relevo e drenagem.
2. Associação de cada um dos mapas base de Geologia, Geomorfologia, Pedologia e Cobertura Vegetal a pesos que indicam a contribuição relativa de cada tema, para os processos de morfogênese e pedogênese. A partir de cada mapa temático, serão gerados modelos numéricos de terreno nos quais os valores estarão entre o mínimo de 1 (estabilidade com predomínio da pedogênese) e 3 (instabilidade, com predomínio da morfogênese). Por exemplo, no caso da Geologia, áreas com rochas resistentes à erosão são caracterizadas com valores próximos de 1.
3. Geração de mapas derivados, através de uma operação zonal entre o mapa de unidades territoriais básicas (UTB), obtido na etapa (1) com o modelo numérico de terreno resultante da ponderação de cada mapa temático, obtido na etapa (2). Esta etapa deverá produzir novos modelos numéricos, com a distribuição das contribuições da cada componente do meio físico esteja homogeneizada pela zonalidade das UTBs.
4. Realizar uma operação de média ponderada entre os mapas gerados na etapa (3), o que permitirá integrar a contribuição de cada componente do meio físico para as diferentes UTBs. O dado resultante será um único modelo numérico, com valores entre 1 e 3.
5. Proceder a um fatiamento do modelo resultante, gerando assim uma carta temática de vulnerabilidade natural a erosão.

A figura 23.5 ilustra o procedimento de integração dos dados de Geomorfologia.

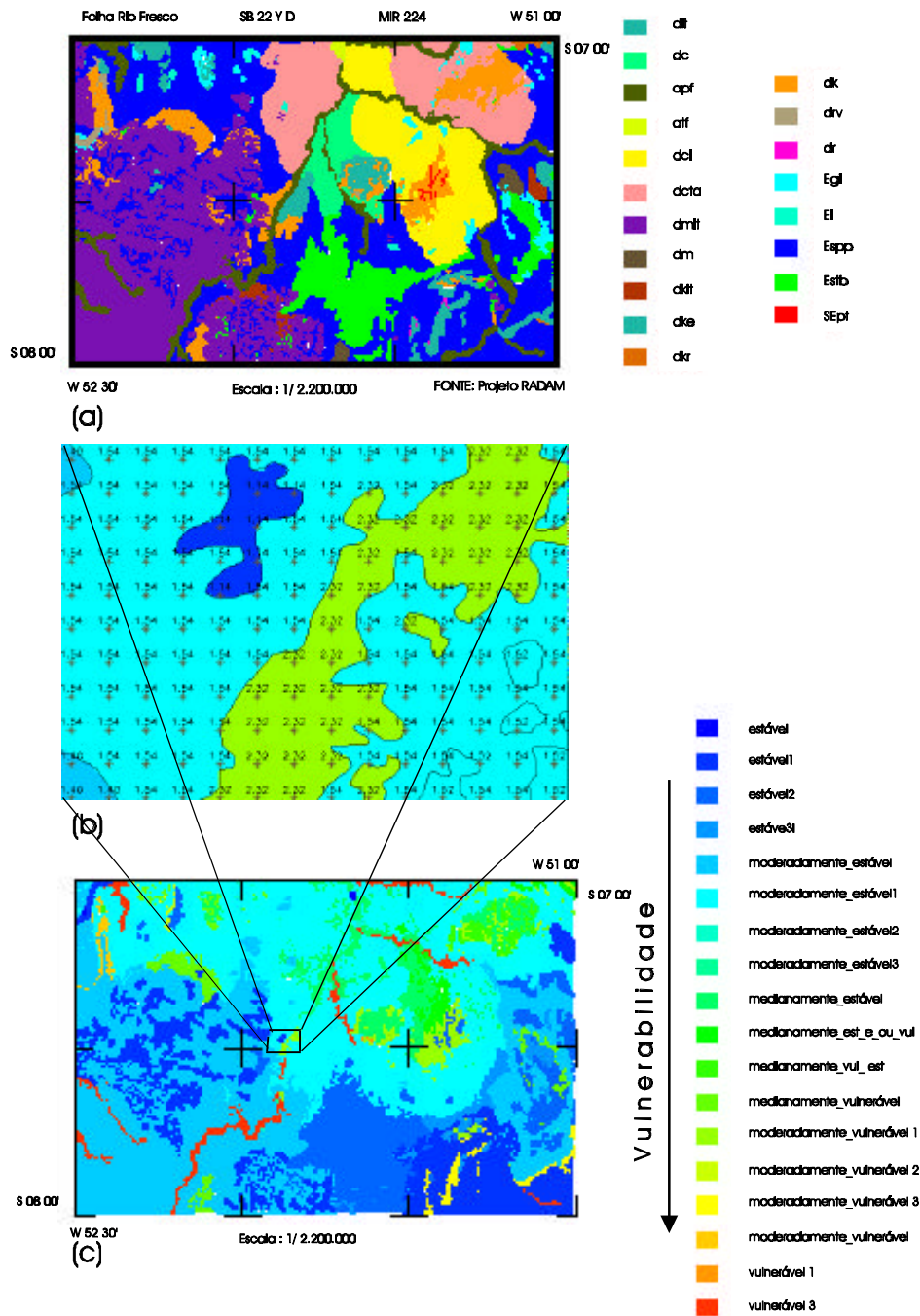


Figura 23.5 (a) Mapa temático de Geomorfologia.(b) Grade regular com os valores médios nas *utbs* para o tema Geomorfologia. (c) Mapa temático de vulnerabilidade das *utbs* relativa ao tema Geomorfologia.