

---

***ANÁLISE INTEGRADA DO AMBIENTE ATRAVÉS DE  
GEOPROCESSAMENTO - UMA PROPOSTA METODOLÓGICA  
PARA ELABORAÇÃO DE ZONEAMENTOS***

**Margareth Simões Penello Meirelles**

**TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS (D.Sc.).**

Aprovada por:

---

**Ana Luiza Coelho Netto, Ph.D.  
(Presidente)**

---

**Lia Osório Machado, Ph. D.  
(Instituto de Geociências/UFRJ)**

---

**Mauro Sérgio Fernandes Argento, D.Sc.  
(Instituto de Geociências/UFRJ)**

---

**Ubiratan Porto dos Santos, Ph.D.  
(Núcleo de Computação Eletrônica/UFRJ)**

---

**Suzana Druck Fuks, D.Sc.  
(Centro Nacional de Pesquisa de Solos/EMBRAPA)**

**Rio de Janeiro, RJ - Brasil**

**Maio de 1997**

---

---

**SIMÕES-MEIRELLES, MARGARETH PENELLO**

**Análise Integrada do Ambiente Através de Geoprocessamento - Uma Proposta Metodológica Para Elaboração de Zoneamentos [ Rio de Janeiro ] 1997.**

**xii, 192 p. 29,7 cm (IGEO/UFRJ, D.Sc., Geografia, 1997)**

**Tese, Universidade Federal do Rio de Janeiro, IGEO**

**1. Geoprocessamento                      2. Zoneamento**

**I. IGEO/UFRJ**

**II. Análise Integrada do Ambiente Através de Geoprocessamento - Uma Proposta Metodológica Para Elaboração de Zoneamentos [ Rio de Janeiro ]**

---

**À Marcelo e Marcela,  
e aos meus pais.**

---

## **AGRADECIMENTOS**

Ao CNPS/EMBRAPA (Centro Nacional de Pesquisa de Solos - EMBRAPA) pelo suporte material e pelo apoio à elaboração desta dissertação através da liberação das minhas atividades como funcionária para a conclusão deste trabalho.

AO CARTOGEO/UFRJ (Laboratório de Cartografia Automatizada e Geoinformação do Núcleo de Computação Eletrônica da UFRJ) pelo apoio e suporte técnico.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo suporte financeiro aos meus estudos na Holanda, durante a fase externa do doutorado 'sanduíche'.

Ao ITC (International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences) por proporcionar meu aprimoramento profissional, através de cursos, seminários, acesso a acervos bibliográficos e troca de experiência com seus professores e pesquisadores. Em especial, agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Herman Huizing, pela orientação e apoio e ao Prof. Dr. Dick van der Zee pelas inúmeras horas de discussões, por suas idéias e seus comentários.

Aos familiares (Jorge, Cléa, Gilberto, Mário, Maria Celina, Maura, Marcelo) e amigos (Tudinha, Bira, Maurício, Suzana, Ronaldo, Cris, Kátia), dentre outros, que de forma direta ou indireta contribuíram no dia-a-dia através da demonstração de amizade, presteza, carinho e estímulo, essenciais à renovação das forças.

---

**RESUMO DA TESE APRESENTADA AO IGEO/UFRJ COMO PARTE  
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU  
DE DOUTOR EM CIÊNCIAS (D.SC.).**

**Análise Integrada do Ambiente Através de Geoprocessamento - Uma Proposta  
Metodológica Para Elaboração de Zoneamentos**

**Margareth Simões Penello Meirelles**

**Mai de 1997**

**Orientador: Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Ana Luiza Coelho Netto**

**Instituto de Geociências - Programa de Pós Graduação em Geografia**

Este trabalho procurou investigar procedimentos metodológicos para a realização de projetos de Planejamento a nível Regional, mais especificamente de Zoneamentos.

A tônica da investigação recai sobre a realização de análises geobiofísicas e de comportamento sócio-econômico de forma integrada e a conseqüente criação de uma base de dados georeferenciados. Esta base de dados tem como unidade de acesso uma porção integrada do território denominada **unidade da paisagem**.

A partir desta unidade, diversas análises foram realizadas, dentro do ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), re-alimentando a base de dados com novas informações que, por sua vez, foram utilizadas na geração de diagnósticos da paisagem.

Este método de integração visa oferecer uma nova opção de análise territorial em relação a forma tradicional, onde os dados geobiofísicos são tratados em separado dos dados sócio-econômicos e onde não se considera a criação de uma unidade homogênea de acesso à base de dados.

No tocante à classificação temática, o uso da classificação convencional através de *médias ponderadas com pesos* no processo de modelagem em um SIG foi substituído pelo uso da classificação **fuzzy**. Desta forma, buscou-se diminuir a propagação de erros, normalmente evidenciada no primeiro processo mencionado.

A fim de se investigar o método que combina as técnicas de SIG com a abordagem integrada do ambiente para fins de zoneamento, a Bacia Hidrográfica da Baía de Sepetiba, no Rio de Janeiro, foi utilizada como estudo de caso. Esta é a primeira das cinco regiões a serem consideradas no Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Rio de Janeiro.

Através da abordagem desenvolvida neste estudo de caso, espera-se contribuir com o desenvolvimento de uma metodologia para elaboração de Zoneamentos Ecológicos-Econômicos, através da qual, aspectos relevantes do uso dos Sistemas de Informação Geográfica no Planejamento Geoecológico, considerando-se simultaneamente informações geobiofísica e sócio-econômicas são investigados.

Com os resultados obtidos pretendeu-se avaliar as vantagens da realização de um estudo de gerenciamento a nível regional baseado na análise integrada, bem como o grau de contribuição e participação dos Sistemas de Informação Geográfica como uma ferramenta para este processo.

---

**ABSTRACT OF THE THESIS PRESENTED TO IGEO/UFRJ AS  
PARTIAL FULFILMENT OF THE REQUIREMENTS FOR THE  
DEGREE OF DOCTOR OF SCIENCE (D.Sc.).**

**Integrative Approach for Environmental Analyses Through GIS - A Method for Zoning**

**Margareth Simões Penello Meirelles**

**May, 1997**

**Thesis Supervisor: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Ana Luiza Coelho Netto**

**Department: Geography**

This work aims at investigating a methodology for the elaboration of Regional Planning Projects, more specifically, Zoning Projects.

The main objective is to analyse geobiophysical as well as socio-economic aspects, in an integrated way, in order to create a spatial database, constituted by landscape units.

Using the landscape unit, a number of *Landscape Analysis* may be performed using a GIS environment, which will feed the database with new information. This information will then be used in the *Landscape Diagnoses* Process.

This integration methodology aims at providing a new contribution to landscape analyses, different from traditional methods, where geobiophysical information is treated separated from socio-economic information and where the creation of a homogeneous unit for landscape access is not considered.

Furthermore, for the classification process, the use of fuzzy logic is suggested. This classification process avoids the propagation error normally caused by the conventional Index Overlay Process.

In order to investigate the methods that combine GIS techniques together with Landscape Ecological approach for zoning, the Sepetiba Bay Watershed, in Rio de Janeiro, was used as a Case Study. This is the first of the five regions to be considered at the Ecological-Economical Zoning of Rio de Janeiro State.

In this way, the development of a set of methods is being researched in order to contribute with Planning Projects, representing and modelling natural and anthropogenic phenomena, in the same integrative way as they act in our environment.

---

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

***A crescente pressão sobre os recursos naturais vem criando competição e conflitos e resultando no uso sub-otimizado tanto da terra quanto de seus recursos. Planejamento físico integrado, planejamento de uso integrado e gerenciamento ambiental são os caminhos práticos para se chegar a solução para tais conflitos e para se mover em direção a um uso mais eficiente e efetivo da terra e de seus recursos naturais. Está reconhecido que esta integração deve se dar em dois níveis, considerando-se de um lado todos os fatores sociais e econômicos e de outro todos os componentes e fontes ambientais, tais como: ar, água, biota, geologia, recursos da terra etc.***

***Agenda 21 (UNCED, 1993)***

#### 1.1. INTRODUÇÃO

A abordagem integrada para o planejamento do uso e gerenciamento dos recursos naturais relaciona-se necessariamente a identificação e a avaliação de todos os atributos biofísicos e sócio-econômicos da terra. Para tanto, se faz necessária a identificação e o estabelecimento do que se pode ou não utilizar de cada unidade territorial, considerando-se o que é tecnicamente apropriado, economicamente viável, socialmente aceitável e ecologicamente não-degradante.

De acordo com o documento da Agenda 21 (FAO, 1993)<sup>1</sup>, conscientizações sobre o meio ambiente têm sido ressaltadas pelo recente crescimento da população do mundo, pelo aumento da interdependência sócio-econômica dos países e regiões, pelo aumento da conscientização do valor dos ecossistemas naturais e pela percepção de que as práticas atuais de uso da terra podem influenciar o sistema climático global.

Uma abordagem integrada, em vez de setorial, pode ser uma forma de se evitar e de se resolver conflitos relativos ao uso da terra e dos recursos hídricos, considerando-se que esta abordagem otimiza o processo de planejamento.

Segundo documento da ESCAP - *United Nations Economic and Social Commission for Asia and the Pacific Committee on Environmental and Sustainable Development* (ESCAP, 1994), a terra possui as seguintes funções:

---

<sup>1</sup>FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations

Capítulo 10 - Agenda 21 da United Nations Conference on Environment and Development (UNCED).

- 
- função de produção: é a base para a vida, através da produção da biomassa que provê alimentos, fibras, combustível e outros materiais bióticos, para o uso do homem;
  - função biótica e ecológica: a terra é a base da biodiversidade terrestre provendo *habitats* biológicos e reservas para plantas, animais e microorganismos, acima e abaixo da terra;
  - função de regulador climático: a terra e seu uso são fontes de gases, sendo, um co-determinante para o balanço energético global - reflexão, absorção e transformação da energia radioativa do sol e do ciclo hidrológico global;
  - função hidrológica: a terra regula o armazenamento e fluxo dos recursos da superfície e de sub-superfície, influenciando sua qualidade;
  - função de armazenamento: a terra é um “armazém” de recursos minerais e de matérias primas para o uso do homem;
  - função de controle de dejetos e poluição: a terra possui uma função de recepção, filtragem e transformação destes componentes;
  - função de espaço onde se desenvolve a vida: a terra provê espaços físicos para o assentamento humano, atividades industriais e atividades sociais, tais como: esporte e recreação;
  - função de arquivamento e herança: a terra é um meio de se armazenar e proteger evidências da história cultural da humanidade e uma fonte de informação das condições climáticas e de usos passados;
  - função de conector espacial: a terra provê, ainda, espaço para o transporte de pessoas, matérias e produtos, e para o movimento de plantas e animais entre áreas discretas dos ecossistemas naturais.

Unidades da paisagem ou unidades territoriais, possuem suas características e seu dinamismo próprios. Entretanto, a influência humana afeta este dinamismo enormemente, tanto em tempo quanto em espaço. A qualidade da terra pode ser melhorada através de intervenções humanas, por exemplo: através do controle de erosões naturais. No entanto, freqüentemente é o homem quem causa ou contribui com a degradação da terra.

As degradações podem ser controladas ou até eliminadas se houver uma utilização consciente e correta da terra, se todas as funções e características da terra forem levadas em consideração e se interesses de curto prazo de grupos privilegiados forem substituídos por interesses de longo prazo da sociedade como um todo.

A degradação da terra ocorre onde há ausência de planejamento, levando à super-utilização dos recursos naturais. Como consequência, os resultados têm sido freqüentemente, a miséria de largos segmentos da sociedade e a destruição de ecossistemas valiosos.

Estas visões estreitas devem ser substituídas por técnicas de planejamento e gerenciamento dos recursos naturais que sejam integradas, holísticas e centradas nos que utilizarão a terra. Isto assegurará a qualidade da terra a longo prazo para o uso humano, irá prevenir conflitos sociais relacionados com o uso da terra e irá conservar os ecossistemas com alta biodiversidade.

### **1.1.1. Contexto da Pesquisa: Planejamento para o Uso Sustentado dos Recursos da Terra**

O crescimento da população nos países subdesenvolvidos vem pressionando os recursos naturais que em geral são finitos e causando a degradação da terra. Abordagens baseadas em

---

planejamentos setoriais visando a diminuição deste problema, no entanto, não têm sido efetivas.

Uma abordagem integrada que acomode as qualidades e limitações de cada unidade territorial e que produza opções viáveis de uso da terra, vem sendo a nova bandeira defendida pela FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*) e discutida no capítulo 10 da Agenda 21 (FAO, 1995) da *United Nations Conference on Environment and Development (UNCED)*.

Normalmente os problemas de uso da terra são derivados dos conflitos entre o meio ambiente *versus* metas de desenvolvimento e/ou conflitos provenientes da ocupação desordenada dos centros urbanos. Este cenário implica na discussão quanto a tomada de decisão em relação a utilização dos recursos, em geral escassos.

Segundo a Agenda 21 (FAO, 1995) os objetivos da Abordagem Integrada são:

- *rever e desenvolver políticas para suportar a melhor utilização possível da terra e do uso sustentado dos recursos naturais.* As decisões de uso da terra devem ser realizadas baseadas na geração do máximo benefício, tanto para o usuário imediato da terra, quanto para a comunidade. Estas percepções estão relacionadas ao ambiente social, econômico e legal. As políticas e programas de governo devem influenciar este ambiente.
- *umentar ou fortalecer o planejamento, gerenciamento e avaliação dos sistemas de gerenciamento dos recursos da terra.* Estes sistemas se relacionam à coleção e avaliação de informações relevantes para permitir o tomador de decisão, seja ele o dono da terra ou o governo, otimizar a realização dos objetivos.
- *fortalecer mecanismos de coordenação para os recursos da terra, de forma a estarem completamente capazes de implementar políticas e sistemas.* A interação com os utilizadores da terra em todos os níveis é essencial para produzir a quantidade necessária de alimentos, elevar padrões sociais a níveis aceitáveis, gerenciar os ecossistemas de forma sustentável e preservar a biodiversidade.
- *criar mecanismos que irão assegurar o envolvimento ativo e a participação de todos os interessados.* Isto deve incluir particularmente a comunidade e a população à nível local, em decisões relativas ao uso da terra e seu gerenciamento.

Para o sucesso deste programa dois componentes se fazem necessários:

i) o desenvolvimento de uma metodologia constituída de procedimentos seqüenciais, que resultem na transformação das informações relativas aos fatores físico, econômico e social em um planejamento que possibilite a obtenção de um uso sustentável dos recursos da terra;

ii) componente institucional, estruturado de tal forma que garanta a implementação destes procedimentos com sucesso.

O contexto deste trabalho de pesquisa visa contribuir com o primeiro componente, ou seja, o desenvolvimento de uma metodologia que reúna as características geiofísicas e sócio-econômicas da terra segundo uma abordagem integrada, capaz de considerar a dinâmica envolvida na integração destes fatores.

## **1.2. MOTIVAÇÃO, FORMULAÇÃO DO PROBLEMA E SELEÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

O presente estudo visa explorar soluções metodológicas para a diminuição das conseqüências incomensuráveis e negativas do uso e ocupação desordenados e incontrolados do território.

---

Este processo indesejável leva a mudanças irreversíveis no meio ambiente, consequência desta ocupação e uso indevidos da terra, que necessitam ser evitadas através da execução de projetos de planejamento e de ações políticas.

Desde a era industrial, o crescimento da população e das cidades vem sendo acelerado, especialmente após a Segunda Guerra Mundial.

O processo de urbanização, no entanto, vem acompanhado do aumento dos problemas ambientais. Ao se exceder a capacidade de carga local em relação a demanda de energia, disposição de dejetos, oportunidades de empregos e busca de outras necessidades, a expansão urbana leva a apropriação indevida da capacidade de carga e da extração de recursos de outras áreas. Todo este processo gera conflitos de uso, onde normalmente as perdas de áreas agrícolas, de *habitats* naturais e de outros espaços tornam-se conseqüentes realidades.

Poluição, crise energética, excesso de dejetos, desemprego são problemas comuns resultantes da concentração urbana. Num país de dimensões continentais como o Brasil, normalmente, a migração da população para áreas urbanas causa a desertificação de determinadas áreas muitas vezes com potencial agrícola, pesqueiro e turístico, dentre outros. A falta de planejamento regional em geral tem como consequência esta cadeia de desequilíbrio, na qual, fatores ambientais estão diretamente relacionados com fatores políticos, culturais, sociais e econômicos.

A otimização da utilização do território é necessária para ajudar a solucionar conflitos de uso do solo e seus conseqüentes danos ambientais e sociais. Esta otimização é possível através de uma política de ordenamento territorial, baseada no estudo e na elaboração de um planejamento a nível regional.

De acordo com a Agenda 21 (*op. cit.*), informações sócio-econômicas devem ser utilizadas juntamente com as informações geo-ambientais, para garantir a inclusão das características sociais no contexto do planejamento. Além disto, as ações devem ser suportadas por uma base de dados de recursos naturais e seu uso combinado através de Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Alguns trabalhos vêm sendo realizados neste sentido, no entanto, existe uma carência ainda grande de uma metodologia capaz de reunir a análise integrada às técnicas de Geoprocessamento através dos SIGs, a fim de contribuir com uma modelagem realística dos fatores da terra, suas características e seus usos, considerando a dinâmica de seu comportamento através da inclusão dos fatores sócio-econômicos, contribuindo, desta forma, para o desenvolvimento de um planejamento a nível regional.

Pode-se citar alguns esforços no Brasil neste sentido, como o trabalho desenvolvido pelo INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais) que desenvolveu uma metodologia para a elaboração da primeira fase do Zoneamento Ecológico-Econômico dos Estados da Amazônia Legal.

Esta metodologia, utiliza imagens do satélite TM-LANDSAT na escala 1:250.000 para a elaboração de um mapa de unidades homogêneas de paisagem e baseia-se na geração de cartas de vulnerabilidade natural a erosão. O método foi desenvolvido a partir do conceito de ecodinâmica de (TRICART, 1977), estabelecendo uma relação morfogênese/pedogênese. De acordo com este conceito, quando predomina a morfogênese, prevalecem os processos erosivos modificadores das formas do relevo, e quando predomina a pedogênese prevalecem os processos formadores de solos.

Entretanto, esta metodologia não considera os fatores sócio-econômicos de forma integrada aos fatores geobiofísicos, a dinâmica inerente ao todo integrado e sua atuação conjunta na análise da vulnerabilidade, em vez disto, somente são analisados os fatores geobiofísicos que causam erosão.

---

No exterior, o trabalho de (QUINTELA, 1995) e os métodos lecionados por (ZONNEVELD, 1995) podem ser citados. No entanto, ainda não se conseguiu desenvolver uma metodologia capaz de reunir de forma única e integrada todos os fatores atuantes no ambiente, ou seja: fatores geobiofísicos + sócio-econômicos.

Segundo (BECKER and EGLER, 1996) as unidades territoriais básicas são células elementares de informação e análise para estudos de planejamento. Cada unidade possui um conjunto de informações fundamentais à manutenção e à reprodução da vida e faz parte de um conjunto que desempenha funções específicas no desenvolvimento do ambiente.

As **unidades territoriais** básicas são entidades geográficas que contém **atributos ambientais** que permitem diferenciá-las de suas vizinhas, ao mesmo tempo em que possui **vínculos dinâmicos** que a articulam a uma complexa rede integrada por outras unidades territoriais. Estes vínculos dinâmicos devem ser respeitados e, portanto, considerados na modelagem a ser realizada.

Desta forma, a metodologia proposta neste trabalho considera que o uso dos conceitos de integração da Ecologia da Paisagem devem ser utilizados, a fim de possibilitar a representação destes vínculos dinâmicos.

Para tanto, técnicas de Geoprocessamento e conceitos relativos a abordagem holística serão pesquisados visando a elaboração de métodos que venham a contribuir com o planejamento da terra a nível regional.

Os conceitos de integração advindos da Geoecologia ou Ecologia da Paisagem, onde se sustenta a abordagem sistêmica através da utilização integrada de todos os parâmetros que descrevem o ambiente, e a tentativa de inovar estes conceitos considerando também os fatores sócio-econômicos nesta integração serão avaliados neste trabalho. Esta avaliação, juntamente com a tentativa de aplicação de novas ferramentas nos Sistemas de Informação Geográfica que permitam a modelagem do ambiente e a elaboração de análises e diagnósticos sócio-ambientais baseados nestes conceitos, são a base teórico-metodológica e a motivação deste trabalho.

O projeto de Zoneamento Ecológico Econômico do estado do Rio de Janeiro (ZEE-RJ) é o primeiro passo na execução do planejamento regional deste estado. A área da bacia da baía de Sepetiba, por ser a primeira fase de elaboração deste projeto de Zoneamento, foi escolhida como área de estudo, onde os métodos pesquisados serão aplicados.

Para a realização deste estudo, adotou-se a seguinte distribuição temática em capítulos:

O **capítulo 2** apresenta o contexto do Planejamento Regional, termos, definições e conceitos envolvidos, além de apresentar o Planejamento dentro de uma abordagem integralista, evidenciando a necessidade do desenvolvimento de uma metodologia.

O **capítulo 3** trata dos conceitos relativos a integração e análise integrada, teoria chave a ser pesquisada e aplicada para a elaboração de uma metodologia para o planejamento regional. Este capítulo traz uma revisão dos fundamentos teóricos da doutrina da Ecologia da Paisagem, bem como os fundamentos metodológicos desta ciência. Disserta, também, sobre o enfoque evolutivo-dinâmico utilizado na análise integrada da paisagem e como a análise sistêmica pode colaborar na realização de projetos de planejamento a nível regional.

O **capítulo 4** refere-se a novas técnicas de classificação para a análise integrada nos Sistemas de Informação Geográfica. Apresenta a lógica *fuzzy*, sua teoria e vantagens em relação a melhoria de qualidade na modelagem e diminuição da propagação de erros ao se realizar as análises temáticas.

---

O **capítulo 5** descreve a metodologia proposta neste trabalho, baseada na integração das informações sócio-econômicas e geo-ambientais e na utilização das novas técnicas de Geoprocessamento apresentadas no capítulo 4. Descreve também as análises e diagnósticos sugeridas, dentro de um ambiente SIG, para um projeto de planejamento tal como o projeto de Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Rio de Janeiro.

O **capítulo 6** descreve em detalhes o estudo de caso realizado na Bacia da Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro, primeira fase do ZEE-RJ, onde os processos pesquisados foram aplicados.

O **capítulo 7** apresenta as conclusões obtidas após a pesquisa e aplicação destes métodos e recomendações futuras, incluindo a possibilidade de se utilizar um sistema de suporte à decisão como uma ferramenta para a elaboração de planejamento à nível regional.

### **1.3. HIPÓTESE DE PESQUISA**

A aplicação dos conceitos advindos da Ecologia da Paisagem subsidiadas pelas ferramentas disponíveis em um Sistema de Informação Geográfica podem ser utilizadas para simular o comportamento integrado e dinâmico do ambiente em que vivemos. A utilização destas duas abordagens pode contribuir para o desenvolvimento de métodos para a realização de Projetos de Planejamento a nível Regional.

### **1.4. OBJETIVOS DA PESQUISA**

Desenvolver uma metodologia que possa ser utilizada por pesquisadores interessados em Planejamento Regional baseada na integração das características geo-biofísicas do ambiente juntamente com os aspectos sócio-econômicos e o uso de Sistemas de Informação Geográfica como uma ferramenta para a elaboração desta integração e futuras análises.

#### **1.4.1. Objetivos Específicos**

Estudar as formas de se utilizar os Sistemas de Informação Geográfica como uma ferramenta para o Planejamento Integrado do ambiente através da especificação de procedimentos de análise que poderão ser realizados no banco de dados ecológico-econômico a ser gerado, bem como a especificação de procedimentos de diagnose que poderão ser derivados destas análises.

Avaliar o desempenho da utilização de novas técnicas de classificação, baseadas na lógica *fuzzy*, como uma forma de aumentar a precisão dos resultados e de se modelar o ambiente integrado .

Aplicar este método a área da Bacia da Baía de Sepetiba, como área teste do Projeto de Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Rio de Janeiro.

### **1.5. QUESTÕES LEVANTADAS PELA PESQUISA**

Em quais partes do processo de planejamento integrado do ambiente os Sistemas de Informação Geográfica podem contribuir?

Quais são as vantagens de se utilizar a abordagem integrada e novas técnicas de classificação para um Projeto de Planejamento tal qual o ZEE-RJ.

---

## CAPÍTULO 2

### PLANEJAMENTO REGIONAL E ABORDAGEM INTEGRADA

*As pessoas têm direito a uma vida saudável e produtiva em harmonia com a natureza (UNCED, 1993)*

#### 2.1. CONCEITUAÇÃO

O fornecimento de algumas definições de jargões normalmente utilizados em estudos relativos ao desenvolvimento de um planejamento regional se faz necessário, uma vez que o esclarecimento e distinção de alguns termos muitas vezes utilizados de forma indistinta ou até mesmo equivocada, irá contribuir para uma melhor uniformização dos conceitos a serem utilizados ao longo deste trabalho. Para tanto, foram escolhidas as definições citadas no capítulo 10 da Agenda 21 (FAO, 1995).

O capítulo 10 da Agenda 21 faz distinção entre: terra e recursos da terra, entre planejamento do uso da terra e planejamento físico, entre recursos naturais e recursos ambientais e entre planejamento e gerenciamento.

##### 2.1.1. Terra e Recursos da Terra

Terra é definida como *uma entidade física em termos de sua topografia e sua natureza espacial*. A terra é normalmente associada a um valor econômico, expressa por valor por hectare. A visão mais holística leva em consideração os recursos físico-bióticos e sócio-econômicos desta entidade física. A definição mais completa dada pelas Nações Unidas na Convention to Combat Desertification (UN, 1994) é:

*Terra é uma porção delineável da superfície terrestre, incluindo todos os atributos da biosfera imediatamente acima ou abaixo desta superfície, incluindo o clima próximo à superfície, os solos e formas de terreno, a hidrologia de superfície (incluindo lagos, rios e pântanos), as camadas sedimentares próximas da superfície e águas subterrâneas, as populações de plantas e animais, o assentamento humano e os resultados físicos das atividades humanas presentes e passadas (terraços, armazenamento d'água, estruturas de drenagem, estradas, construções etc.).*

A abordagem holística considera que, uma unidade territorial natural possui tanto o aspecto vertical: do clima atmosférico até as águas subterrâneas, quanto o aspecto horizontal: uma seqüência identificável de solos, terreno, e elementos de vegetação ou uso da terra.

##### 2.1.2. Recursos Ambientais e Recursos Naturais

Recursos Naturais, de acordo com o conceito de "terra" apresentado acima, são considerados componentes das unidades territoriais que são de uso econômico direto para os grupos de população que vivem numa determinada área, ou que possuem a expectativa de se moverem para a área.

Recursos Ambientais são os componentes da terra que possuem um valor intrínseco por si só, ou possuem valor para um uso sustentável da terra, pela população, a longo prazo. Isto inclui a biodiversidade de populações de plantas e animais. Valor cênico, educacional ou de pesquisa

---

da paisagem; as funções da vegetação como reguladora do clima local e regional e da composição da atmosfera. Condições de água e solo como reguladores de ciclos de nutrientes, como causador de influência na saúde humana; ocorrência de vetores de doenças em animais ou humana (mosquitos, moscas etc.). Os recursos ambientais, pode-se dizer, são intangíveis em termos econômicos.

### **2.1.3. Planejamento do Uso da Terra e Planejamento Físico**

Planejamento Físico é o *projeto de uma infra-estrutura ótima de uma unidade territorial administrativa*, tais como: infra-estrutura de transporte (estradas, rede ferroviária, aeroportos, portos etc.), plantas industriais, mineração, geração de energia e facilidades para cidades e outros assentamentos humanos. Em antecipação ao aumento de população e ao desenvolvimento sócio-econômico e levando em consideração os resultados do zoneamento do uso da terra. O planejamento físico é normalmente realizado pelos estados ou por organizações governamentais locais. O propósito é se ter uma abordagem mais geral, e quase holística sobre o desenvolvimento de uma área, do que se poderia ter se fossem feitos estudos individuais. O planejamento físico possui duas funções: desenvolver uma infra-estrutura racional e reprimir o excesso de ações individuais em prol do interesse da comunidade como um todo. Para tanto, muitas vezes o planejamento físico está associado a um sistema de leis e regulamentos.

O Planejamento do Uso da Terra deve ser um *processo de tomada de decisão que facilite a alocação de terras a usos que proporcionem os maiores benefícios em termos de sustentabilidade*. O planejamento do uso está baseado nas condições sócio-econômicas e espera o desenvolvimento da população dentro e em torno de uma unidade territorial. Isto se relaciona a uma análise de múltiplos critérios e a avaliação de valores intrínsecos dos vários recursos naturais e ambientais destas unidades territoriais. Como resultados obtém-se indicações de um uso preferencial da terra ou combinações destes usos. Alocações concretas de áreas para usos específicos, através de medidas legais e administrativas, levarão à implementação eventual do plano.

O capítulo 10 da Agenda 21 (*op. cit.*) considera que o planejamento do uso da terra se relaciona mais a áreas rurais, concentrando-se no uso da terra no contexto agrícola: produção agrícola, criação de animais, silvicultura/gerenciamento de florestas, proteção de vegetação e biodiversidades. Entretanto, áreas peri-urbanas também são incluídas, uma vez que afetam as áreas rurais através da expansão da construção em áreas, muitas vezes, de alto valor agrícola.

### **2.1.4. Planejamento e Gerenciamento**

O Planejamento dos recursos da terra, conforme visto no item anterior, é o processo de *avaliação de opções e subseqüentes tomadas de decisão* que precedem a implementação de uma decisão ou um plano.

O Gerenciamento de recursos naturais é a *real prática de uso da terra* pela população humana local, que deve ser sustentável (FAO/Netherlands, 1991).

Em um sentido mais amplo, o gerenciamento de recursos naturais é a implementação do planejamento do uso da terra, com o aceite e a direta participação dos donos da terra. Isto é conseguido através de decisões políticas; execuções legais, administrativas ou institucionais; demarcações de terras; inspeção e controle da aderência às decisões estabelecidas; resolvendo problemas de posse de terra; fornecendo autorização para a concessão de exploração vegetal e animal (madeiras para combustível, carvão, caça etc.); promovendo o papel da mulher e de outros grupos em desvantagens na agricultura e no desenvolvimento da área, e guardando o direito dos povos indígenas.

---

### 2.1.5. Zoneamento, Domínios de Recursos de Gerenciamento, Alocação

O Zoneamento é um estudo que auxilia o planejamento dos recursos da terra. O zoneamento tem sido utilizado para assegurar o controle do uso da terra nas áreas urbanas e periurbanas. Mais recentemente o zoneamento vem sendo associado também ao delineamento de unidades ecológicas rurais, como nos zoneamentos agroecológicos da FAO.

Na esfera de planejamento urbano este termo é comumente utilizado no sentido prescritivo, por exemplo, na alocação de terras periurbanas para usos específicos tais como: moradia, indústrias leves, recreação, horticultura ou indústria bio-animal, considerando-se em cada caso as restrições legais apropriadas ao mercado.

Segundo a Secretaria de Assuntos Estratégicos (SAE-CCZEE, 1991), o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) é um instrumento técnico e político cuja finalidade é otimizar o uso dos territórios e das políticas públicas, sendo um instrumento técnico de informação integrada sobre o território, classificando-o segundo suas potencialidades e vulnerabilidades.

No conceito original de Zoneamento Agro-Ecológico (ZAE), o ZAE denota um estágio inicial de planejamento rural. Trata-se da subdivisão das áreas rurais baseada nas características físicas e biológicas (clima, solos, forma do terreno, cobertura vegetal, recursos hídricos), e é usado como uma ferramenta para o planejamento do uso da terra.

A metodologia de ZAE foi redefinida pela FAO para aplicações em alguns países como: Moçambique, Bangladesh, Kenya, Nigéria, China e, mais recentemente na região Amazônica. Nesta nova abordagem, os aspectos sócio-econômicos foram considerados. Isto se tornou ainda mais proeminente nos programas de Zoneamento (agro)Ecológico e (sócio)Econômico dos principais ecossistemas naturais da floresta Amazônica [SOMBREK, 1994]. Nestes casos, o zoneamento *sensu strictu* é o delineamento de áreas rurais, que poderiam ser demarcadas por um ou mais usos, baseados em condições físico-bióticas e levando-se em consideração a infra-estrutura sócio-econômica.

A unidade resultante pode ser denotada como um Domínio de Gerenciamento de Recursos (DGR). Os DGR podem ser definidos como áreas dentro de uma zona físico-biótica que possui até aquele momento as mesmas condições sócio-econômicas. Este zoneamento não inclui decisões legais ou administrativas em relação ao futuro uso da terra. Isto é tratado através da alocação de uso da terra.

A Alocação de Uso da Terra consiste de uma série de processos que ocorrem após a realização do zoneamento *sensu strictus*. Procedimentos importantes irão envolver decisões políticas conectadas com a escolha de alternativas apresentadas em um plano após a negociação com os que utilizarão a terra; identificação dos direitos da terra e solução de qualquer espécie de conflito resultante; demarcação de terras; execução administrativa e institucional; e controle efetivo da obediência às decisões tomadas, é um estágio posterior ao zoneamento.

### 2.1.6. Sustentabilidade

Sustentabilidade foi definida pela FAO como sendo *o gerenciamento e conservação das bases de recursos naturais, e a orientação de mudanças tecnológicas e institucionais de tal forma a assegurar a obtenção e a satisfação das necessidades humanas para as gerações atuais e futuras. Este desenvolvimento sustentável (nos setores agrícola, florestal e de pesca) conserva terra, água, plantas e animais sendo ambientalmente não-degradante, tecnicamente apropriado, economicamente viável e socialmente aceitável (FAO/Netherlands 1991).*

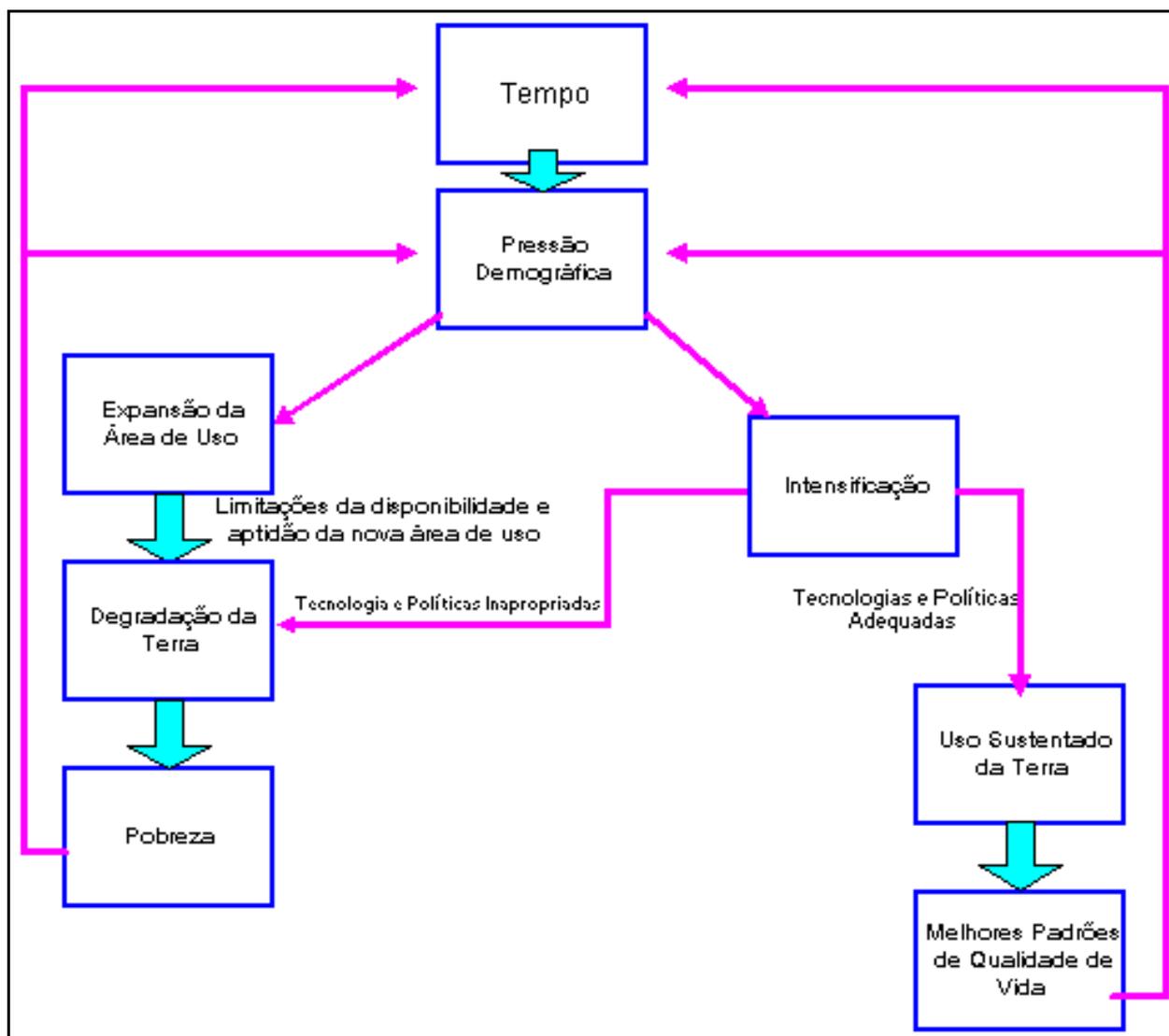


Figura 2.1.6.1 - Degradação da Terra versus Uso Sustentado da Terra nos Países em Desenvolvimento, *after* (FAO, 1995a)

### 2.1.7. Indicadores de Sustentabilidade

Todos os tipos de uso da terra devem resultar em usos que sejam sustentáveis. A avaliação sistemática de sustentabilidade do uso atual ou planejado dos recursos da terra ainda se encontra em seus primórdios. Muitos grupos de pesquisadores têm tentado definir indicadores de sustentabilidade e desenvolver métodos para monitorá-los em condições de campo. Este monitoramento pode ser realizado através de observações periódicas em locais representativos, através de técnicas de Sensoriamento Remoto a fim de se extrapolar os resultados para toda área em uso.

Os indicadores de sustentabilidade podem ser de vários tipos (FAO, 1995a): físico-biótico ou sócio-econômico dependendo do tipo de uso da terra, e da lista de qualidades da terra, os indicadores físico-bióticos podem ser:

- relativos a cobertura da terra, por exemplo: a constância da estrutura natural da vegetação ou a sua biodiversidade;
- relativo a superfície da terra: ausência de erosão por água ou vento, constância de *runoff*,

- 
- relativo ao solo: ausência de salinidade, acidificação ou perda de atividade biológica devido à ação humana;
  - relativo ao substrato: ausência de poluição devido a atividades humanas, constância de profundidade e qualidade das águas subterrâneas;

Dentre os indicadores sócio-econômicos de sustentabilidade pode-se considerar:

- ausência de êxodo rural;
- estabilidade ou aumento de oportunidades de trabalho no campo;
- constância ou aumento de frequência e procura nas escolas primárias;
- a manutenção de suficiência alimentar e dietas bem-balanceadas;
- estabilidade no número de animais em áreas de pastagens;
- diminuição ou ausência de doenças devido a condições insalubres nas populações rurais;
- relação harmoniosa entre diferentes usuários da terra;
- constância ou aumento da produção da terra de acordo com as estatísticas realizadas nas vilas, distritos, províncias ou no país.

Para os leitores interessados em um maior aprofundamento sobre sustentabilidade e índices de sustentabilidade relativos ao uso da terra, ao gerenciamento (sustentado) dos recursos naturais e sobre desenvolvimento sustentado, assuntos amplamente estudados e discutidos especialmente pelos países desenvolvidos em relação aos países subdesenvolvidos, principalmente após a conferência realizada em 1992 no Rio de Janeiro, remeto o leitor a: (van HAERINGEN and Wiersum, 1988), (LÉLÉ, 1991), (GOODLAND and DALY, 1992a), (GOODLAND and DALY, 1992b), (FRESCO and KROONENBERG, 1992), (SERAGELDIN, 1993), (REES, 1993), (CERNEA, 1993), (GOODLAND et al., 1993), (HONADLE and VANSANT, 1993a), (HONADLE and VanSant, 1993b), (KRUSEMAN et al., 1994).

### **2.1.8. Correlações entre Planejamento de Uso da Terra Rural, Peri-Urbano e Urbano**

Existem conexões importantes entre os assentamentos humanos em geral e as necessidades dos centros urbanos em particular. Se faz necessário, portanto, o desenvolvimento de sinergias entre o uso da terra urbano e rural e os antagonismos aparentes necessitam ser resolvidos através de plataformas de tomada de decisão. A tabela 2.1.8 apresenta os antagonismos e as sinergias existentes nos processos de uso da terra urbano e rural.

Necessidades Urbanas	Necessidades Rurais	Antagonismos e Sinergias
Prevenção contra a entrada da população do campo (êxodo rural)	Disponibilidade de trabalhadores para atividades agrícolas	Sinergia potencial: mecanismos sócio-econômicos para estabilizar a renda da população rural;
Fornecimento de alimentos a preços acessíveis à população pobre	Mercado estável para os produtos agrícolas	Antagonismo: alimentos vindos de outros países; Sinergia: promoção de créditos e mercado para alimentos produzidos localmente;
Boa infra-estrutura para acesso/comunicação com o campo (para transporte de matéria-prima, turismo etc.)	Boa infra-estrutura para acesso/comunicação com os centros urbanos (transporte de produtos agrícolas)	Apresenta Sinergia;
Energia advinda de reservatórios de água	Recursos hídricos para irrigação, processo de produção agrícola	Antagonismo: inundação de terras agrícolas e florestas para a construção de reservatórios; Sinergia: armazenamento de água tanto para a geração de energia quanto para uso em irrigação;
Suprimento de água de boa qualidade para uso da população e uso industrial	Recursos hídricos para disposição da água utilizada no processo agrícola (salinidade, excesso de fertilizantes, pesticidas etc.)	Antagonismo: Limitação de disponibilidade de água para uso rural à montante; degradação da qualidade da água para uso urbano à jusante; Sinergia: plantação de florestas, uso mais eficiente de implementos agrícolas;
combustível (carvão, madeira) e materiais de construção feitos de madeira	Proteção das bacias de captação e leitos de rios para evitar a degradação das terras agrícolas	Antagonismo, a menos que seja feito um controle efetivo do mercado dos produtos da terra (madeira etc.); Sinergia: plantação de florestas, proteção de ecossistemas vulneráveis;

Disposição de dejetos sólidos e líquidos e os provenientes das chuvas;	Proteção dos ecossistemas valiosos; renovação de estoques de nutrientes das plantas	Antagonismo: degradação de agro-ecossistemas a jusante;  Sinergia: reutilização de dejetos tratados em áreas agrícolas peri-urbanas
Expansão da área de ocupação urbana e industrial e da infraestrutura (peri) urbana (aeroportos, portos)	Proteção das terras de agricultura primária e garantia da posse de terras agrícolas em áreas peri-urbanas	Antagonismo, a menos que haja um controle efetivo do mercado;

Tabela 2.1 - Antagonismos e Sinergias entre os Usos da Terra Urbano e Rural - *After* (FAO, 1995a)

## 2.2. PLANEJAMENTO REGIONAL E ABORDAGEM INTEGRADA - A NECESSIDADE DO DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA

Após a apresentação conceitual realizada pode-se observar:

- uma clara interligação entre os fatores geo-biofísicos e os sócio-econômicos nos processos de uso dos recursos da terra pelo homem (abordagem integrada);
- a necessidade de um planejamento do uso dos recursos da terra;
- a necessidade do desenvolvimento de uma metodologia para a realização deste planejamento integrado.

Integração é o ato de combinar ou adicionar as partes para se obter um todo uniforme, e deve considerar todas as partes e propriedades que formam uma unidade territorial de forma simultânea. Integração refere-se, também, a cooperação compreensiva e participatória entre todas as instituições e grupos que se relacionam com o planejamento de recursos da terra e de gerenciamento deste planejamento.

Ao se desenvolver um projeto de planejamento do uso da terra, alguns aspectos importantes podem ser observados através do uso da abordagem integrada:

considerações na esfera rural:

- recuperação de áreas marginais degradadas *versus* conservação e aprimoramento das terras de agricultura primária;
- proteção de valores ecológicos *versus* necessidade de alimentos e outros produtos;
- assentamento de pequenos proprietários *versus* latifúndios mecanizados;
- exploração de florestas e silviculturas *versus* pecuária e pesca *versus* cultivo arável e usos integrados da terra;
- direitos de grupos indígenas *versus* necessidade de reassentamento de excedente populacional;

considerações nas áreas peri-urbanas e costal:

- agricultura primária *versus* urbanização;

- 
- desenvolvimento da irrigação *versus* divisão dos recursos hídricos para assentamentos urbanos e desenvolvimentos industriais;
  - disposição de dejetos *versus* reutilização do lixo urbano nas áreas peri-urbanas e rural;
  - planejamento da área costeira;

O uso da terra relaciona-se a fatores econômicos e provoca transformações nos fatores naturais, que se transformam e provocam conseqüências nas características naturais (erosão, enchentes, inundações, secas, perdas de moradias, mortes, etc.), interferindo, portanto, nos fatores sociais. Por sua vez o uso indevido do solo, como por exemplo a má utilização de áreas com potencial agrícola, pressões por ocupação urbana etc., podem provocar outros problemas: desgastes dos solos, desertificação, poluição por dejetos urbanos, poluição por uso de pesticidas, secas, falta de alimentos, desemprego nas áreas rurais, êxodo rural, desemprego nas áreas urbanas, etc. Está clara, portanto, a ação constante do homem sobre a natureza e a imediata resposta da natureza ao homem trazendo conseqüências não só ecológicas mas também sociais e econômica.

Esta consciência já é uma realidade em nossas vidas, e a solução é intensificar este tratado de coexistência com a natureza através de atitudes corretas. Isto só é possível através de planejamento e o primeiro passo deve ser a realização de um planejamento a nível regional. Este nível de abordagem permite uma visualização e conscientização global do que está ocorrendo numa região, considerando-se as dinâmicas das áreas vizinhas, ou seja, a topologia, a conexão das áreas e a influência de umas sobre as outras.

O objetivo desta nova abordagem integrada para planejar o uso e o gerenciamento dos recursos da terra é auxiliar a realização de escolhas ótimas sobre o futuro uso da terra. Isto deve ser conseguido através da interação e negociação entre planejadores, donos das terras e tomadores de decisão, a nível local, regional ou nacional, dependendo da escala de abrangência do estudo.

Deve ser baseado na reunião eficiente e compreensiva de dados e processamento num sistema apropriado de armazenamento e recuperação, através de uma rede de instituições nodais.

O fluxo de resultados das avaliações deve ser apresentado num formato de saída compreensível e amigável ao usuário. O plano deve propiciar de uma certa maneira que os donos da terra co-decidam no uso sustentável, igualitário e econômico da terra, a fim de que os mesmos se sintam desejosos de segui-lo motivados pelo sucesso da implementação.

O planejamento é possível através de um estudo integrado dos fatores sócio-econômicos e geo-biofísicos e de um estudo que privilegie a interligação espacial e a dinâmica de cada região. Mantendo-se também a visão holística espacial, ou seja, levando-se em consideração as ações, as características naturais e sociais e sua localização. Há, portanto, a necessidade de se desenvolver uma metodologia baseada nestes princípios.

Para se realizar e modelar esta realidade, este trabalho vê como solução o uso dos conceitos da Ecologia da Paisagem, Geoecologia ou *Landscape Ecology*, porém com uma tentativa de se integrar também as características sócio-econômicas, nem sempre consideradas naquela ciência. Neste trabalho, a Paisagem não deve ser entendida como um produto conjunto somente das características intrínsecas da terra (características geoecológicas), a paisagem é um produto também da constante ação do homem sobre ela mesma e como tal deve ser criada uma nova visão da ciência: a Ecologia Geo-sócioeconômica. A fim de se modelar o problema espacial, este trabalho inclui no desenvolvimento da metodologia o papel dos Sistemas de Informação Geográfica, abrindo caminho para mais uma aplicação destes sistemas na modelagem dos fenômenos da terra.

---

## CAPÍTULO 3

### ANÁLISE INTEGRADA DO AMBIENTE

***A concepção materialista sobre a interação entre as condições naturais e a produção social, determinam os princípios metodológicos da investigação geocológica ou análise integrada da paisagem. A interpretação geocológica tem exigido a introdução e o aperfeiçoamento do enfoque sistêmico, a utilização de modelos e a elaboração de sistemas geoinformativos, a partir da utilização de ferramentas computacionais tais como os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs). Esta interpretação geocológica sistêmica e modelada através dos recursos computacionais, mais especificamente dos SIGs, é a tônica deste trabalho, tudo isto aplicado ao Planejamento Regional. Para tanto, neste capítulo serão apresentados os conceitos, características e propriedades da Ecologia da Paisagem ou Geografia da Paisagem.***

#### 3.1. ABORDAGEM SEPARACIONISTA E HOLÍSTICA

A abordagem puramente holística baseia-se na hipótese de *que o ambiente é uma entidade totalmente integrada* podendo, portanto, ser estudada *como um todo*. A partir deste conceito de ambiente surge a ciência denominada *Landscape Ecology*, Ecologia da Paisagem, Geocologia ou Geografia da Paisagem (NAVEH and LIEBERMAN, 1983), (FORMAN, 1995), (FORMAN and GODRON, 1986). Todos estes termos serão considerados sinônimos neste trabalho sendo, portanto, utilizados doravante de forma indiscriminada.

A Ecologia da Paisagem classifica o ambiente em *unidades da paisagem*<sup>2</sup> contendo várias ordens hierárquicas. Já a abordagem separacionista, não considera o ambiente como uma entidade holística, estudando as diversas características do ambiente de forma independente. Estes estudos separados são realizados por vários especialistas, tais como: geomorfologistas, pedólogos, geólogos, botânicos, sociólogos etc.

O termo holístico deriva-se do conceito de holismo, que é usado em filosofia para indicar *a tendência da natureza em formar todos através de uma evolução criativa, que é maior do que a soma das partes*. Conseqüentemente, um *levantamento holístico* considera que a paisagem é mais do que simplesmente o total de seus atributos ou de seus parâmetros observados de forma separada. Este termo pode ser considerado como sinônimo do *levantamento integrado*, onde o resultado da combinação de seus componentes é maior que a soma das partes.

---

<sup>2</sup> Paisagem é um sistema complexo que é parte da superfície da terra, formada pela atividade da rocha, água, ar, plantas, animais e pelo homem, a qual através de suas semelhanças e interrelações formam uma entidade reconhecível

---

A abordagem multidisciplinar para o planejamento regional se faz necessária devido as interrelações existentes na complexidade que envolve o ambiente natural bem como o ambiente social e econômico. Devido a esta correlação, uma modificação em qualquer das características naturais ou culturais, de uma dada região complexa, traz repercussões em muitas outras. Para se obter uma melhor representatividade do ambiente e, evitar resultados equivocados, esta complexidade deve, portanto, ser estudada como um todo. Isto significa que devem ser analisados diversos componentes do ambiente, ou pelo menos aqueles que se presume estarem afetados e, além disto, estudar as relações mútuas entre estes componentes, incluindo o homem e suas ações na natureza. A base teórica deste enfoque encontra-se nos conceitos de Ecologia das Paisagens.

### **3.2. ECOLOGIA E GEOGRAFIA DAS PAISAGENS**

A Geografia das Paisagens é uma geografia física-complexa, cuja atenção se volta à regionalização, tipologia e arranjo espacial das unidades. Desta forma, o enfoque geográfico no estudo da paisagem recai em:

- desenvolver as categorias de diferenciação, organização e distribuição espaço-temporal;
- a Ecologia da Paisagem é uma parte da Geografia que estuda o aspecto ecológico-funcional;
- a Ecologia da Paisagem como parte das ciências biológicas, insiste nos inter-relacionamentos complexos entre os organismos e os fatores ambientais, estudando-os de forma integrada;
- a Geoecologia das Paisagens estuda a interação natureza-sociedade em seu aspecto estrutural-funcional e das relações objeto-sujeito e centra sua atenção nas paisagens como antroecosistemas.

#### **3.2.1. Propriedades da Paisagem**

A paisagem definida como um conjunto interrelacionado de formações naturais e antrop-naturais, pode ser considerada como:

- um sistema que contém e reproduz recursos;
- como meio de vida e de atividade humana;
- como um laboratório natural e fonte de percepções estéticas.

Desta forma, a paisagem pode se caracterizar pelas seguintes propriedades (MATEO, 1991):

- pela homogeneidade na composição dos elementos e componentes que a integram, e pelas suas interações e interrelações;
- pelo caráter sistêmico e complexo da sua formação que determina a sua integridade e a sua unidade;
- pelo *range* de intercâmbio de fluxo de substâncias, energia e informação, o que determinam seu metabolismo e funcionamento;
- pela homogeneidade relativa das associações espaciais que territorialmente se caracterizam, com regularidade de subordenação espacial e funcional.

Estas propriedades determinam que como objeto de investigação científica, as paisagens são formações muito complexas caracterizadas pela:

- 
- poliestrutura e heterogeneidade na composição dos elementos que os integram, como por exemplo: seres vivos e não vivos;
  - múltiplas relações tanto internas quanto externas;
  - variação dos estados;
  - diversidade hierárquica tipológica e individual;

### **3.2.2. Tendências Atuais da Investigação da Paisagem**

Segundo (MATEO, 1991) os principais problemas teóricos que caracterizam a etapa atual do conhecimento das paisagens são os seguintes:

- a) a compreensão e estudo da paisagem como uma formação espaço-temporal sistêmica e heterogênea;
- b) a análise dos problemas da correspondência mútua entre a continuidade e a discreção, e o problema das relações horizontais na organização paisagística;
- c) as peculiaridades da formação e vida das paisagens nas condições da influência essencial da atividade humana, como força ativa e como base para a organização e o manejo territorial dos recursos e do meio.

### **3.3. FUNDAMENTOS METODOLÓGICOS DA INVESTIGAÇÃO DA PAISAGEM**

Segundo MATEO (*op. cit.*), a análise paisagística é o conjunto de métodos e procedimentos técnico-analíticos que permite conhecer e explicar as regularidades da paisagem, estudar suas propriedades, índices e parâmetros sobre a dinâmica, a história do desenvolvimento, os estados, os processos de formação e transformação da paisagem rural e a investigação das paisagens naturais como sistemas manejáveis.

#### **3.3.1. A Concepção Sistêmica nos Estudos das Paisagens**

O interesse atual na teoria de sistemas tem sido provocado a medida que se vem acumulando conhecimentos. As investigações se transformaram da simples descoberta de objetos à estudar-se as relações entre eles. Isto tem conduzido a necessidade de se analisar uma grande quantidade de variáveis. É impossível estudar tais situações complexas por métodos tradicionais. O resultado tem sido a elaboração da teoria matemática de sistemas, que permite estudar qualquer possível regime, estrutura ou estado em qualquer sistema. Desta forma, a orientação sistêmica é uma etapa da matematização da Geografia (MATEO, 1991). No entanto, ao mesmo tempo, o enfoque sistêmico tem um caráter de uma concepção metodológica, elaborada sobre uma base da estruturação dos princípios filosóficos.

O desenvolvimento do enfoque sistêmico na Geografia tem dado lugar a formulação da noção espacial de geossistema, sistemas territoriais ou sistemas geográficos. As ligações geográficas de tais sistemas tem sido conceituadas nos seguintes pontos de vista (MATEO, 1991):

- no estudo priorizado das relações entre natureza, sociedade e economia;
- na análise da forma geográfica de movimento e matéria;
- na subordinação a objetos geográficos determinados, tais como: bacias, sub-bacias, rios, vertentes etc.

MATEO (*op. cit.*) ressalta que em relação aos elementos que os formam, ao grau de organização dos sistemas e ao caráter das relações, existem as seguintes categorias ou tipos de geossistemas:

---

- geosistemas naturais: que são a parte da superfície terrestre, nas quais os componentes individuais da natureza se encontram em relação estreita uns com os outros e que, como um todo, interatuam com as partes vizinhas da esfera cósmica e da sociedade humana;

- os geosistemas técnicos-naturais: nos quais se produzem a interação entre os objetos técnicos e os naturais. A unidade de tal conjugação se determina pela coincidência territorial da estrutura técnica e o sistema natural e a unidade das funções sócio-econômicas que cumprem, e a interação entre a energia, a matéria e a informação que se subordinam espacialmente.

- os geosistemas integrais: são formações territoriais complexas, que incluem desde qualidade de subsistemas, à natureza e à sociedade com seus diferentes tipos de atividades: produtivas, culturais, recreativas etc.

- os geosistemas culturais: se caracterizam por um grau menor de complexidade, incluindo subsistemas turísticos, territórios naturais e histórico-culturais, sistemas térmicos, pessoal de serviço e órgão de direção.

- os geosistemas antropogênicos: variante dos geosistemas integrais. São antropocêntricos, constituindo sistemas bio-sociais, auto-organizados, parcialmente dirigidos.

### **3.3.2. Regionalização Físico-Geográfica**

As paisagens, se formam no processo de desenvolvimento dos sistemas naturais, e sofrem mudanças ininterruptas através da influência dos fatores naturais e antropogênicos. Estes fatores determinam a diferenciação existente na envoltura geográfica que define estas estruturas naturais especiais e complexas.

As unidades territoriais se caracterizam, para cada nível taxonômico determinado, pela homogeneidade das condições naturais, pelo caráter da estrutura e pelo funcionamento. A determinação destas unidades é uma tarefa fundamental da análise paisagística regional, constituindo a base das propriedades espaço-temporal destes complexos. Tudo isto é necessário para a avaliação qualitativa e quantitativa no processo de planificação regional.

#### **3.3.2.1. Regionalização das Paisagens**

O procedimento científico de regionalizar, consiste em determinar o sistema de divisão territorial de indivíduos espaciais de qualquer espécie (administrativos, econômicos, naturais etc.). A regionalização natural engloba todos os tipos de regionalização dos componentes e complexos da envoltura geográfica (regionalizações climáticas, edáficas, físico-geográficas etc.). Em particular, a regionalização físico-geográfica ou da paisagem consiste no esclarecimento, classificação e cartografia dos complexos físico-geográficos individuais tanto naturais, como modificados pela atividade humana e a compreensão de sua composição, estrutura, relações, desenvolvimentos e diferenciações.

O critério de distinção de unidades complexas, baseia-se na sua inseparabilidade e nas suas relações espaciais. Cada um dos indivíduos da paisagem se caracteriza por uma determinada interação entre os componentes naturais, os quais lhe deram origem durante o processo de seu desenvolvimento. Isto determina a homogeneidade relativa de suas propriedades naturais e a estabilidade das interrelações estruturais. A propriedade mais importante do complexo individual é a unicidade relativa de sua estrutura, tanto morfológica como funcional, do caráter das interrelações entre os componentes naturais. Além disto, para cada complexo individual, um sistema individual é característico, interrelacionado de unidades tipológicas (tipos, classes, espécies de paisagens etc.).

---

### 3.3.2.2. Unidade Geocológica Territorial

O conceito de unidade territorial é um conceito central em Ecologia da Paisagem ou *Landscape Ecology*. É uma consequência lógica da hipótese de que a paisagem pode ser considerada um *sistema* e segue o pressuposto holístico de que a *paisagem é formada por todos hierárquicos*.

Pode-se dizer que a Ecologia da Paisagem contribui com a teoria holística através da descrição de todos hierárquicos que vão desde organismos e sociedade até o ambiente terrestre como sendo o sistema total.

Isto é conseguido através da combinação da abordagem sistêmica desenvolvida pelos biólogos, para estudarem os relacionamentos dos ecossistemas, com os métodos desenvolvidos pelos geógrafos para descreverem o território.

A Unidade Geocológica Territorial é um conceito fundamental na Ecologia da Paisagem ou *Landscape Ecology* e é definida como *uma porção do território ecologicamente homogênea na escala considerada* (ZONNEVELD, 1989).

A Unidade Geocológica Territorial serve como base para se estudar relacionamentos topológicos e funcionais. O “levantamento” geocológico no campo tem como objetivo mapear estas unidades.

Isto é feito através do uso simultâneo de características dos atributos normalmente mapeáveis, tais como: forma do terreno, solo e vegetação, incluindo-se as modificações realizadas pelo homem.

Parâmetros dinâmicos tais como: populações de animais, fluxos de água etc. não são bons indicadores quando utilizados como critérios para fornecer um diagnóstico da unidade, mas podem ser usados para representar a conexão através de fluxo de energia.

A unidade geocológica territorial é a base para a geração da legenda dos mapas e pode ser expressa através dos diversos atributos do território.

O mapa final deve ser preparado a partir da cooperação de todas as disciplinas contribuintes, baseados na fotointerpretação e no trabalho de campo.

#### 3.3.2.2.1. Formas de Geração de Unidades Territoriais

##### 3.3.2.2.1.1. Através de interpretação de Imagens de Satélite

Uma forma de se delimitar unidades territoriais é através do uso e interpretação de imagens de satélites. Através deste recurso, pode-se ter uma visão sinóptica da região e, tirando-se proveito das informações espectrais destas imagens, pode-se delimitar unidades territoriais. Este método é sugerido pelo INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais), como base para a elaboração de Zoneamentos na Amazônia. Remeto o leitor a (CREPANI et al., 1996) para um maior aprofundamento desta metodologia.

##### 3.3.2.2.1.2. Através da Utilização de Mapas Temáticos

Uma outra forma de se obter unidades territoriais é através da interpretação analítico-integrativa das informações advindas de mapas temáticos. Este processo é utilizado quando o projeto não suporta a realização de trabalhos de campo, tendo-se como única fonte de informação mapas temáticos relativos aos diversos temas envolvidos ou elegidos como participantes no processo de análise. Este é o método adotado neste trabalho e que será descrito em detalhes no Capítulo 5.

##### 3.3.2.2.1.3. Através de Levantamentos de Campo

---

O levantamento de campo baseado em unidades geocológicas territoriais é um método eficiente de se avaliar os atributos da terra, tais como: solos, vegetação, geomorfologia, etc. que poderão ser expressos de forma separada ou através de mapas sínteses.

É também uma maneira de se estimular a integração de várias ciências que, normalmente, são estudadas individualmente, além de fornecer uma base eficiente para projetos multidisciplinares relacionados ao planejamento, gerenciamento e avaliação da aptidão das terras sendo, segundo (ZONNEVELD, 1989), a abordagem mais apropriada para a execução de levantamentos de campo.

Existe uma grande liberdade na forma de se proceder a integração dos diversos atributos, quando se utiliza unidades territoriais. Durante o trabalho de fotointerpretação, no entanto, é essencial que a contribuição dos diversos especialistas seja utilizada de forma conjunta para que seja preparado um mapa integrado preliminar de fotointerpretação (baseado em unidades territoriais).

Segundo (ZONNEVELD, 1989) os dados de campo devem ser coletados exatamente no mesmo ponto de amostragem e de preferência por um time de especialistas, no qual solo, vegetação e geomorfologia estejam representados.

### **3.3.2.3. Levantamentos Integrados**

O termo levantamento integrado para planejamento agrega qualquer levantamento que inclua duas ou mais disciplinas que estejam correlacionadas, sempre considerando-se as razões para as quais o levantamento está sendo realizado. A integração envolve tanto a coordenação da seleção dos itens do levantamento, quanto a coordenação e cooperação em termos científicos, pragmáticos e organizacionais das várias disciplinas. Esta integração, faz com que o resultado seja mais do que a mera soma dos resultados das ações individuais.

A necessidade da realização de uma análise integrada do ambiente nos projetos de planejamento ou gestão territorial está cada vez mais crescente e se deve à eficiência na representatividade e modelagem do ambiente, tal como ele é, ao se realizar um levantamento integrado.

O ponto de vista holístico, considera a paisagem como um corpo natural que pode ser descrito e classificado (através de critérios topológicos ou corológicos), enquanto a abordagem tradicional ou paramétrica começa de baixo e observa as diferentes características da terra, que podem ser medidas através de parâmetros individuais. Após isto, as áreas que apresentam dados similares para diversos parâmetros são, então, combinados em uma unidade.

A principal diferença entre a abordagem paramétrica pura (iniciando de baixo) e a abordagem holística (iniciando da entidade holística ou integrada) é que no primeiro caso, os parâmetros são coletados de forma mais ou menos randômica, com alguns objetivos práticos como princípios norteadores, enquanto na abordagem holística, as principais unidades são conhecidas de antemão e os parâmetros são medidos através de amostragem estratificadas. Em um sistema holístico, as observações seriam primeiro verificadas e depois quantificadas, de acordo com a análise integrada dos parâmetros.

Sabe-se, após estudar durante tantos anos de forma individual ciências como: pedologia, ecologia, geomorfologia, geologia, que muitos parâmetros mensuráveis na superfície da terra, estão interrelacionados intensamente. Na verdade, os levantamentos de solos e vegetação feitos com propósitos práticos, especialmente os realizados em escalas não muito grandes, e empregando fotografias aéreas, fazem uso indireto do princípio holístico, no que se refere a convergência das evidências de todos os atributos. Desta forma, os limites de solos e vegetação podem ser determinados e pontos de amostragem selecionados, nos quais os parâmetros podem ser medidos de forma confiável e em unidades suficientemente homogêneas.

---

Na abordagem puramente paramétrica a classificação da terra é realizada através:

- de um parâmetro;
- de um grupo de parâmetros relacionados a um atributo da terra (por exemplo: densidade de vegetação, composição das espécies, parâmetros de fertilidade de solos, etc.);
- um grupo de parâmetros relacionados a vários tipos de atributos (por exemplo: combinar em um modelo computacional vários parâmetros: de fertilidade dos solos, hidrológicos e climáticos)

Em abordagens intermediárias, a classificação é feita através de:

- um atributo da terra como um todo (por exemplo: unidades taxonômicas de solos ou de formas do relevo)
- uma combinação de várias unidades taxonômicas de vários atributos, inclusive alguns parâmetros separados

Já a abordagem integrada ou holística, classifica a superfície através de:

- unidades de classificação da paisagem como um todo.

#### **3.3.2.4. Levantamento de Campo na Forma Holística**

O Sensoriamento Remoto, principalmente o uso e a interpretação de fotografias aéreas, é uma ferramenta fundamental nos levantamentos de campo. Sem o auxílio de tais ferramentas, seria necessária a coleta de todas as informações relativas ao desenvolvimento do trabalho, diretamente no campo, o que consumiria muito tempo e seria extremamente dispendioso.

A fotointerpretação relaciona-se naturalmente com a visão holística, pois funciona como a *visão de um pássaro*. A fotografia representa a imagem visual e revela mais sobre as características da terra, para aqueles que possuem percepção para isto. Esta compreensão e percepção são fundamentais, sem ela a observação não pode ser traduzida em reconhecimento (ZONNEVELD, 1989).

A visão de um especialista em levantamento integrado ou geocologista difere daqueles especialistas, que objetivam a interpretação, descrição e mapeamento de somente algum aspecto específico do ambiente, como por exemplo: a estrutura da vegetação, eles não estão interessados na paisagem como um todo, seus relacionamentos e dinamismo.

Além da fotografia aérea, outros sensores remotos podem ser utilizados no estudo integrado da paisagem, como as imagens de satélite e de radar. Existem várias técnicas de processamento digital de imagem que podem contribuir para melhorar o contraste e a qualidade da imagem usada para a interpretação visual ((GONZALEZ and WINTZ, 1987), (SABINS, 1987), (NOVO, 1992), (GREEN, 1983), JENSEN[1986], (CURRAN, 1985)).

Além disto, as técnicas de classificação, supervisionada ou não, podem ser utilizadas para a classificação automática das imagens de satélite. Técnicas de filtragem também ajudam a destacar determinadas nuances da paisagem. As diversas bandas das imagens representadas pela medida dos seus comprimentos de onda, podem ser combinadas de forma a aumentar o poder de informação da imagem.

É possível, também, através dos modelos digitais de terreno (SIMÕES, 1993), obter-se uma visão tridimensional representando o relevo juntamente com as características espectrais da imagem, o que enriquece ainda mais a interpretação. As imagens de satélite devem, no entanto, ser obtidas com boas condições climáticas, evitando-se as imagens obtidas em dias com muita nuvem.

---

Além disto, está se caminhando para o aprimoramento da resolução espacial destas imagens, o que irá torná-las ainda mais úteis como ferramenta na interpretação da paisagem. Uma outra característica das imagens de satélite é a temporalidade, o que possibilita o monitoramento e a realização de um estudo retroativo do comportamento da área, o que pode contribuir para o entendimento das características e comportamentos atuais e servir de base para uma análise temporal.

Um exemplo de aplicação de imagens de satélite no estudo de paisagens é apresentado pelo INPE (CREPANI et al., 1996), no desenvolvimento de uma metodologia para o Zoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia Legal.

De acordo com a metodologia, primeiramente um mapa de unidades homogêneas da paisagem é elaborado, através da análise e interpretação de imagens TM-LANDSAT na escala 1:250.000, composição colorida das bandas 3,4,5 associadas com as cores azul, verde e vermelho, respectivamente. As unidades homogêneas são obtidas considerando-se os padrões fotográficos identificados pelas variações de cores, textura, forma, padrões de drenagem e relevo. Em seguida, são realizadas associações das informações temáticas auxiliares preexistentes, tais como: mapas geológicos, geomorfológicos, pedológicos, de cobertura vegetal e dados climáticos, com o mapa preliminar de unidades homogêneas obtido das imagens. Esta associação permite caracterizar tematicamente as unidades ambientais ou de paisagens. Finalmente, é realizada uma classificação do grau de estabilidade ou vulnerabilidade de cada unidade ambiental, segundo as relações entre os processos de morfogêneses e pedogêneses. A vulnerabilidade é expressa pela atribuição de valores de estabilidade que variam de 1 a 3, num total de 21 valores para cada unidade ambiental. De acordo com o proposto pelo INPE, este procedimento metodológico possibilita a elaboração de cartas de vulnerabilidade natural a erosão, na escala 1:250.000 e deverá ser utilizado no Zoneamento Ecológico-Econômico da Amazônia Legal.

### **3.3.2.5. Disciplinas envolvidas em um Levantamento**

O levantamento da superfície terrestre é composto de várias atividades, tais como: estudo das referências existentes sobre todos os aspectos de interesse da área, seleção dos especialistas e equipamentos necessários à execução do levantamento, fotointerpretação, organização e planejamento do trabalho de campo, classificação dos dados das amostras obtidas, desenho do mapa preliminar, nova checagem de campo e, finalmente, produção de relatórios e mapas finais.

Um levantamento das características da terra, via de regra, requer informações provenientes de várias disciplinas, tais como: geologia, geomorfologia, pedologia, ecologia, algum conhecimento sobre a hidrologia local e climatologia. O tipo de projeto irá determinar quais outras disciplinas se fazem necessárias. No caso de uma avaliação geral das características da terra, as contribuições de especialistas em diversas disciplinas da área humana se fazem necessárias, como por exemplo: economia, sociologia etc.

Em geral o levantamento requer a atuação de um time de especialistas, o que não quer dizer que se faz necessária a existência de um profissional para cada disciplina isoladamente. Normalmente, um especialista ou grupo de especialistas com bastante conhecimento em levantamento e possuidor de uma boa capacidade analítica-integrativa é suficientemente experiente para se responsabilizar por mais de uma disciplina e dar ao trabalho uma conotação mais holística.

Nos levantamentos de campo realizados por especialistas em uma só disciplina, existe o perigo de que seja dada maior atenção a esta disciplina, negligenciando a importância de outras e sua atuação em uma dada paisagem. Normalmente, por problemas financeiros, a responsabilidade do levantamento recai a uma equipe pequena. Neste caso, o importante é que haja uma

---

interface entre os especialistas durante os trabalhos de fotointerpretação e após o trabalho de campo.

### **3.3.2.6. Comparação entre os Levantamentos Holísticos e os Levantamentos por Atributos Individuais**

Muitas vezes, considera-se que um levantamento holístico represente um estudo geral e regional não sendo atrelado a nenhum projeto com objetivos específicos. Na verdade, trata-se de uma técnica de levantamento que pode ser utilizada tanto em projetos específicos quanto em um levantamento geral de uma região.

A necessidade de se utilizar um levantamento holístico pode estar relacionada ao tipo de projeto, a quantidade de informação e recursos disponíveis, ao tipo de informação que se deseja obter e a escala de trabalho.

Segundo (ZONNEVELD, 1979), a primeira fase de um levantamento de campo, observação e fotointerpretação, é praticamente idêntica nos dois métodos. As observações são normalmente realizadas considerando-se diversos fatores da terra, mesmo no caso de levantamentos por atributos individuais. Ainda que se esteja estudando solos como atributo principal, os outros atributos: vegetação, forma do terreno etc., são levados em consideração e especialmente durante os trabalhos de fotointerpretação.

A diferença está no fato de que no levantamento holístico, a observação direta dos atributos da terra é realizado com o mesmo detalhe. Nos levantamentos individuais, o atributo principal (objeto do levantamento), é estudado com maior detalhe. Entretanto, esta diferença é minimizada em trabalhos realizados em escalas grandes, onde maiores detalhes também são observados em outros atributos que não sejam o objetivo do levantamento.

Na segunda fase classificação maiores diferenças são observadas. Os dados a cerca dos vários atributos da terra são utilizados para classificar cada atributo da terra na sua própria tipologia ou sistema de classificação. A partir disto, no levantamento holístico, uma nova classificação é então realizada definindo uma certa porção da terra, denominada unidade territorial. No processo de levantamento por atributo individual, no entanto, há somente um atributo a ser classificado.

Na fase de avaliação da aptidão da terra, a paisagem, através da sua classificação, fornece unidades da paisagem (ou unidade territoriais) que são caracterizadas pelas unidades de classificação dos atributos. Todas estas unidades de classificação são utilizadas como referência para a avaliação da aptidão das terras. Se esta unidade de classificação for baseada somente nas propriedades de um atributo, por exemplo: solo, a avaliação da aptidão da terra só pode ser realizada em relação a este aspecto da terra: o solo. Em locais onde não há muito conhecimento da potencialidade geral de uma dada área, ou dos riscos envolvidos com o uso da terra, ou seja, seus aspectos de conservação, esta avaliação não é suficiente.

A análise da paisagem para ser completa deve considerar a dinâmica e a evolução das paisagens.

## **3.4. ENFOQUE EVOLUTIVO DINÂMICO DAS PAISAGENS**

Qualquer território, independente da forma de surgimento, devido a causas internas e externas, experimenta um processo contínuo de desenvolvimento que se manifesta através das trocas que ocorrem em suas partes estruturais. Por outro lado, as trocas graduais, que constituem a dinâmica do geosistema, são as bases para o desenvolvimento evolutivo.

---

### 3.4.1. Dinâmica das Paisagens

O estudo da dinâmica se baseia na concepção da análise espaço-temporal e de síntese das paisagens, que inclui: a estrutura vertical, o funcionamento e os estados.

A dinâmica da paisagem pode ser definida como sendo as trocas existentes no sistema que ocorrem no meio de uma mesma estrutura e que não conduzem a sua transformação quantitativa. As trocas dinâmicas se caracterizam pela periodicidade e reversibilidade e ocorrem como conseqüência do conjunto de processos que se manifestam no interior da paisagem.

Desta forma, o funcionamento da paisagem depende de seu estado. As trocas dinâmicas se manifestam por uma direção definida do funcionamento da paisagem e de suas partes morfológicas. A paisagem e suas partes morfológicas adquirem suas propriedades que dependem das fases dinâmica de um ou outro ciclo, manifestando-se em um dado estado. Os estados, temporais ou dinâmicos, constituem a estrutura temporal da paisagem (MATEO, 1991).

A dinâmica do estado das paisagens pode ter diferentes características. Pode-se distinguir as trocas: periódicas, cíclicas e rítmicas dos estados.

Na *troca periódica* leva-se a cabo o intercâmbio relativamente rígido dos mesmos estados através de prazos de tempos similares. A *troca cíclica* dos estados é característica das paisagens que regressam ao estado de partida através de intervalos de tempo diferentes. Na *troca rítmica*, ocorre um intercâmbio cronológico não muito rígido nos estados. Para eles, as paisagens não regressam obrigatoriamente ao mesmo estado, podendo ocorrer uma lacuna na seqüência de trocas dos mesmos (MATEO, 1991).

O ponto de partida para o estudo das dinâmicas das paisagens é a distinção dos estados dos geocomplexos. A classificação dos estados das paisagens deve ser realizada de acordo com o espaço de tempo do mesmo. Desta forma, pode-se distinguir as seguintes categorias de estados: de curto, médio e longo tempo.

#### 3.4.1.1. Funcionamento dos Estados de Curto Tempo

Os estados de curto tempo, segundo MATEO (*op.cit.*) oscilam entre alguns minutos até um dia, podendo-se distinguir os estados aéreos, os meteorológicos e os intermediários.

MATEO (*op.cit.*) apresenta como exemplo de um dos principais processos naturais em um dia, a troca do dia pela noite, o qual determina a ritimidade do ingresso da energia solar na paisagem. Neste caso, se pode distinguir os estados: diurnos, da tarde, da madrugada e noturnos. Estes estados dependem da entrada de energia solar ou, ao contrário, a saída de calor. Tudo isto se manifesta nas mudanças da circulação da umidade, no biogeociclo, etc.

MATEO (*op.cit.*) ressalta, ainda que, ao longo do dia, pode-se observar outros processos que influem no funcionamento das paisagens e provocam novos estados e cita como sendo o processo que sofre a maior troca, a nebulosidade, a qual determina a quantidade de radiação solar que irá ingressar.

Além destes, pode-se observar ao longo do dia, outros estados relacionados com as mudanças de tempo: a chuva, a neve, o vento, dentre outros. Como estes fenômenos dependem das condições meteorológicas, são chamados estados meteorológicos ou meteoestados.

#### 3.4.1.2. Funcionamento dos Estados de Tempo Médio

Por estados de tempo médio incluem-se aqueles que oscilam entre um dia até um ano, sendo: os estados diários, os de circulação, as fases do ciclo anual e os estados anuais.

---

Ao se estudar os estados diários, se determinam os seguintes critérios de classificação:

- classes: de acordo a tendência geral das trocas dos impactos de entrada, determinando caráter geral de funcionamento. Pode-se determinar as seguintes classes: solares, hidrogenéticas e pluviais (MATEO, *op.cit.*)

Nos limites das classes se determinam os gêneros, que dependem das tendências das trocas da estrutura vertical. Pode-se distinguir os seguintes gêneros: estabilização invernal, estabilização veranista, destruição e transformação negativa da estrutura.

De acordo com MATEO (*op.cit.*), sobre a base de análise dos trânsitos de um estado diário a outro se pode distinguir as trajetórias de troca dos estados.

O estado de circulação está relacionado com os processos de circulação da atmosfera que conduzem a reestruturação do funcionamento das paisagens e se manifestam em estados particulares dos mesmos, tais como: mudança de massa de ar, frentes atmosféricas etc.

As fases de ciclo anuais estão relacionadas com as mudanças climáticas e os da vegetação.

Geralmente estas fases se agrupam em três períodos de funcionamento:

- de tranqüilidade biótica relativa com destruição muito lenta da substância orgânica;
- de ativa circulação biológica de substâncias;
- de acumulação de substâncias orgânicas mortas e de umidade atmosférica no solo.

Os estados estacionais são maiores, pelo menos com três meses de duração, que os estados anuais, que duram de algumas semanas a dois meses. Em Cuba, MATEO (*op.cit.*) cita como exemplo: a seca de inverno e a umidade de verão.

O ciclo anual é um estado das paisagens que se fixa de forma clara no tempo. Assim como no estado diário, este ciclo também se determina por causas planetárias e está relacionado com a rotação da Terra ao redor do sol. Os estados anuais estão entre os estados mais curtos em tempo (tal como o estado estacional e o de fases de ciclo anual), porém que se manifesta mais rigorosa e ritmicamente. Segundo MATEO (*op.cit.*), os investigadores distinguem, neste estado: os anos secos e frios, quentes e úmidos e sua repetição. É, portanto, muito característico para a maioria dos parâmetros da estrutura e do funcionamento das paisagens, as diferenças que ocorrem entre os estados anuais são muito menores que nos estados estacionais e diários.

### **3.4.1.3. Funcionamento dos Estados de Longo Tempo**

O funcionamento das paisagens nestes estados, ou seja, maiores que um ano, tem sido estudado, somente de forma genérica. Entre eles se distingue os ciclos climáticos, que em geral tem caráter planetário, além dos processos sucessionais da vegetação, como parte da dinâmica natural da vegetação.

### **3.4.2. Desenvolvimento das Paisagens**

Para reconhecer a geografia de qualquer território se faz necessário estudar o seu desenvolvimento. Todos os geosistemas naturais possuem as características impostas pelo seu passado e continuam se desenvolvendo freqüentemente de acordo com os caminhos que foram designados a partir deste passado.

Sendo assim, os estados atuais e futuros das paisagens, em maior ou menor grau, se determinam pelas transformações ocorridas no passado. O estudo da evolução das paisagens é a base da prognose geocológica permitindo conhecer:

- 
- as tendências estáveis e mutacionais do desenvolvimento;
  - as transformações cíclicas ou dirigidas;
  - o papel dos fatores externos e internos no desenvolvimento das paisagens.

Define-se desenvolvimento ou evolução das paisagens (MATEO, 1991), a troca irreversível, dirigida e regular dos objetos, que levam a transformações qualitativas de um estado a outro, que se manifestam e se acumulam no tempo. O desenvolvimento se acompanha de mudanças graduais irreversíveis que condizem com a transformação da estrutura da paisagem e é determinado por fatores externos, tais como: transgressões, tectônicas, energia solar etc., e internos, ou seja, o seu autodesenvolvimento.

O autodesenvolvimento é o desenvolvimento que ocorre devido a condições internas, em particular pelas mudanças nas interações entre os componentes da paisagem.

As propriedades mais estáveis das paisagens, que não se modificam por transformações externas, são conhecidas como invariantes da paisagem. O conhecimento da invariante das paisagens permite medir o grau de transformação da mesma e o grau de perigo destas mudanças. Cada invariante possui sua estrutura morfológica e funcional característica. Desta forma, MATEO (*op.cit.*) conceitua o desenvolvimento como sendo as transformações das invariantes da paisagem.

As transformações das invariantes são graduais, sobre estas transformações, se determinam os estágios de desenvolvimento:

- estágio de formação: se estabelecem as novas interrelações entre os componentes, aparecendo pouco a pouco os novos elementos, por exemplo: a cobertura vegetal vai se desenvolvendo de acordo com as novas condições de umidade;
- estado de estabilização: produz-se a estabilização das novas propriedades em condições maduras, por exemplo: se estabelece a correspondência entre as condições do solo e de vegetação;
- estado de renovação: produz-se a desestabilização e a ruptura das interrelações, surgindo novos índices.

Desta forma, a formação de uma dada paisagem, ocorre através do desenvolvimento de seu perfil vertical completo e a formação de condições desde o ponto de partida até atingir o estado maduro. O estabelecimento de uma paisagem madura se conclui através da formação de sua organização estrutural e funcional.

Segundo MATEO (*op.cit.*), a paisagem já formada tem a sua própria *personalidade*. A gênese da paisagem, desde o momento do surgimento da biota não se interrompe com o tempo, porém nos diferentes períodos se manifesta de forma distinta. Ela se acompanha para a formação dos solos, que se caracteriza pela ciclicidade, a qual se manifesta na periodicidade anual e multianual dos fenômenos, que se condiciona por fatores tectônicos e climáticos.

Nas regiões nas quais se manifestam a estacionalidade, o ciclo anual, determinado pelo ingresso de radiação solar, com o qual está relacionada a atividade dos processos biogeoquímicos, tem um significado muito importante.

A sobreposição multianual de muitos ciclos dá lugar a um processo contínuo, como resultado, a gênese da paisagem vai se modificando. Isto significa que a paisagem no tempo evolui de forma gradual. A evolução determina o curso progressivo da gênese da paisagem. No processo da gênese da paisagem a capa da litosfera se modifica de forma dirigida, convertendo-se em um sistema organizado verticalmente, no qual se transforma gradual ou contrastadamente em dependência do tipo genético da paisagem MATEO (*op.cit.*),

---

Desta forma, o estudo da evolução da paisagem deve ser realizado como unidades materiais integrais possuindo uma estreita relação entre as transformações temporais e espaciais. Todas as paisagens são formações históricas, suas peculiaridades estruturo-funcional têm-se refletido sempre no curso da sua evolução.

A paisagem se caracteriza, muitas vezes, pela irreversibilidade, desenvolvimento irregular e surgimento de características obtidas pela especificidade local em especial, deve-se considerar os fatores antrópicos que indicam e interferem na formação da mesma. Desta forma, como em geral sua “história” não se repete, as paisagens deveriam, na maior parte das vezes, conceber-se como patrimônio histórico. Sendo assim, ao se estudar a paisagem a partir de uma visão evolutiva, se faz necessário estabelecer-se os elementos potenciais, recuperáveis e os elementos que não se repetem ou únicos.

### **3.4.3. Métodos de Análise Evolutiva das Paisagens**

Segundo MATEO (*op.cit.*), pode-se considerar duas grandes categorias de procedimentos na análise paleogeográfica: a análise retrospectiva estrutural e a análise espaço-temporal das paisagens.

A análise paleogeográfica tem como objetivo a interpretação histórica das principais propriedades da estrutura contemporânea das paisagens, a determinação dos fatores principais e as direções de evolução, o tempo em que se formaram as características principais da natureza e a ritmidade.

A análise retrospectiva estrutural das paisagens se propõe esclarecer a idade e as condições de formação dos elementos que formam a estrutura da paisagem, além das funções dos elementos residuais na estrutura contemporânea e influência dos mesmos na estabilidade e na dinâmica.

A idade das paisagens é espaço de tempo entre a data a partir do qual a paisagem funciona nas condições de uma estrutura invariante e a presente data.

O tempo de formação de uma paisagem é o tempo em que se formaram os diversos elementos estruturais da paisagem. Para determinar o tempo de formação das paisagens é necessário a análise estratigráfica da paisagem como corpo histórico, ou seja, determinar a idade dos componentes e dos geocomplexos.

Ainda segundo MATEO (*op.cit.*), as seguintes categorias de idade das paisagens são determinadas:

- Jovens ou progressivas: são aquelas que experimentaram a fase de transformação estruturo-dinâmica, sendo, geralmente, instáveis;
- Maduras ou Conservativas: as que correspondem os diversos componentes, sendo relativamente estáveis dinamicamente;
- Moribundas: as que predominam elementos formados há muito tempo, conservam com dificuldade sua responsabilidade estruturo-dinâmica graças a sua auto-regulação, sendo pouco estáveis.

A análise espaço-temporal é um dos métodos de esclarecimento das tendências históricas do desenvolvimento da natureza. Seu fundamento é determinar os processos dinâmico-evolutivos ou sucessionais das paisagens. Os elementos da paisagem passam sucessionalmente de um estado a outro ao longo do tempo. Como exemplo pode-se citar: os terraços de vales, os litorais, a vegetação, os bosques queimados, etc. São utilizadas para substituir as transformações temporais não perceptíveis por mudanças espaciais.

---

### **3.5. ESQUEMA LÓGICO DA ANÁLISE GEOECOLÓGICA**

Baseado nos conceitos apresentados nesta seção, poder-se-ia resumir o esquema lógico da análise geoecológica da paisagem como sendo:

- o estudo das regularidades da organização paisagística, classificação e taxonomia das estruturas paisagísticas, conhecimento dos fatores que formam e transformam as paisagens, inventário, identificação, análise e diagnose, que inclui a utilização dos enfoques estrutural, funcional e histórico-genético;
- a avaliação do potencial das paisagens e tipologia funcional incluindo o cálculo dos fatores antropogênicos através da avaliação dos tipos de utilização da natureza, do impacto geoecológico das atividades humanas, das funções e das cargas econômicas;
- a análise da planificação e projeção das paisagens incluindo a análise de alternativas através da elaboração de uma prognose;
- a otimização das paisagens através da organização estrutural-funcional ótima;
- o monitoramento geosistêmico regional.

Este trabalho, visa contribuir com o desenvolvimento de uma metodologia para a elaboração de Planejamento Regional baseada nestes princípios, ou seja, baseada na análise geoecológica, como será visto no capítulo 5, onde será descrita a metodologia adotada para este fim.

---

## CAPÍTULO 4

### SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA E NOVAS TÉCNICAS DE CLASSIFICAÇÃO PARA ANÁLISE INTEGRADA

*Nem só de vantagens se descrevem os Sistemas de Informação Geográfica e é objetivo deste trabalho apresentar as desvantagens no que se refere a utilização dos mesmos como ferramenta para o Planejamento Regional e pesquisar uma solução metodológica para utilizá-lo de forma mais consciente. É preciso ressaltar que um Sistema de Informação Geográfica é uma ferramenta computacional e como tal, o sucesso da sua utilização depende exclusivamente da forma como o usuário irá utilizá-la. Vale aqui lembrar o velho slogan computacional: garbage in ... garbage out ou seja, não jogue lixo na entrada porque o lixo irá se transformar e no final se produzirá ... lixo!*

*Matematicamente poder-se-ia descrever:  $op(\text{lixo}) = \text{LIXO}$ , onde  $op$  é qualquer operação de transformação ou manipulação em um SIG. Agora, imagine se  $op$  for um “lixo de operação” ( $op_{\text{lixo}}$ ), ou seja, se  $op_{\text{lixo}}$  for uma operação mal planejada, com erros conceituais!!! Ter-se-ia, então:  $op_{\text{lixo}}(\text{LIXO}) = \text{Muito Lixo}$ . Imagine utilizar o resultado desta aplicação e fazer nova transformação:  $op_{\text{lixo}}(\text{Muito Lixo}) = \text{Poluição Irreversível}$ !*

*Este processo se chama propagação de erros e será pesquisado neste capítulo, no que se refere à integração da informação para o Planejamento Regional.*

#### 4.1. TRATAMENTO AUTOMATIZADO DA INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Quando se fala em Projetos de Planejamento Regional está se falando em manipular e tratar informação geográfica ou dados espaciais.

A principal característica da informação geográfica é a sua *localização espacial*. No entanto, conforme discutido no capítulo 3, os dados geográficos não coexistem de forma isolada e independente. Na natureza e em sociedade nada está dissociado, todos os fenômenos se interrelacionam, se completam e possuem uma dinâmica conjunta, como o corpo humano, como o universo, como a vida. Daí surge a necessidade de se *integrar* todas estas informações.

Diversos tipos de integrações podem ser geradas por diferentes níveis de agregações e o sucesso disto depende do grau da capacidade humana de tratar a complexidade inerente à imensa quantidade de informação disponível.

---

Segundo (BURROUGH, 1987), experiências demonstram que a mente humana consegue trabalhar simultaneamente de 7 a 10 informações distintas. Consequentemente, se este limite for excedido, um reagrupamento dos dados em novos níveis de agregação se faz necessário, a fim de que as informações possam ser novamente manipuladas. A criação de uma base de dados geográficos em um ambiente SIG poderá auxiliar este processo, como será visto mais adiante.

Uma Base de Dados Geográfica não se restringe ao mero armazenamento e representação de todas as variações de uma certa classe de fenômeno mas, principalmente, objetiva organizar o conhecimento de tal forma que informações mais complexas possam ser agregadas e derivadas das unidades básicas de informação nela contidas. Esta é a principal característica do processo de *classificação*.

Uma base de dados georeferenciados, tal como é gerada em um SIG, deve ser capaz de organizar os dados de forma a permitir que sejam realizadas generalizações e agregações e ao mesmo tempo permitir um acesso fácil a todos os dados nela contidos. Além disto, a alocação de novos indivíduos na base de dados ou a realização de modificações dos dados existentes devem ser realizadas sem dificuldades.

#### **4.1.1. Mapas e Informação Espacial**

O estudo da distribuição espacial de fenômenos naturais, inicialmente era feito de forma qualitativa. Como em muitas ciências novas, o objetivo inicial de muitos levantamentos era o de se realizar inventários, ou seja, observar, classificar e registrar. Métodos qualitativos de mapeamento e classificação eram inevitáveis devido a grande quantidade de dados complexos que a maior parte dos levantamentos ambientais geravam. Descrições quantitativas eram evitadas pela falta de observações quantificáveis e pela falta de ferramentas matemáticas e computacionais. Apenas a partir dos anos 60 é que os métodos conceituais de análise espacial começaram a ser estudados.

A necessidade de se trabalhar com dados e análises espaciais, no entanto, não se restringe às Geociências. Planejadores urbanos e agências de cadastros necessitam de informações detalhadas sobre a distribuição da terra e de seus recursos. Engenheiros civis necessitam planejar estradas, canais e barragens. Departamentos de polícia necessitam saber a distribuição espacial dos crimes. Organizações médicas necessitam mapear a distribuição de doenças. Além destes, os serviços de água, luz, telefonia, eletricidade etc., também necessitam manipular informações espaciais.

Quando tem-se que trabalhar com um número grande de mapas monodisciplinar, no entanto, o usuário necessitará combinar as informações para ter uma visão integrada da paisagem. Neste caso, os Sistemas de Informação Geográfica tornam-se, a princípio, uma ferramenta fundamental nos projetos de Planejamento Regional, uma vez que, proporcionam a automatização do processo de sobreposição de mapas, que normalmente eram feitos manualmente numa mesa de luz.

A forma como se pode proceder à integração dos dados em um SIG é um dos objetivos de pesquisa deste trabalho e será discutida em detalhes no capítulo 5, onde metodologias de integração utilizando-se Sistemas de Informação Geográfica à luz da Ecologia da Paisagem serão avaliadas.

Não é objetivo deste capítulo apresentar os Sistemas de Informação Geográfica, sistemas estes já largamente difundidos e utilizados para o tratamento de informações geográficas. Entretanto, para aqueles que desconhecem o funcionamento de um SIG ou que desejam fazer uma revisão da teoria envolvida nesta ferramenta, sugiro a leitura do Apêndice 1, que tem como meta discorrer sobre esta teoria.

---

## 4.2. LIMITAÇÕES DO GEOPROCESSAMENTO COMO FERRAMENTA NA ANÁLISE AMBIENTAL

O Geoprocessamento pode ser utilizado em Geoecologia para estabelecer comparações de uma mesma paisagem em dois períodos de tempo distintos. Como as paisagens respondem a múltiplas perturbações, mas os efeitos destas são difíceis de serem previstos, os Sistemas de Informação Geográfica podem ser utilizados como subsídio ao planejamento global da paisagem.

Além disto, os SIGs podem ser utilizados para o desenvolvimento de modelos matemáticos e estatísticos para a simulação de modelos espaciais. Estes modelos são importantes quando se deseja fazer uma previsão das mudanças que irão ocorrer na estrutura da paisagem.

No que se refere ao Sensoriamento Remoto, o uso de imagens de satélite e radar podem auxiliar o processo de classificação de padrões da paisagem e possibilitar a realização de um monitoramento, aproveitando-se da característica temporal das imagens.

Entretanto, as técnicas de Geoprocessamento possuem algumas limitações que poderão diminuir o seu potencial de utilização ou até mesmo inviabilizá-lo por completo. Deve-se, portanto, para se realizar um trabalho consciente, ter em mente as potencialidades desta ferramenta, as suas limitações e os erros produzidos ou propagados a partir da sua utilização.

### 4.2.1. Propagação de Erros nos Sistemas de Informação Geográfica

Normalmente os sistemas de informação espacial assumem implicitamente que os fenômenos do mundo real podem ser modelados por entidades discretas, tais como: pontos, linhas, polígonos ou *pixels*, que possuem atributos exatos. As informações a cerca dos atributos de uma entidade podem ser recuperadas através da utilização de um método apropriado de tradução das questões do usuário para uma linguagem inteligível pelo computador.

Quando um dado ambiental é manipulado por um modelo lógico, assume-se que os resultados são corretos. No entanto, na realidade os resultados conterão erros porque os valores dos atributos de entrada não podem ser determinados de forma exata. A validade dos resultados obtidos depende da precisão com que a base de dados é montada.

Os SIGs, entretanto, no atual estágio de desenvolvimento, não possuem mecanismos para estabelecer a validade dos produtos que geram, isto é, os SIGs fornecem os mecanismos para transformar a informação obtida sem simultaneamente fornecer e quantificar o grau de confiabilidade desta informação. A literatura relativa ao desenvolvimento de aplicações utilizando-se SIGs reflete a omissão na estimativa da propagação de erros. Tal omissão não se deve ao fato dos erros nestes processos serem desprezíveis, mas sim porque a estrutura de modelagem nos SIGs não possibilita este procedimento.

As diversas etapas de utilização de um Sistema de Informação Geográfica poderão, portanto, ir acumulando erros e os propagando a cada operação de manipulação, comprometendo cada vez mais a qualidade do produto final a ser gerado pelas ferramentas disponíveis nos SIGs.

### 4.2.2. Fontes de Erros nos SIGs

Pode-se considerar que existem dois grupos de erros na utilização de mapeamentos automatizados. O primeiro são os erros inerentes aos dados, ou seja, os erros presentes nos documentos fontes utilizados. O segundo grupo, diz respeito à manipulação da informação em si e são chamados de erros operacionais. Estes erros são produzidos através de procedimentos nos SIGs, seja na captura, no gerenciamento ou na análise da informação.

Pode-se, de uma forma geral, enumerar os seguintes erros operacionais na utilização de um SIG: erros na aquisição de dados (por exemplo, na digitalização), erros numéricos no

---

armazenamento dos dados, erros de conversão (vetor x *raster*, *raster* x vetor) e erros advindos dos modelos lógicos.

Este último tipo de erro será tratado com mais atenção, uma vez que, por relacionar diversos níveis de informações e empregar uma seqüência de transformações, cruzamentos, etc., acabam acumulando os erros das demais etapas, que são propagados através destas manipulações.

#### 4.2.2.1. Erros advindos do Modelo Lógico

Se um usuário desejar realizar um estudo de avaliação da terra e fornecer os seguintes parâmetros, na classificação, por exemplo, de risco de erosão:

Serão consideradas áreas de alto risco:  
Se declividade > 10% AND Textura do Solo = areia AND Cobertura Vegetal < 25%

Neste caso o sistema fará uma interseção *booleana* (**AND**), através da sobreposição dos diversos Planos de Informação.

Cada polígono ou *pixel* representando uma área será testado em seus atributos fornecendo como resposta **TRUE** ou **FALSE**. Todas as entidades, portanto, que não satisfizerem as três condições simultaneamente serão rejeitadas.

Este tipo de modelagem é equivocada em diversos aspectos. Primeiramente porque assume que o fenômeno estudado pode ser descrito por uma simples expressão *booleana*, relacionando declividade, vegetação e textura. Deve-se considerar, por exemplo, que o risco de erosão continuará existindo se a declividade for ligeiramente menor que os 10% impostos na modelagem (por exemplo 9.5 %). E no entanto, de acordo com o modelo, utilizando-se o operador **AND**, a área seria considerada estável, pois um dos parâmetros não satisfiz a condição de risco.

Um outro equívoco inerente a este modelo, é que este assume que todas as medidas são extremamente precisas, o que sabe-se que na prática não é verdade. Existem erros de medida e de variação espacial.

Em geral, na maioria das vezes é impossível se afirmar que os atributos armazenados numa base de dados estão livres de erros. Conseqüentemente, quando se utiliza dados com um certo grau de incerteza nos modelos lógicos, os resultados advindos também irão conter erros.

Em suma, devido a representação rígida da classificação *booleana*, normalmente utilizada nos SIGs, os cruzamentos de mapas efetuados nas operações de manipulação provocam a propagação de erros e resultados não confiáveis.

Uma melhoria na precisão dos modelos através da eliminação das imprecisões mencionadas, advindas da lógica *booleana*, ou seja, eliminação do problema da fronteira rígida, pode ser obtida através da utilização da lógica contínua ou *fuzzy*. A utilização da classificação contínua pode reduzir a propagação de erros nos modelos lógicos, proporcionando resultados mais confiáveis, comparados com a utilização da classificação *booleana*.

Para um maior aprofundamento sobre a análise da precisão e propagação de erros em mapas temáticos nos SIGs sugere-se a leitura de (SIMÕES and FUKS, 1995b) e (van WESTEN, 1994).

Por ser a modelagem um procedimento importante no sucesso do desenvolvimento de estudos para Planejamento Regional, será analisada, a seguir, as formas de se modelar a informação num SIG e as tendências para o sucesso da representação das informações para fins de planejamento.

---

### 4.3. ANÁLISE DE DADOS E MODELAGEM

A análise de padrões espaciais em mapas é o principal objetivo da maioria das aplicações de ciências naturais nos Sistemas de Informação Geográfica.

Uma das principais ferramentas dos Sistemas de Informação Geográfica é a modelagem de mapas.

A análise de dados pode ser definida como sendo a extração de fatos significantes incorporados nas bases de dados. Análise de dados espaciais é, portanto, a extração de informações úteis dos dados que estão distribuídos no espaço. Análise de dados espaciais é o processo de busca de padrões e associações em mapas, auxiliando a caracterização, o entendimento e a predição de fenômenos espaciais.

Através de associações espaciais entre os componentes temáticos, pode-se chegar a uma modelagem indutiva. No processo indutivo, faz-se uma generalização a partir da análise de alguns dados fornecidos pelos mapas. A aplicação deste modelo leva a um processo dedutivo, no qual é possível avaliar ou predizer resultados. A dedução é, portanto, complementar à indução: partindo-se de uma generalização chega-se a avaliação de instâncias específicas.

A análise espacial de dados engloba uma variedade de atividades que auxiliam na descrição, compreensão e predição de padrões e associações nos mapas. A modelagem é o ingrediente chave desta atividade. Nos SIGs, a palavra modelo tem dois significados distintos: o primeiro é a idéia de modelo de dados, que é um esquema ideal para a organização de dados sobre o mundo real. No contexto de análise espacial, no entanto, a palavra modelagem refere-se a representação simbólica dos relacionamentos entre objetos espaciais e seus atributos.

Nos SIGs, a modelagem é a parte do processo analítico que propicia a descoberta, a descrição e a predição dos fenômenos espaciais. As operações de modelagem podem ser realizadas ou diretamente, sobre os planos de informação (PIs), utilizando-se os valores das classes, ou indiretamente através de tabelas de atributos conectadas a objetos espaciais, ou através da combinação de ambos: mapas e seus atributos. A modelagem é uma seqüência de afirmações algébricas que resultam na geração de um novo mapa de saída através de operações em um ou mais mapas e informações de entrada.

Pode-se distinguir três grupos de análises em um Sistema de Informação Geográfica:

- análise sobre um único mapa;
- análise sobre dois mapas;
- análise sobre múltiplos mapas.

No caso de projetos de Planejamento Regional, aplicação desta pesquisa, se faz necessário a análise de múltiplas informações contidas em diversos mapas. E é neste último processo: análise em múltiplos mapas que iremos, portanto, nos concentrar. Para um maior aprofundamento das técnicas de análise espacial nos outros casos, remeto o leitor a uma revisão em (BONHAM-CARTER, 1994), (TOMLIN, 1990), (PAREDES, 1994).

#### 4.3.1. Ferramentas para Análise de Múltiplos Mapas

O principal propósito da maioria dos projetos que utilizam os Sistemas de Informação Geográfica como ferramenta é a combinação de dados espaciais advindos de diversas fontes distintas, a fim de descrever e analisar as interações, fazer predições através de modelos e propiciar o suporte necessário para a tomada de decisão.

No caso do estudo do ambiente para projetos de planejamento regional, uma série de análises devem ser realizadas a cerca das vulnerabilidades, fragilidades naturais, mudanças

---

antropogênicas, potencialidades sócio-biofísica, potencialidades sócio-econômica, dentre outras. A partir do resultado destas análises, uma série de outras informações derivadas ou diagnoses podem ser elaboradas, novamente através da análise destas informações. A especificação dos tipos de análises necessárias para o caso do Projeto de Zoneamento Ecológico do Rio de Janeiro (ZEE-RJ), estudo de caso deste trabalho, será apresentado no capítulo 5, onde a metodologia utilizada é descrita. Nesta seção, pretende-se descrever como os SIGs são capazes de realizar tecnicamente estas análises, servindo, portanto, como uma ferramenta a ser utilizada no projeto ZEE, como será visto no capítulo 6, que descreve os procedimentos realizados durante o estudo de caso da Bacia da Baía de Sepetiba.

Uma série de critérios devem ser definidos e o processo envolve classificar as áreas de acordo com estes critérios. Se o critério for determinado como um conjunto de regras determinísticas, o modelo consiste em aplicar operadores Booleanos a uma série de mapas de entrada. A saída será um mapa binário, já que cada área é classificada somente como sendo: satisfatória ou não satisfatória, de acordo com o casamento, perfeito ou não, do critério adotado como ideal e as características encontradas nas áreas.

Alternativamente, cada área pode ser avaliada de acordo com um critério de pesos, resultando em uma graduação definida através de uma escala de acordo com o grau de adequabilidade da área aos critérios adotados. Este processo possui a vantagem de possibilitar a obtenção de resultados que descrevem o grau de adequabilidade em vez da simples classificação das áreas em duas classes: presença/ausência. Além disto, pode-se, também, obter a distribuição espacial destes padrões de adequabilidade.

De acordo com (BONHAM-CARTER, 1994), os modelos utilizados para a seleção de locais com uma dada característica são normalmente *prescritivos*. Eles envolvem a aplicação de uma série de critérios que são fixados a partir de características desejáveis, e pode resultar numa mescla de fatores científicos, econômicos e sociais. O modelos *preditivos* têm como propósito principal a determinação do potencial da área de estudo para um determinado fim.

#### 4.3.2. Tipos de Modelos

Os modelos são formas de se representar a realidade, ou seja, através de modelos, tenta-se imitar ou reproduzir as ocorrências do mundo real. Desta forma, pode-se trabalhar a informação existente, fazer simulações e extrair novas informações que servirão na tomada de decisão.

De uma forma geral, a modelagem em um SIG pode ser considerada o processo de produção de mapas de saída a partir da combinação de mapas de entrada através de uma função previamente definida.

mapa de saída := $f$ (dois ou mais mapas de entrada)
--

A função,  $f$  pode ter diferentes formas, porém os relacionamentos expressos pela função são ou baseados em um entendimento teórico dos processos físico, químico, antrópicos etc., ou são empíricos, ou seja, baseados na observação de dados. O sucesso da representação da realidade através de um modelo, depende da escolha da melhor função  $f$ , capaz de representar o mais fielmente possível a nossa realidade.

Ao se utilizar os SIGs para o mapeamento de potencialidades, pesos devem ser atribuídos aos diversos mapas que irão compor o modelo. A atribuição de pesos pode ser efetuada ou através da utilização de critérios estatísticos, utilizando-se uma dada região conhecida para estimar os relacionamentos espaciais entre os mapas de predição e os mapas de saída, ou os pesos podem ser estimados através da opinião de especialistas. O primeiro caso de modelagem é chamada de *data-driven* o segundo de *knowledge-driven*.

---

Nos modelos baseados nos dados (*data-driven*), os parâmetros utilizados são calculados a partir de dados amostrais (amostras de treinamento) e os mapas de entrada são combinados utilizando-se modelos, tais como: regressão e análise por redes neurais.

Nos modelos baseados em conhecimento (*knowledge-driven*), os parâmetros são estimados por especialistas e incluem o uso de lógica *fuzzy*, probabilidade Bayesiana ou outras técnicas modernas. O uso de lógica *fuzzy* será discutido e implantado neste trabalho como uma opção de aperfeiçoamento da modelagem empírica, para a representação e classificação de fenômenos naturais e estudos de planejamento.

Os modelos mais utilizados nos ambientes SIG para a combinação de mapas são:

- i) Operadores *Booleanos* - mais simples e mais conhecidos;
- ii) Sobreposição por Índice ou Média Ponderada com Pesos - utilizados quando os mapas devem ser analisados juntos através de uma combinação com pesos aos temas e notas às classes, segundo o julgamento de sua influência no fenômeno modelado;
- iii) Lógica *Fuzzy* - através da aplicação de uma função de pertinência. Será discutida em detalhes nas próximas seções.

Todos estes métodos são baseados em modelos empíricos subjetivos sendo, as regras; pesos e notas ou valores das funções de pertinência *fuzzy*, atribuídos de forma subjetiva, utilizando-se o conhecimento do processo envolvido para estimar a importância relativa dos mapas de entrada.

Nos SIGs, entretanto, pode-se também utilizar outros tipos de modelos, para aplicações que envolvam probabilidade. Nestes casos, os pesos atribuídos aos mapas de entrada podem se basear em: modelos *Bayesiano*, modelo de regressão logística, modelo de *Dempster-Shafer* e modelos que envolvem estatística multivariada. Estes modelos se aplicam mais às análises predictivas, como por exemplo: análise do potencial mineral de uma região. Para estudar aplicações que envolvam estes tipos de modelagem, remeto o leitor à (BONHAM-CARTER, 1994).

No caso da análise de informações para aplicações em planejamento regional, objeto deste trabalho, não se trabalha com modelos probabilísticos, considera-se a importância relativa de cada mapa de entrada relevante ao modelo através de modelos empíricos, conforme será visto adiante.

#### **4.3.2.1. Modelagem Através de Lógica *Booleana***

A modelagem *Booleana* envolve a combinação lógica de mapas binários resultantes da aplicação de operadores indicando condições. Cada mapa utilizado como uma condição pode ser considerado como um Plano de Informação (PI) contendo evidências.

Os vários PIs de evidência são combinados para suportar uma hipótese ou proposição. Por exemplo: “*seria esta área própria para a construção sem riscos de desmoronamento?*”, “*seria esta área própria para ser utilizada como área agrícola em termos de fertilidade?*”.

Cada local é testado a fim de se determinar se o mesmo pertence ao conjunto de localizações as quais os critérios são satisfeitos. A hipótese é avaliada repetidas vezes sobre todas as localizações da área de estudo, resultando em um mapa binário. Na linguagem de conjunto, o conjunto de pertinência é expresso somente com os valores binários 1 (verdadeiro) ou 0 (falso), sem a possibilidade de se obter como resposta *talvez*.

A principal característica dos modelos *Booleanos* é sua simplicidade. A combinação lógica de mapas em um Sistema de Informação Geográfica é análoga à sobreposição física de mapas numa mesa de luz.

---

A combinação *Booleana* é facilmente aplicável. Na prática, no entanto, é normalmente inapropriada, por considerar que cada critério utilizado na modelagem, possui o mesmo grau de importância.

Os mapas de evidência necessitam ser considerados com diferentes pesos, de acordo com a importância relativa de cada tema. As inferências a cerca de uma hipótese baseadas na aplicação de um conjunto de regras *Booleanas* constituem um dos métodos de representação do conhecimento, muitas vezes ineficiente.

#### 4.3.2.2. Modelos baseados na Sobreposição por Índices

O caso mais simples de atribuição de pesos é quando os mapas de entrada são binários e a cada mapa é fornecido um único fator de peso. Entretanto, quando se utiliza mapas com múltiplas classes, a cada classe de cada mapa é fornecida uma nota diferente, o que leva a um sistema de análise por pesos mais flexível. O primeiro caso é conhecido como Modelagem por Evidências Binárias e o segundo por Sobreposição de Índices em Mapas Multi-classes ou Média Ponderada.

##### 4.3.2.2.1. Modelagem por Evidências Binárias

Caso os mapas de evidência a serem combinados sejam binários, cada mapa é simplesmente multiplicado por seu fator de peso, somado todos os mapas que estão sendo combinados e normalizados através da soma dos pesos. O resultado são valores variando de 0 a 1, que podem ser classificados em intervalos apropriados para mapeamento. Para cada localização analisada, os valores de saída (S) são definidos como:

$$S = \sum P_i \text{ classe ( Mapa } i ) / \sum P_i$$

onde  $P_i$  é o peso fornecido a cada mapa e **classe ( Mapa i )** é o valor da classe do mapa que por ser binário é 0 ou 1, ou seja, ausência ou presença da característica representada por aquele mapa. O valor de saída é 0, significando extremamente infavorável a 1, significando extremamente favorável. O resultado é a produção de um mapa apresentando regiões que são graduadas de acordo com o valor de saída.

##### 4.3.2.2.2. Sobreposição de Índices em Mapas Multi-classes

Neste caso, a cada classe dos mapas de entrada, são atribuídos valores ou notas distintas, assim como, cada mapa, de acordo com a sua importância no fenômeno estudado, recebe um valor ou peso. É conveniente definir as notas numa tabela de atributos para cada mapa de entrada. A média dos valores é obtida através da fórmula:

$$S = \sum N_{ij} P_i / \sum P_i$$

onde S é o valor obtido para um objeto espacial, que pode ser um polígono ou pixel,  $P_i$  é o peso fornecido ao *i-esimo* mapa de entrada e  $N_{ij}$  é a nota fornecida para classe *j-esima* do mapa *i*.

Cada mapa deve ser associado a uma lista contendo as notas de cada classe. As notas das classes podem ser alocadas num SIG numa tabela de atributos. As tabelas de atributos podem ser modificadas sem ter-se que alterar os procedimentos de modelagem.

Os Modelos baseados na Sobreposição por Índices permitem uma combinação mais flexível de mapas de evidência do que as operações baseadas somente na lógica *Booleana*. As tabelas de notas e os pesos dos mapas podem ser ajustadas de forma a refletirem o julgamento dos especialistas no domínio da aplicação em análise.

---

Diferentemente do uso *Booleano*, que assume que todas as propriedades devem ser consideradas críticas, a utilização de média ponderada permite que *as faltas de algumas propriedades sejam compensadas pelo excesso de outras*. Os erros de classificação dos dados originais terão um efeito menor no final, do que quando o valor de um atributo em uma dada localização qualquer não satisfizer aos requisitos de uma determinada classe.

Este tipo de classificação, entretanto, possui como limitação o fato destes pesos serem considerados constantes ao longo de um Plano de Informação, o que muitas vezes não ocorre ao se considerar o ambiente de forma integrada. Muitas vezes a conjunção de parâmetros numa dada localização faz com que um determinado parâmetro, representado no Plano de Informação, passe a ter menos importância numa dada região e, portanto, seria necessário que houvesse um dispositivo que permitisse flexibilizar os valores dos pesos por região, o que não é possível quando se utiliza a classificação por média ponderada.

A grande desvantagem do método recai na sua natureza linear. O método baseado em lógica *fuzzy*, apresentado a seguir, é similar em muitos aspectos, porém as regras de combinação são mais flexíveis, o que traz um melhoramento nesta natureza linear de modelagem, podendo ser uma alternativa na representação dos parâmetros de forma integrada e, conseqüentemente, uma forma mais apropriada para se modelar o ambiente à luz da Ecologia das Paisagens.

#### **4.3.2.2.3. Modelagem Baseada em Lógica Fuzzy**

Os modelos baseados na lógica *Fuzzy*, permitem uma maior flexibilidade nas combinações de mapas com pesos e podem ser implementados nos Sistemas de Informação Geográfica a partir de uma linguagem.

Cada valor de  $x$  é associado a um valor  $\mu(x)$ , fornecido através da função de pertinência e o par ordenado  $(x, \mu(x))$  é conhecido como conjunto *fuzzy*. A forma da função de pertinência não é necessariamente linear, ela pode assumir qualquer formato analítico ou arbitrário apropriado ao problema modelado. As funções de pertinência podem também ser expressas como listas ou tabelas de valores. Neste caso, as classes dos mapas podem ser associadas a valores de funções de pertinência *fuzzy* através de uma tabela de atributo. O valor medido da variável mapeada pode ser categórico, ordinal ou de intervalo.

Os valores das funções de pertinência *fuzzy* devem estar compreendidos no intervalo (0,1), mas não há restrições práticas na escolha dos valores da função de pertinência dentro deste intervalo. Os valores são escolhidos de forma a refletirem o grau de pertinência de um conjunto, baseado no julgamento subjetivo a cerca da importância do mapa e das suas várias classes.

Um mesmo mapa pode ter mais de uma função de pertinência *fuzzy*, assim como diversos mapas distintos podem ter valores de pertinência advindos de funções criadas considerando-se uma mesma hipótese ou proposição. Suponha que um objeto espacial num mapa, seja ele um polígono ou um pixel, seja avaliado de acordo com a proposição: *localização favorável para a exploração de ouro*, conseqüentemente, todos os mapas que serão utilizados como suporte a esta proposição poderão ser associados a uma função de pertinência *fuzzy*.

Os valores de pertinência devem refletir a importância relativa de cada mapa, assim como a importância relativa de cada classe de um dado mapa. Os valores de pertinência refletem **simultaneamente** as notas das classes e os pesos dados a cada tema no processo de médias ponderada por tema, visto no item anterior.

Isto soluciona uma das limitações encontradas ao se modelar a paisagem utilizando-se o processo de Sobreposição por Índices, nos quais os valores atribuídos aos pesos (relativo a importância do mapa ou tema no fenômeno) são fixos para toda a área. Ao se utilizar os conjuntos *fuzzy* pode-se variar o valor, em um determinado local, de acordo com as

características conjuntas da paisagem como um todo, segundo a sua importância relativa na avaliação do fenômeno estudado.

O processo de classificação por Sobreposição por Índices será utilizado neste trabalho na análise para planejamento regional a partir de mapas temáticos isolados. Este método, que pode ser chamado de convencional num ambiente SIG, foi escolhido para se contrapor ao novo método pesquisado.

O resultado da aplicação da metodologia proposta, baseada na modelagem por lógica fuzzy e mapas integrados à luz da teoria da Ecologia da Paisagem, serão então comparados.

Para um maior esclarecimento a cerca das limitações da classificação *Booleana* convencional e da modelagem baseada na lógica *fuzzy*, estas duas formas de classificação serão discutidas em detalhes a seguir.

#### 4.4. LIMITAÇÕES DA CLASSIFICAÇÃO BOOLEANA

Atualmente, pode-se dizer que, o uso da lógica *booleana* ainda configura o estado da arte em termos de classificação de informações geográficas, seja esta processada de forma manual ou automatizada. Em outras palavras, a grande maioria dos procedimentos relativos a classificação se baseia neste procedimento, apesar de todos os problemas de precisão inerentes a este método.

Nos processos manuais é realizado um cruzamento de domínios ou unidades temáticas através da utilização de um “e”, ou seja, “se” isto “e” isto, então classifica-se como *aquilo*. Na classificação *booleana*, portanto, são obtidos resultados binários: 0 ou 1, ou seja, “pertence” à classe ou “não pertence” à classe, “há risco” ou “não há risco” e assim sucessivamente.

Da mesma forma, o sistema de recuperação de dados relacional e os métodos inferenciais, normalmente utilizados pelos Sistemas de Informação Geográfica nos processos de avaliação da terra e dos recursos naturais, baseiam-se na estrutura: **Condição - Implica - Ação**, que é usualmente codificada através da utilização de um: **If ... Then**.

Esta estrutura baseia-se em operações com lógica *booleana*. A Figura 15, abaixo, ilustra de forma esquemática, como dois conjuntos de atributos A e B podem ser combinados através do uso normal da lógica *booleana*:

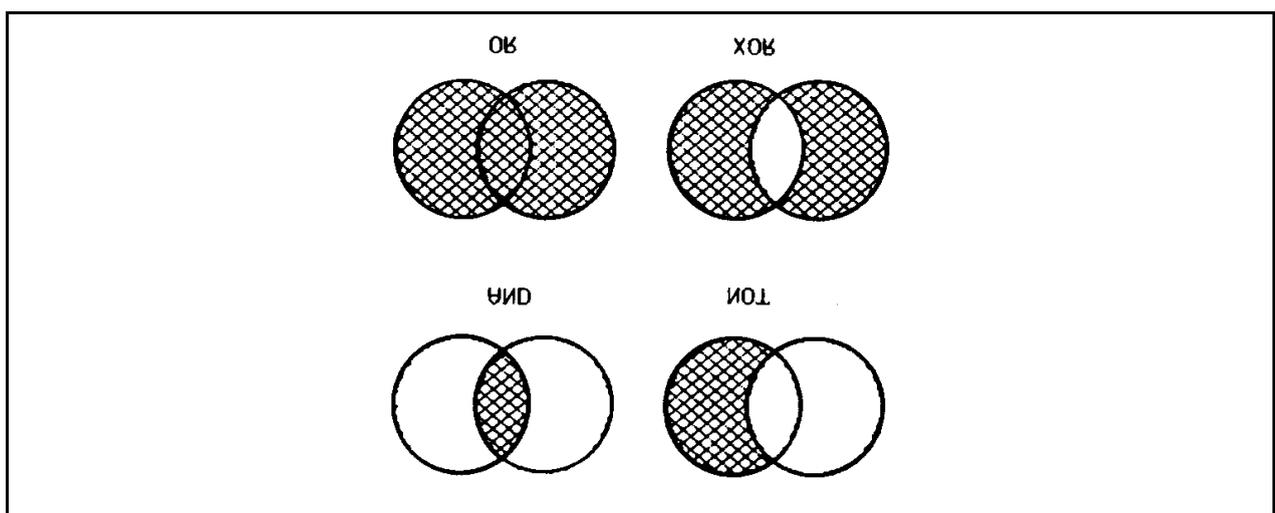


Figura 4.4.1 - Combinação convencional de dois PIs através do uso da lógica *booleana*

---

Para exemplificar a combinação de dois conjuntos utilizando-se esta lógica, considere a aplicação da seguinte regra de classificação: “Se o solo é não alcalino **AND** declividade = 5% **THEN** a área é apropriada para irrigação.”

Em um SIG, este tipo de operação pode ser aplicada em toda a base de dados para gerar mapas derivados a serem utilizados para tomada de decisão.

Apesar destes métodos convencionais virem sendo utilizados freqüentemente, estudos recentes sobre variação espacial multivariada vêm demonstrando que o simples conceito de unidades discretas, básicas e homogêneas é inadequado para o progresso nos estudos de levantamento de solos, avaliação quantitativa da terra e nas análises da paisagem (WEBSTER, 1985). Conforme comentado anteriormente, não se pode estar absolutamente certo de que todas as afirmações feitas sobre as unidades de dados são “verdadeiras”, uma vez que não se pode garantir que estas unidades são exatas nem que as medições que lhes deram origem foram precisas.

Sabe-se que é impossível determinar os valores das propriedades de uma área de forma exata ou precisa. Sabe-se também que as fronteiras das unidades dos mapas estão refletindo a existência de mudanças abruptas na paisagem, provocando uma divisão numa superfície contínua ou fazendo com que pequenas diferenças nos valores amostrados, provoquem uma separação de classes, levando áreas com características semelhantes, a serem consideradas em lados diferentes nas fronteiras de classificação.

Um outro fator a ser considerado é a escala de trabalho, pois apesar de uma área poder ser delineada como uma unidade homogênea numa escala de mapeamento, ela pode usualmente se apresentar como unidades menores em escalas maiores (BURROUGH, 1983).

Os métodos utilizados para verificar o ajuste de uma área ao conjunto de requisitos que irá classificá-la é muito simples quando se utiliza a lógica *Booleana*. Características complexas da terra e suas classes podem ser definidas utilizando-se os operadores **AND**, **OR**, **NOT**, **XOR**, para especificar que combinações de valores de atributos são necessárias para um dado propósito de classificação. As características que irão definir uma classe são normalmente definidas através da especificação das variações de um certo número de valores de propriedades chaves que um indivíduo deve possuir. Para se classificar como membro de um dado domínio, as características de uma dada área devem se encaixar em todas as especificações, o que se faz, através do uso múltiplo do **AND Booleano**, ou seja, através de uma interseção:

$R = \text{true}$ (pertence a uma dada classe) se $A \text{ AND } B \text{ AND } C \text{ AND } D$
--

onde A, B, C, D ... representam os intervalos especificados das propriedades que norteiam a classificação. Os valores que se obtém aqui são, portanto, binários: *verdadeiro* quando o resultado da interseção é 1 e *falso* quando o resultado é 0. Neste caso, quando se está classificando um determinado fenômeno que depende de diversas variáveis, o resultado desta classificação se baseará no *menor* valor determinado na região a ser classificada, ou seja:

$R = \text{MIN} ( Q_1, Q_2, Q_3 \dots )$
--

onde os  $Q_i$  são os valores da classificação de cada parâmetro que influenciam o fenômeno estudado. Esta classificação é chamada de estrita ou exata (BURROUGH et al., 1992).

A base conceitual destas regras lógicas se baseia em dois fundamentos:

- a) que todas as questões podem ser resolvidas de forma exata;
- b) que todas as mudanças importantes ocorrem exatamente nas fronteiras compreendidas pela classe.

---

Estes fundamentos ignoram aspectos importantes, tais como: a existência de uma variação gradual e a existência de erros nas medidas dos dados ambientais.

Uma considerável perda de informação pode ocorrer quando os dados que variam continuamente, ou que estão corrompidos por erros de medição, são recuperados ou combinados utilizando-se lógica *booleana* e classes com fronteiras rígidas.

Um exemplo da imprecisão advinda destes fatos é observado quando são analisados dados de solos. Segundo os estudos de (BURROUGH, 1989) e (MARSMAN and De GRUJITER, 1984), ao se avaliar a precisão destes mapas, para uma determinada escala, observa-se que menos de 50% das classes de solos estão condizentes com os perfis coletados e que geraram aquele mapa. O método *Booleano* leva a resultados que diminuem seriamente a qualidade do mapa.

**Em alguns casos é possível que um valor baixo para uma das características consideradas na classificação possa ser compensado por uma outra característica que esteja melhor do que o necessário.** E é justamente pelo fato do método *Booleano* não considerar estas compensações, que ocorrem os erros.

#### 4.5. CLASSIFICAÇÃO FUZZY

Nesta seção será apresentada uma proposta alternativa de classificação: **a classificação *fuzzy***, suas vantagens em relação ao método *Booleano* convencional e as ferramentas disponíveis através das operações *fuzzy*.

Em vez de se classificar as informações geográficas em classes definidas de forma exata e depois atribuir pesos às classes, conforme é feito na classificação por média ponderada, descrita anteriormente, pode-se adotar uma outra estratégia, a qual reescalonar-se o dado original em uma escala de graduação contínua através da atribuição de valores contínuos de pertinência. Estes valores contínuos podem ser atribuídos a atributos individuais ou a grupos de atributos.

Aos indivíduos que se encaixam em classes estritamente definidas, são atribuídos valores de pertinência iguais a 1. Os indivíduos que estão fora da variação que caracteriza uma determinada classe terão seus valores de pertinência dependentes do seu grau de proximidade com a classe definida.

Desta forma, um indivíduo com um valor observado um pouco fora do limite da classe deverá receber um valor de pertinência por volta de 0.95, indicando que não é um membro pertencente completamente à classe, mas que não deve de forma alguma ser rejeitado. Os indivíduos que estão longe da classe estritamente definida, ou seja, que receberam um valor de pertinência menor que 0.5, podem ser tranquilamente rejeitados.

O valor de pertinência atribuído à classe depende:

- da função utilizada para atribuir valores de classificação contínua → esta função associa a cada elemento um valor no intervalo contínuo  $[0, 1]$ ,
- em como estes valores variam com a distância, no espaço de atributos, e com as fronteiras estritas da classe.

A classificação contínua de objetos e atributos é descrita por *conjuntos fuzzy* conforme proposto por (ZADEH, 1965). A teoria *fuzzy* é uma generalização da álgebra *booleana* (BURROUGH et al., 1992) para situações em que zonas de transição gradual são utilizadas para dividir classes, em vez da utilização de fronteiras rígidas.

---

O método pode ser utilizado tanto para a classificação de locais segundo seus atributos, quanto para a determinação da distribuição espacial de fenômenos geográficos, ou seja, para a localização de áreas que podem ser consideradas como pertencentes a uma dada classe.

A vantagem deste método é que o usuário pode ver em uma escala contínua o quanto o dado se encaixa na definição da classe.

Existem duas abordagens básicas para classificação. A primeira baseia-se na procura de uma partição natural das observações no espaço multivariado em grupos estáveis com ocorrência natural. Uma vez identificados, estes grupos podem ser utilizados como norteadores de informações importantes sobre outras propriedades do indivíduo no grupo.

(BURROUGH, 1989) estendeu os conceitos da taxonomia numérica para utilizar *fuzzy* na classificação do solo. A principal vantagem desta abordagem é que as classes naturais são obtidas diretamente a partir de observações e, conseqüentemente são úteis quando se está estabelecendo uma classificação ou uma estratégia de mapeamento. A classificação numérica pode não ser adequada quando os usuários já têm uma idéia clara do que necessitam e desejam apenas encontrar aqueles indivíduos ou áreas que correspondem mais fielmente aos seus ideais.

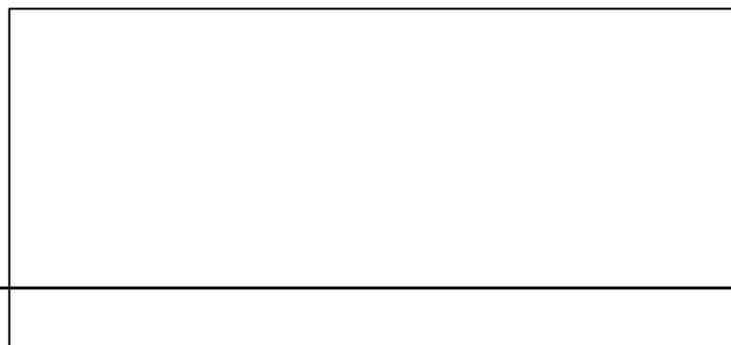
Uma segunda abordagem baseia-se na especificação dos limites das classes a partir da experiência ou por definições preestabelecidas, partindo para a determinação de quantos indivíduos com definição multivariada se encaixam aos requisitos.

As fronteiras rígidas não permitem que os erros ou ambigüidades sejam medidos, conseqüentemente, apesar deles seguirem as regras impostas, os usuários podem ficar insatisfeitos com os resultados, por serem muito inflexíveis, não permitindo-se considerar o grau de imprecisão existente nos dados utilizados.

Pode-se exemplificar isto para o caso de se considerar a fronteira do conjunto “solos bem drenados” definida como aqueles solos nos quais não há existência de *gley* a uma profundidade menor que 100 cm no perfil. Um solo no qual o *gley* ocorra numa profundidade um pouco menor, seria excluído desta classe, mesmo que o *gley* ocorresse a 90-95 cm de profundidade. Este limite restrito é normalmente insatisfatório, porque as irregularidades na coleta dos perfis não permitem que a profundidade do solo seja medida com uma precisão de +/- 5 cm. Conseqüentemente, a classificação das linhas de borda que separam, neste caso, as classes de solos “bem drenados” dos solos “mal drenados” é imprecisa.

A idéia da lógica *fuzzy* é se evitar dicotomias absurdas que podem ocorrer quando a pertinência é expressa apenas como sendo completamente verdadeiro ou totalmente falso.

Em contraste com os conjuntos rígidos, os conjuntos *fuzzy* admitem a **possibilidade de pertinência parcial**. São, portanto, generalizações dos conjuntos rígidos, onde as fronteiras das classes não são, ou não podem ser, definidas rigidamente. O método *fuzzy* não é probabilístico, porque ele permite a determinação de *possibilidades* nas quais indivíduos uni ou multivariados se encaixam nas especificações externas definidas. A vantagem é que o usuário pode ver numa escala contínua em que proporção seus dados se encaixam nas definições das classes, conforme representado no esquema da Figura 4.5.1.



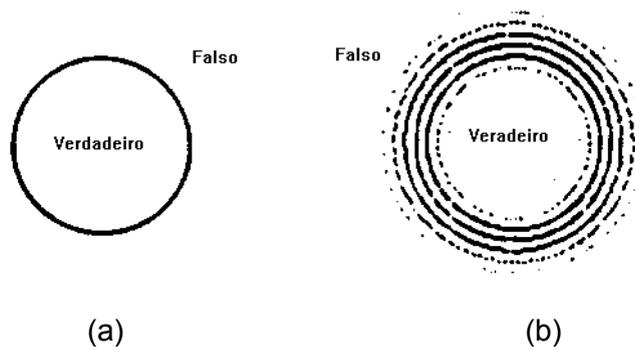


Figura 4.5.1 (a) as fronteiras rígidas da classificação *booleana*  
 (b) as fronteiras não rígidas da classificação *fuzzy*

O termo *fuzzy* não deve ser igualado com *caos*, uma vez que os métodos *fuzzy* foram projetados explicitamente para manipular a inexatidão de forma bem definida. É apropriado utilizar-se os conjuntos *fuzzy* sempre que for necessário lidar com ambigüidades e imprecisões em modelos matemáticos ou conceituais de fenômenos empíricos.

A teoria dos conjuntos *fuzzy* foi desenvolvida para lidar com problemas advindos do processo de informação baseados em linguagem natural, nos quais os conceitos centrais estão presentes, mas as definições das arestas limites são necessariamente vagas. A teoria dos conjuntos *fuzzy* distingue três tipos de inexatidão (BURROUGH, 1989):

- generalidade - que um único conceito se aplica a várias situações;
- ambigüidade - que um único conceito engloba mais de um sub-conceito distinto;
- imprecisão - que não se pode definir fronteiras precisas.

#### 4.5.1. Conjuntos Fuzzy

O conjunto de valores *fuzzy* **A** em **X** é definido matematicamente como o par ordenado:

$$A = \{ (x, \mu_A(x)) \}, \quad x \in X$$

onde **X** = (**x**) é o universo de atributos,  $\mu_A(x)$  é conhecido como grau de pertinência de **x** em **A**. O valor  $\mu_A(x)$  é um número que pertence ao intervalo **[0,1]**, onde **1** representa a associação total do conjunto, e **0** a não associação.

Os graus de associação de **x** em **A** refletem uma espécie de ordem que não é baseada na *probabilidade*, mas na *possibilidade*. Estes valores são obtidos por **funções de pertinência**:

$$\mu_A(x) : X \rightarrow A : [0,1].$$

As seguintes notações são utilizadas para representar os conjuntos *fuzzy*:

$$A = \int_X \mu_A(x) / x$$

quando A é contínuo ou

$$A = \dot{\alpha} m_{A_j}(x) / x_j$$

ou seja:

$$m_{A1}(x) / x_1 + m_{A2}(x) / x_2 + \dots + m_{An}(x) / x_n$$

quando **A** é finito ou um conjunto contável de **n** elementos.

O símbolo "/" deve ser interpretado como **com respeito a** e "+" como **união**

#### 4.5.2. Funções de Pertinência

A função de pertinência dos conjuntos *fuzzy* define como o grau de pertinência de **x** em **A** é determinado, permitindo associar-se a cada elemento de uma classe o seu nível de pertinência

Deve ser observado que não existe um único conjunto *fuzzy* para uma mesma classe, ou seja, para um mesmo conjunto de dados, diferentes usuários podem obter conjuntos *fuzzy* diferentes dependendo da função de pertinência utilizada.

Para conjuntos precisos (*Booleanos*) a função de associação é dada por:

$$\begin{aligned} m_A(x) &= 0 && \text{para } x < b_1; \\ m_A(x) &= 1 && \text{para } b_1 \leq x \leq b_2; \\ m_A(x) &= 0 && \text{para } x > b_2; \end{aligned}$$

onde  $b_1$  e  $b_2$  são as condições que representam, respectivamente, os limites precisos superior e inferior do conjunto.

Para exemplificar, suponha que os valores de profundidade de um lençol freático considerados como limites para classificar locais de drenagem ruim e boa, sejam definidos na função de pertinência como sendo:  $b_1 = 50$  cm e  $b_2 = 100$  cm. Então, as áreas compreendidas entre 50 e 100 cm teriam  $m_A(x) = 1$  e seriam consideradas de boa drenagem, assim como as áreas com valores fora destes limites seriam consideradas de drenagem ruim, ou seja,  $m_A(x) = 0$ .

Para os conjuntos *fuzzy* os valores  $b_1$  e  $b_2$  definem o conceito central da classe. A função de pertinência de elementos *fuzzy* define a possibilidade dos valores dos elementos, partindo de 0.0, para aqueles indivíduos que estejam completamente fora do conjunto, até 1.0, para aqueles que estejam dentro do conceito central. O valor do atributo com grau de pertinência 0.5 é chamado ponto de cruzamento ou *cross over*.

(BURROUGH, 1989) considera que as funções de pertinência podem ser derivadas, a partir dos Modelos Semânticos. Os chamados Modelos Semânticos utilizam uma função de pertinência definida *a priori*, com a qual podem ser atribuídos graus de pertinência aos indivíduos. Estes modelos devem ser utilizados em situações em que o usuário tem bem definidas as classes que vai utilizar e deseja "fuzzificar" seus limites, ou seja, obter os limites ou fronteiras entre classes representadas por uma escala de gradação (SIMÕES and FUKS, 1995a).

Os modelos SI podem ser representados por várias *Funções de Pertinência* (FP). Estas funções são determinadas segundo suas características simétricas ou assimétricas em relação ao conceito central e ao grau de dispersão dos elementos pertencentes a uma classe, segundo as características dos limites do conjunto (BURROUGH et al., 1992). Os modelos de classificação *fuzzy* utilizados para dados ambientais são extensões das funções geradas por (KANDEL, 1986). Nestes modelos a função *fuzzy* simétrica (Figura 17a) é definida como:

$$FP_x = \mu_A(x) = 1 / \{1 + d(x-b)^2\}, \quad \text{para } 0 \leq x \leq N \quad [4.1]$$

onde **d** é o parâmetro responsável pela forma da função e **b** define o valor do domínio de **x** para o conceito central. Variando o valor de **d**, a forma da função de associação, e a posição do ponto de cruzamento (*cross-over*) podem ser facilmente controláveis. Percebe-se que o poder da expressão  $(x-b)^2$  pode também ser variado, controlando a dispersão do conjunto. Portanto, a forma da função de pertinência dos elementos e a posição dos pontos de cruzamento podem ser facilmente alterados, modificando-se os valores dos parâmetros.

As Figuras 4.5.2.1. {a,...,e} apresentam simultaneamente as funções de pertinência *booleana* e *fuzzy*, para que se possa observar as diferenças existentes entre estes dois processos de classificação. Os retângulos hachurados nestas figuras representam a função de pertinência *booleana* de valor 1 (significando que pertence a classe). Todos os valores de **x** fora deste retângulo recebem valor 0 (indicando que não pertencem a classe). Já a função *fuzzy*, em geral na forma de sino, representa intervalos de gradação que vão de 0 a 1. Estes intervalos possibilitam a representação do grau de pertinência da variável no fenômeno estudado.

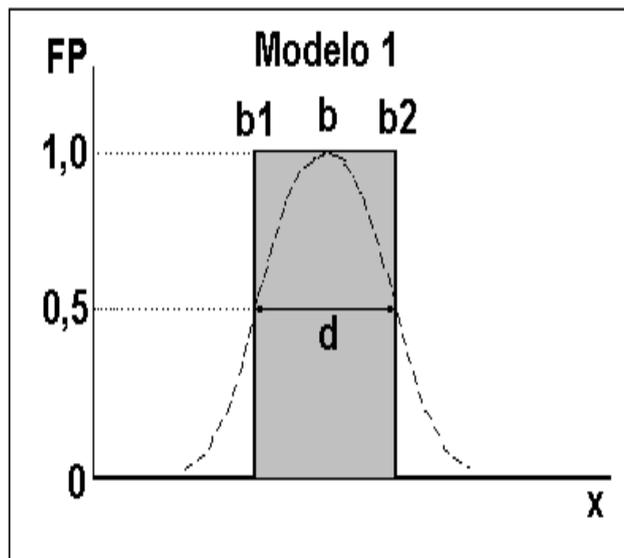


Figura 4.5.2.1.a

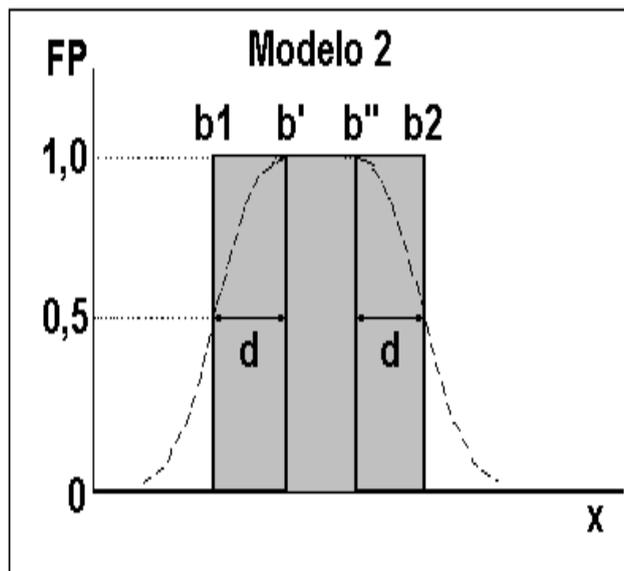


Figura 4.5.2.1.b

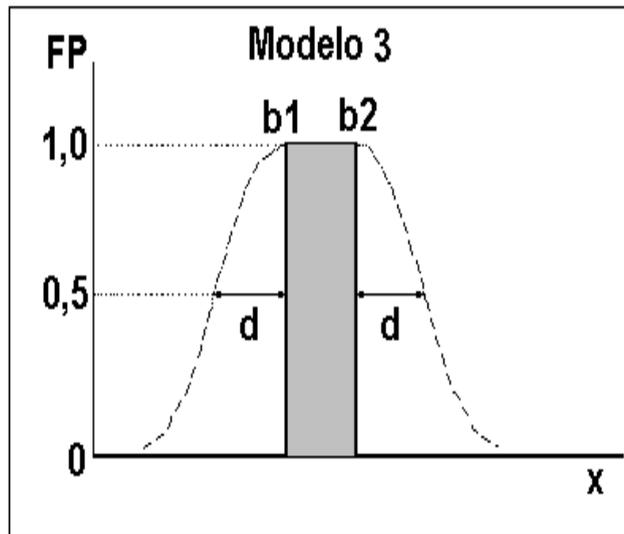


Figura 4.5.2.1.c

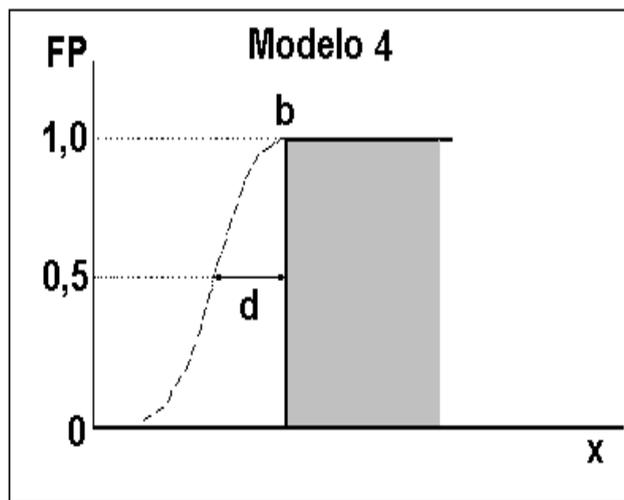


Figura 4.5.2.1.d

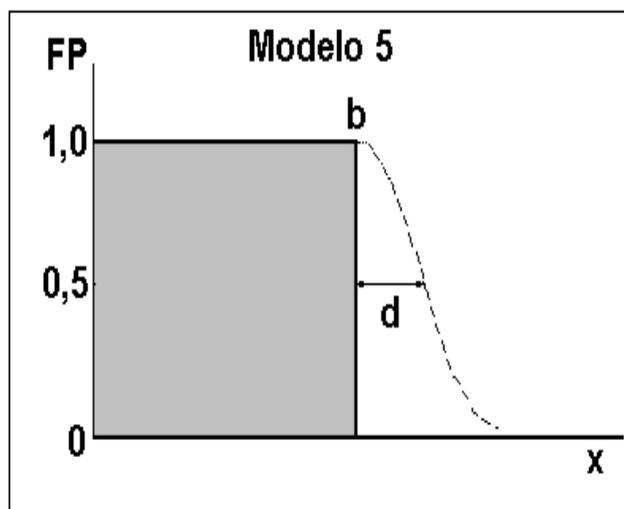


Figura 4.5.2.1.e

Figura 4.5.2.1 - Modelos de classificação *fuzzy* e *booleana*.

---

A Figura 4.5.2.1.a representa o modelo 1, onde as funções são simétricas. Observa-se que, para alguns valores de  $x$  do conjunto *Booleano*, admite-se uma variação de valores *fuzzy* definida pela equação [4.1], retornando os valores numa escala contínua e possuindo como máximo o valor  $x=b$ .

Existem situações, como no modelo 2, apresentado na Figura 4.5.2.1.b, em que o conjunto *fuzzy* possui valores de pertinência igual a 1 dentro da região do núcleo central, delimitado por  $b'$  e  $b''$ , e as zonas de transição são simetricamente localizadas entre o ponto de cruzamento e os limites *Booleanos* ( $b_1$  e  $b_2$ ).

No modelo 3 (Figura 4.5.2.1.c), a posição da zona de transição está inteiramente nos limites do conjunto *Booleano*. Os modelos 2 e 3 podem ser utilizados nos estudos relativos a algumas característica dos solos. Por exemplo, no caso de se desejar saber se a textura de um solo se enquadra exatamente dentro do conceito central e, caso não se enquadre, qual o valor contínuo da sua textura.

Em contraste ao modelo 1, nos modelos 2 e 3 pode-se observar variações para a determinação gradual dos valores de pertinência dos elementos, em função da zona de transição, e toma-se como comparação a definição rígida das classes *Booleanas*.

Em muitas situações, apenas o limite inferior ou superior de uma classe é um limitador de importância prática. As Figuras 4.5.2.1.d e 4.5.2.1.e apresentam respectivamente os modelos 4 e 5, onde a zona de transição inicia-se nas extremidades do modelo 3. Nestes casos, a função de associação do lado inferior ou superior são truncadas, ou seja, o conceito central de um atributo é igual ou maior que um determinado valor. Nestes casos, a seguinte função de associação assimétrica é utilizada:

$$\mu_A(x) = 1, \quad x \geq b$$

$$\mu_A(x) = 1/\{1+d(x-b)^2\} \quad x < b$$

Por exemplo, se o limite para um solo ser classificado como profundo é  $b=100$  cm. Na classificação *booleana*, então, a função de pertinência classificará como **1** (pertence) todos os solos com profundidade  $> 100$  cm e como **0** todos os que apresentarem profundidade  $< 100$  cm. Já na classificação *fuzzy*, será fornecido um valor gradual, que depende da proximidade do valor do atributo  $x$  ao valor  $b = 100$  cm especificado como limite. Neste caso, o modelo 4 seria utilizado.

Nos processos manuais de avaliação do meio ambiente, os níveis dos fatores de certeza são determinados pela experiência dos especialistas. Devido ao fato dos métodos atualmente utilizados para a coleta e estrutura de dados em geral ignorarem os problemas reais de variação espacial e da existência de uma transição contínua na paisagem, os métodos de avaliação da terra, que utilizam unidades discretas e regras fixas baseadas na lógica *booleana*, não conseguem representar o mundo real ou trazer resultados tão precisos quanto o usuário espera. Deve-se, portanto, a fim de se obter avanços na avaliação quantitativa da terra, integrar a coleta de dados com a análise de forma mais concreta do que as práticas correntes vêm permitindo.

Uma solução para a melhoria na qualidade das análises realizadas num conjunto de informações geográficas pode ser obtida através da utilização das operações *fuzzy* como sendo um conjunto de ferramentas para a manipulação dos dados. As principais operações que se pode dispor a partir da lógica *fuzzy* serão apresentadas a seguir.

---

### 4.5.3. Operações Fuzzy

As operações básicas nos conjuntos *fuzzy* são uma generalização daquelas utilizadas no conjunto *Booleano* (união, interseção, complemento, etc.), apresentando, no entanto, aplicações mais diversificadas, uma vez que possibilitam a definição de variáveis linguísticas, conforme será apresentado na próxima seção.

Um resumo das principais operações básicas será apresentado e, para maiores detalhes, aconselha-se a leitura de (KANDEL, 1986), (KAUFFMAN, 1975), (BRAGA and DRUCK, 1994).

i. Dois conjuntos *fuzzy*, A e B, são ditos **iguais**,  $A = B$  se e somente se:

$$\int_X \mu_A(x) /x = \int_X \mu_B(x) /x$$

ii. A **está contido** em B se:

$$\int_X \mu_A(x) /x \leq \int_X \mu_B(x) /x$$

iii. A **união** de dois conjuntos *fuzzy* A e B,  $A + B$ , é definida por:

$$A + B \triangleq \int_X \mu_A(x) /x \vee \mu_B(x) /x$$

e corresponde ao conectivo "**ou**".

iv. A **interseção** de dois conjuntos *fuzzy* A, B ( $A \cap B$ ) é definida por:

$$A \cap B \triangleq \int_X \mu_A(x) \wedge \mu_B(x) /x$$

A interseção corresponde ao conectivo "**e**".

v. O **complemento de A** é denotado por  $\acute{c}A$ , e definido por:

$$\acute{c}A \triangleq \int_X (1 - \mu_A(x)) /x$$

e representa o conectivo "**não**".

vi. O **produto** de A e B, denotado por  $AB$ , é definido por:

$$AB \triangleq \int_X \mu_A(x) \cdot \mu_B(x) /x$$

Derivado desta operação (ZADEH, 1968) define outras operações, como por exemplo:

$A^\alpha$  definida como:

$$A^\alpha \triangleq \int_X (\mu_A(x))^\alpha /x$$

De forma similar se  $\alpha$  é um número positivo podemos definir:

$$\alpha A \triangleq \int_X \alpha (\mu_A(x)) /x$$

vii. A **soma** de A e B, denotada por  $A \oplus B$ , é definida por

$$A \oplus B \triangleq \int_X 1 \wedge (\mu_A(x) + \mu_B(x))$$

viii. A **diferença** limitada de A e B, denotada por  $A \oslash B$ , é definida por:

$$A \oslash B \triangleq \int_X 0 \vee (\mu_A(x) - \mu_B(x)) / x$$

ix. Se  $A_1, \dots, A_k$  são subconjuntos de  $X$  e  $w_1, \dots, w_k$  são pesos não negativos cuja soma é 1, então, a **combinação convexa** de  $A_1, \dots, A_k$  é:

$$\mu_A \triangleq \sum w_j \mu_{A_j}$$

onde:  $\sum w_j = 1$  e  $w_j > 0$

Além destas operações básicas existem outras que são utilizadas como operadores lingüísticos. Algumas destas operações serão exemplificadas a seguir:

x. Operação de **concentração**, definida como:

$$\text{CON}(A) \triangleq A^2$$

Aplicando esta operação no conjunto *fuzzy* **A** tem-se como resultado um subconjunto que reduz a magnitude dos valores  $\mu_{A(x)}$ . Esta redução é pequena para valores altos, isto é, próximos a **1** e grande para valores pequenos, próximos a **0**.

xi. Operação de **dilatação**, definida como :

$$\text{DIL}(A) \triangleq A^{0.5}$$

Esta operação tem o efeito oposto à operação de concentração, ou seja, ao aplicá-la, aumenta-se a magnitude dos valores.

A Figura 4.5.3.1 apresenta o gráfico representativo das operações concentração ( $f^2$ ) e dilatação ( $f^{0.5}$ ) atuando numa função **f**.

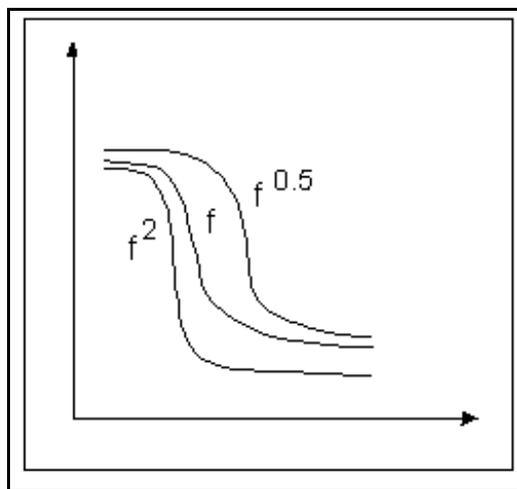


Figura 4.5.3.1 - Concentração e Dilatação numa função *fuzzy* **f**

O conceito de conjunto *fuzzy* não é completamente estranho. Por muitos anos tem-se utilizado expressões, tais como: moderadamente drenado, ligeiramente plano, suavemente ondulado, acentuadamente drenado etc., para retratar nossa impressão sobre os fatores que compõem a paisagem. Entretanto, até recentemente, não havia ferramentas disponíveis para se trabalhar diretamente com estes termos sem ter que se ater apenas a intervalos restritos, ou seja, sem expressar-se gradação ou valores intermediários. Entre outros fatores, a impossibilidade de se representar a natureza imprecisa das fronteiras da paisagem tem causado muitos problemas

---

técnicos na sobreposição de mapas nos Sistemas de Informação Geográfica, conforme visto anteriormente.

#### 4.5.4. Alternativa Fuzzy para Classificação Temática

A construção: **IF A (a um grau  $x$ ) Then B (a um grau  $y$ )** pode ser aplicada a decisões que envolvam dados fenomenológicos e a situações em que pode haver mais de uma decisão correta. Como está apresentado na Figura 4.5.4.1, a interseção de dois conjuntos *fuzzy* irá levar a resultados muito diferentes, dependendo do fator de certeza a ser escolhido. A resposta a ser obtida a partir da interseção de dois conjuntos não precisa mais ser necessariamente “sim” ou “não”, pode também ser “talvez”.

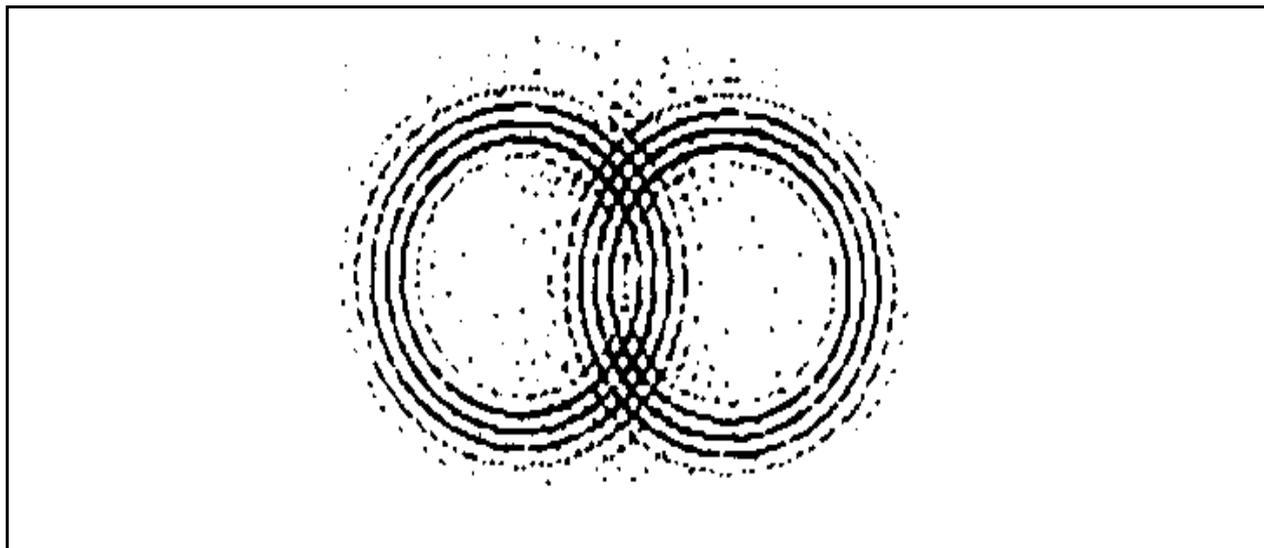


Figura 4.5.4.1 - Interseção dos conjuntos *fuzzy*

Desta forma, contrariamente aos conjuntos tratados na lógica *booleana*, que permitem apenas o uso de funções de associação binária, identificando valores ou verdadeiros ou falsos, o conjunto *fuzzy* admite a possibilidade de uma associação parcial. Um exemplo clássico e de fácil entendimento sobre um conjunto *fuzzy*, é o conjunto do relacionamento, que pode ser especificado pelo atributo 'amigos'. *Carla, Camila e Leonardo* relacionam-se todos com *Carlos*, porém cada um apresenta diferentes graus de amizade.

Na ciência do solo a teoria dos conjuntos *fuzzy* vem sendo bastante utilizada. Na estruturação de sistemas de informação de solos, a classificação contínua possibilita o armazenamento de dados imprecisos e a recuperação de informações através de uma linguagem natural. Nos SIGs os trabalhos de mapeamento começam a ser implementados. O trabalho de WANG e HALL SUBARYONO (1990) apresenta um modelo relacional *fuzzy* adequado a informação geográfica. Além destes, (CHANG and BURROUGH, 1987); (BURROUGH, 1989); entre outros utilizam a lógica contínua em mapeamentos. A Figura 4.5.4.2 apresenta o resultado de uma classificação *booleana* para estudo de áreas com umidade (OLIVEIRA, 1994) e a Figura 4.5.4.3 mostra o resultado da mesma classificação através da utilização da lógica *fuzzy*. Observa-se, através deste exemplo que, muitas áreas consideradas com má umidade no mapa gerado pela lógica *booleana* (valor 0) podem ser aproveitadas através da utilização da lógica *fuzzy*, ou seja, áreas com valores entre 0.5 e 1 podem ser consideradas aproveitáveis, em termos de umidade. Neste caso, algumas áreas que seriam rejeitadas injustamente, para o uso agrícola, por exemplo, não se perderão através dos critérios de classificação *fuzzy*.

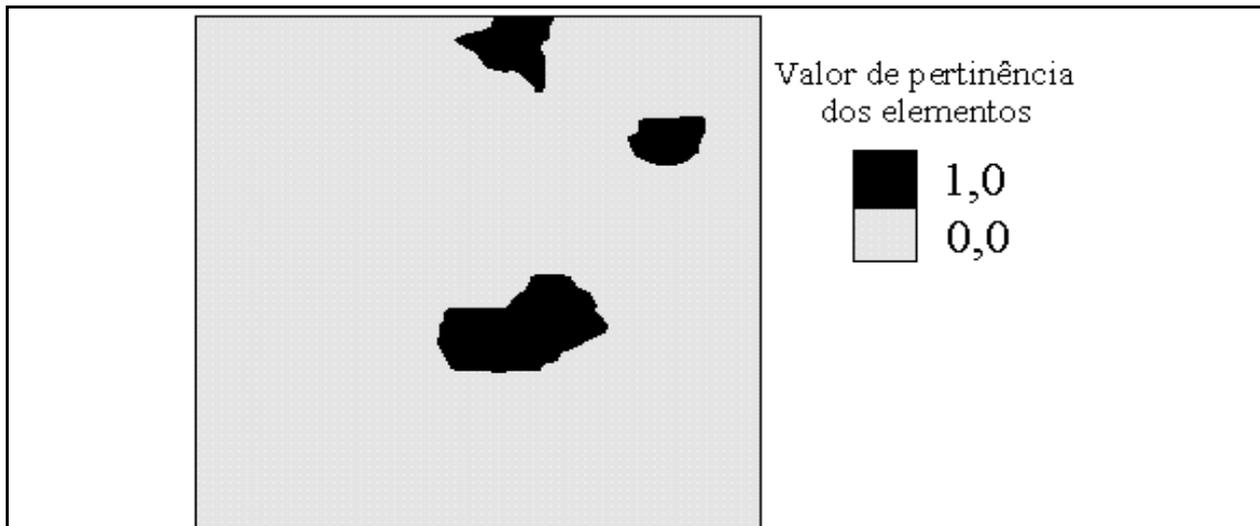


Figura 4.5.4.2 - Mapa de classificação *Booleano* para unidade estimada.

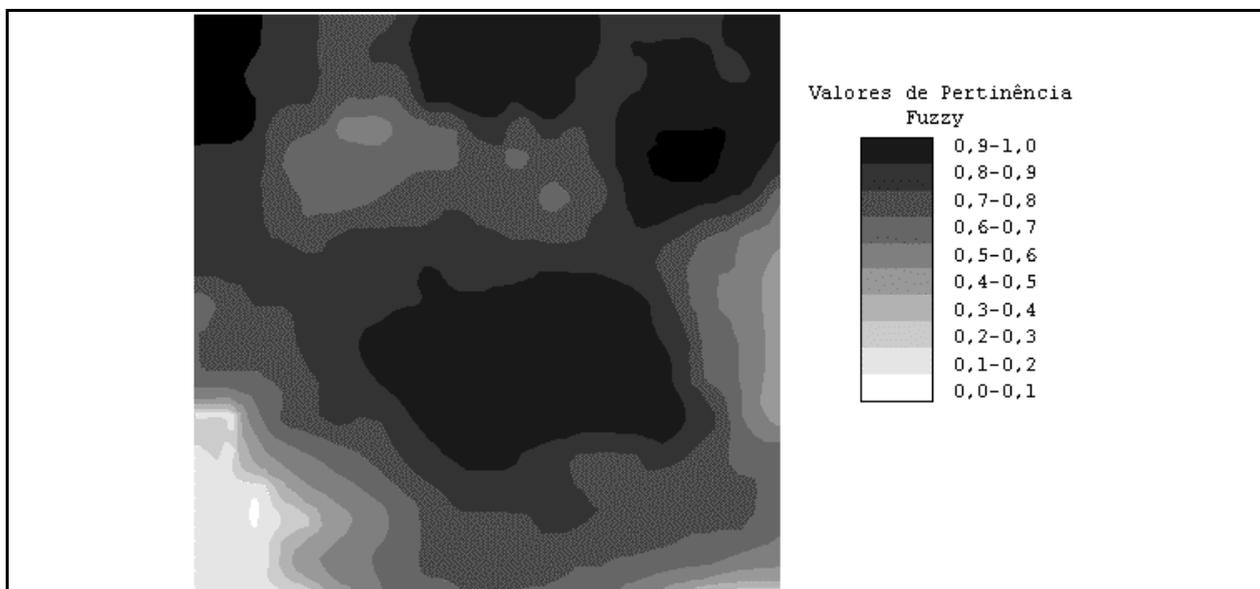


Figura 4.5.4.3 - Mapa de classificação *fuzzy* para unidade estimada, adaptada de (OLIVEIRA, 1994).

#### 4.5.4.1. Dados Qualitativos, Dados Quantitativos e Variáveis Lingüísticas

- **Dados Quantitativos e Variáveis Lingüísticas**

Algumas vezes, quando está-se estudando determinados fenômenos naturais, trabalha-se com medições de campo onde valores numéricos são atribuídos às variáveis pesquisadas. É o caso, por exemplo, da declividade, da fertilidade do solo etc.

Através da utilização de variáveis lingüísticas é possível mapear áreas com determinadas características expressando-as através de linguagem qualitativa, tais como: *mostre-me áreas muito bem drenadas*. Transformando dados numéricos advindos do trabalho de campo em linguagem de classificação verbal através do emprego da teoria *fuzzy*.

A título ilustrativo, suponha que em determinada área deseja-se classificar o solo segundo suas características de drenagem. As seguintes classes podem ser utilizadas, por exemplo, para descrever a drenagem de um dado local:

- 
- I. **muito bem** drenado (D1);
  - II. **bem** drenado (D2);
  - III. **moderadamente** drenado (D3);
  - IV. **insuficientemente** drenado (D4);
  - V. **mal** drenado (D5).

Além destas, outras classes descritas de forma intermediária como: "quase bem drenado", "moderadamente a bem drenado", "não mal drenado" podem também existir.

Para se utilizar a classificação *fuzzy* na representação deste fenômeno, os seguintes procedimentos se fazem necessários:

i) determinação de um conjunto *fuzzy* para os valores de drenagem (D)

Estes valores *fuzzy* são determinados através da utilização de uma função de pertinência ( $FP_x$ ) conforme visto no capítulo anterior.

Desta forma, para um determinado conjunto de valores representando índices de drenagem, a função  $FP_x: A \rightarrow D$  associa um número *fuzzy*, onde  $D = \mu_{A(x)}$ .

ii) determinação das classes de drenagem

As classes de drenagem, descritas acima por linguagem natural, podem ser *traduzidas* através da utilização de operadores como os apresentados na Tabela 1 abaixo. Os operadores atuam sobre os valores  $FP_x$  encontrados. Além destas, outras classes podem ser definidas, tais como:

$$\text{insuficientemente drenada} = \text{quase não drenada} = \{\zeta FP\}^{0.5}.$$

Assim sendo, a cada ponto observado, seja de uma unidade de mapeamento ou de um ponto de uma grade resultante de uma interpolação ou de uma amostra de um perfil de levantamento de solos, seria associado um vetor de valores *fuzzy* correspondente a cada classe, isto é:

$$\mathbf{X}_1 = \{ m_{D1}(x), m_{D2}(x), m_{D3}(x), m_{D4}(x), m_{D5}(x) \}$$

onde:

$m_{D1}(x)$  representa o valor *fuzzy* para a drenagem do tipo D1. Este valor *fuzzy* é obtido através da aplicação do operador **muito bem drenado** sobre o valor obtido pela função de pertinência no ponto  $\mathbf{X}_1$ . Em termos práticos este número indica quanto "muito bem drenado" está aquele ponto;

$m_{D2}(x)$  idem para drenagem tipo D2, ou seja, representa o grau de **bem** drenado;

$m_{D3}(x)$  idem para drenagem tipo D3, ou seja, representa o grau de **moderadamente** drenado;

$m_{D4}(x)$ . idem para drenagem tipo D4, ou seja, representa o grau de **insuficientemente** drenado;

$m_{D5}(x)$  idem para drenagem tipo D5, ou seja, representa o grau de **mal** drenado.

A fim de melhor elucidar o exposto, suponha, por exemplo, dois pontos,  $\mathbf{X}_1$  e  $\mathbf{X}_2$ , representados

respectivamente pelo conjunto de vetores:  $x_1 = (0.33, 0.35, 0.01, 0.12, 0.07)$  e  $x_2 = (0.89, 0.04, 0.3, 0.4, 0.2)$ . Neste caso, o primeiro poderia ser classificado como pertencente a uma classe intermediária às classes  $D_1$  e  $D_2$  e o segundo como pertencente à classe  $D_1$  (SIMÕES and FUKS, 1995a).

Tabela 4.5.4.1.1 - Operadores Fuzzy Representando a Linguagem Natural

Operadores	Procedimentos	Linguagem do Especialista
muito	$fp_1 = \{fp(x)\}^2$	muito drenado
não (̂)	$fp_2 = \{1 - fp(x)\}$	não drenado
e	$\min \{fp_1(x), fp_2(x)\}$	muito drenado e não drenado
quase	$fp_3 = [fp(x)]^{0.5}$	quase drenado
ou	$\max \{fp_1(x), fp_3(x)\}$	muito ou quase drenado

A partir da composição destes operadores, novas classes podem ser definidas tais como:

- insuficientemente drenada = quase não drenada =  $\{\hat{c}fd\}^{0.5}$ .
- moderadamente drenado = áreas não muito drenadas e áreas quase drenadas =

$$\min\{(1-[fp(x)]^2), [fp(x)]^{0.5}\}$$

Fica, portanto, em aberto a introdução de outras classes que poderão ser agregadas a medida que novas expressões qualitativas venham a surgir. Este procedimento proporciona uma grande mobilidade na representação da classificação, fornecendo subsídios a interpretação e representação das informações fornecidas pelos especialistas. Esta nova técnica ao ser introduzida num SIG proporciona uma gama significativa de possibilidades de manipulação e modelagem da informação ambiental.

#### • Dados Qualitativos

Nas ciências naturais nem todos os parâmetros utilizados para a análise de um determinado fenômeno, no entanto, são quantitativos, ou seja, muitas vezes são utilizadas expressões qualitativas para descrever uma determinada variável. Uma grande contribuição seria dada ao estudo de fenômenos ambientais, se fosse possível quantificar estas expressões qualitativas.

Estas expressões utilizadas pelo cientista de campo são, muitas vezes, até mesmo subjetivas, ou seja, resumem o seu sentimento, baseado na sua bagagem de experiência, em relação ao que está ocorrendo, de forma comparativa, com um determinado parâmetro ou intervalo, numa determinada região. Algumas das expressões qualitativas comumente utilizadas são:

- quanto a erosão: laminar forte, laminar ligeira, laminar ligeira a moderada, laminar moderada, laminar moderada a severa, etc.;
- quanto a deficiência de fertilidade dos solos: nula, ligeira, moderada, forte, muito forte;

A utilização da lógica *fuzzy* é extremamente inovadora neste aspecto: ela pode ser uma ferramenta capaz de expressar numericamente a linguagem de comunicação do especialista, através da atribuição de valores *fuzzy* a cada classe.

---

No estudo de caso realizado neste trabalho (Zoneamento ecológico-Econômico da Baía de Sepetiba), os dados utilizados são em sua maioria qualitativos. A aplicação, portanto, da lógica *fuzzy* para estes casos será vista em detalhes no capítulo 6, onde será explicado como foi utilizada a modelagem *fuzzy* para classificar as informações qualitativas extraídas da região.

#### 4.5.5. Classificação Contínua em um SIG

Ambos os tipos de classificação, para dados qualitativos ou quantitativos, expressa em linguagem natural, podem ser utilizadas na análise da informação através dos Sistemas de Informação Geográfica, como será visto a seguir.

##### 4.5.5.1. Sobreposição de Planos de Informação *Fuzzy*.

Um mapa resultante da sobreposição de vários Planos de Informação *fuzzy*, pode ser obtido através da utilização de operadores, ou seja, vários operadores podem ser aplicados para combinar os valores das funções de pertinência de dois ou mais mapas. (ZIMMERMANN, 1985) apresenta uma grande variedade de regras para esta combinação. Para o caso do cruzamento temático em estudos a nível de planejamento regional, os seguintes operadores podem ser utilizados:

- Interseção: *Fuzzy AND*
- União: *Fuzzy OR*
- Produtos Algébricos *Fuzzy*
- Soma Algébrica *Fuzzy*
- Operador Gamma
- Soma Convexa

Estes operadores possibilitam diversas formas distintas de se manipular simultaneamente um conjunto de Planos de Informação contendo valores *fuzzy*, através de um processo de superposição *fuzzy*. Estes métodos, no entanto, por manipularem dados mais precisos (classificados em intervalos contínuos: do valor mais favorável ao menos favorável), tornam-se bem mais eficientes que o método convencional de cruzamento *Booleano* (classificado de forma rígida: favorável ou não favorável), o qual manipula informações que já trazem por si só os vícios e imprecisões característicos da lógica *booleana*, já exaustivamente discutidos anteriormente. A seguir, serão apresentados cada um destes operadores e suas respectivas características:

##### 4.5.5.1.1. Interseção *Fuzzy: AND*

Esta operação é equivalente ao *AND Booleano* quando se tem um conjunto clássico de valores (1,0). A interseção significa uma seqüência de “e” e é obtida através da utilização do operador **Min**.

$$m = \text{MIN} ( m_A , m_B , m_C , \dots )$$

onde  $m_A$  é o valor de pertinência para o mapa A numa determinada localização,  $m_B$  é o valor para o mapa B, e assim por diante. Suponha que o valor de pertinência para o mapa A seja 0.75 e para o mapa B seja 0.5, utilizando-se a interseção *fuzzy (AND)*, o valor de pertinência resultante da operação seria 0.5.

---

Este operador, portanto, faz com que o mapa de saída, advindo da combinação de mapas *fuzzy*, seja controlado pelo menor valor de pertinência *fuzzy* de cada localização.

Assim como o *AND Booleano*, o operador *Fuzzy AND*, resulta numa estimativa conservadora, com tendências a produção de valores pequenos. O operador *AND* é apropriado nos casos em que duas ou mais evidências para uma hipótese tenham que estar presentes de forma conjunta para que a hipótese seja considerada verdadeira.

#### 4.5.5.1.2. União Fuzzy: OR

O *Fuzzy OR* é como o *OR Booleano*, onde o valor de pertinência de saída é controlado pelos valores máximos de qualquer mapa de entrada, para qualquer localização particular. O operador *Fuzzy OR* é definido como:

$$m = \text{MAX} ( m_A , m_B , m_C , \dots )$$

utilizando-se este operador, o valor de pertinência resultante da combinação de mapas *fuzzy* em uma dada localização é limitado somente pelo mapa de evidência mais apropriado. Este operador nem sempre é adequado ou desejável para a combinação de mapas, porém em algumas circunstâncias pode ser ideal. O caso citado por BONHAM-CARTER (1994) pode ser um bom exemplo da utilização deste operador. Trata-se da aplicação da modelagem *fuzzy* para o mapeamento do potencial de mineração. Como indicadores favoráveis à mineração são raros, a presença de qualquer evidência positiva pode ser suficiente para sugerir uma certa favorabilidade naquela localização. Com o operador *OR*, ao contrário do operador *AND*, está-se sempre classificando o local de acordo com o valor de pertinência mais favorável.

Tanto quando se usa o operador *AND* quanto o operador *OR*, o valor de pertinência de uma única evidência controla o valor ou classificação do mapa de saída.

Os operadores descritos a seguir, combinam os efeitos de duas ou mais evidências, num resultado que é uma mistura, de tal forma que cada evidência possui algum tipo de efeito na saída.

#### 4.5.5.1.3. Produto Algébrico Fuzzy

A função de pertinência combinada neste caso é:

$$m = P \ m_i$$

onde  $m_i$  é o valor de pertinência *fuzzy* para o  $i$ -ésimo mapa, e  $i = 1, 2, \dots, n$  mapas devem ser combinados. Os valores de pertinência *fuzzy* combinados tendem a serem muito pequenos quando se utiliza este operador, devido ao efeito de se multiplicar diversos números menores que 1.

O valor resultante é sempre menor ou igual ao menor valor de pertinência a contribuir. Por exemplo, o produto algébrico entre 0.75 e 0.5 é 0.375. Nesta combinação, no entanto, todos os valores de pertinência têm um efeito no resultado, o que não ocorre nos operadores *AND* e *OR*.

#### 4.5.5.1.4. Soma Algébrica Fuzzy

Este operador é complementar do Produto Algébrico *Fuzzy*, sendo definido como:

$$m = 1 - P ( 1 - m_i )$$

O resultado desta operação é sempre um valor maior ou igual ao maior valor de pertinência *fuzzy*. O efeito desta combinação é, portanto, de aumentar. Duas evidências, as quais ambas

---

favoreçam a hipótese pesquisada, reforça uma a outra e a evidência combinada suporta mais a hipótese, que cada evidência tomada isoladamente.

Por exemplo, a soma algébrica *fuzzy* de (0.75; 0.5) é  $1-(1-0.75)*(1-0.5)$ , que é 0.875. O efeito de crescimento da combinação de diversas evidências favoráveis é automaticamente limitada ao valor máximo de 1, que não deve nunca ser excedido.

Pode-se observar que, enquanto o Produto Algébrico *Fuzzy* é um produto algébrico, a Soma Algébrica *Fuzzy* não é uma simples soma algébrica.

#### 4.5.5.1.5. Operador Gamma

O operador Gamma inclui na sua definição o Produto Algébrico *Fuzzy* e a Soma Algébrica *Fuzzy*:

$$m = (\text{Soma Algébrica Fuzzy})^g * (\text{Produto Algébrico Fuzzy})^{1-g}$$

onde  $g$  é um parâmetro escolhido no intervalo (0,1). Quando  $g$  é igual a 1, a combinação é a mesma que a Soma Algébrica *Fuzzy* e quando  $g$  é 0, a combinação dos Planos de Informação *Fuzzy* equivale ao Produto Algébrico *Fuzzy*.

Dependendo do valor do  $g$  utilizado pode-se produzir valores de saída que garantem uma certa flexibilidade entre a tendência de crescimento da Soma Algébrica *Fuzzy* e a tendência decrescente do Produto Algébrico *Fuzzy*. Se, por exemplo,  $g = 0.7$ , então a combinação de (0.75,0.5) é  $(0.875^{*0.7}) * (0.375^{*0.3}) = 0.679$ , um resultado que recai entre 0.75 e 0.5. Por outro lado, se  $g = 0.95$ , então a combinação é 0.83, ou seja, houve um crescimento em relação aos valores de entrada. Se  $g = 0.1$ , então a combinação é 0.408, o resultado que é menor que a média dos dois valores de entrada da função inicial, havendo, portanto, um decréscimo.

Apesar da tendência ser sempre a mesma, o valor utilizado como  $g$ , para o qual o valor combinado da função de pertinência se torna crescente ou decrescente, varia com o valor de pertinência de entrada e deve ser julgado pelo especialista.

Assim como no uso do modelo de Sobreposição de Índice ( ou Média Ponderada por Peso), os valores de pertinência *fuzzy* para cada mapa contendo informações qualitativas, devem ser fornecidos por especialistas e colocados dentro do ambiente SIG, numa tabela de atributos, conforme será visto no estudo de caso apresentado no capítulo 6.

#### 4.5.5.1.6. Soma Convexa

No método de soma convexa são atribuídos pesos a cada camada de tal forma que o somatório dos pesos seja igual a 1. Este processo assemelha-se a modelagem através de média ponderada por peso do método convencional, apresentada na seção 4.3.2.2.2. As limitações mencionadas naquela ocasião, no entanto, são eliminadas por se trabalhar com uma escala gradual, obtida através das funções de pertinência *fuzzy*. A soma convexa é geralmente utilizada quando os efeitos dos PIs manipulados não são iguais, ou seja, determinados parâmetros têm uma importância maior que outros.

### 4.5.5.2. Comentários sobre o Uso de Combinação Fuzzy e seus Operadores

Sempre que um mapa de entrada *fuzzy*, ou seja, mapa representativo de uma característica a ser considerada na hipótese pesquisada, tiver um valor igual a 1, o resultado da Soma Algébrica *Fuzzy* (SAF) será 1. Isto significa que na SAF, quando um valor muito bom for encontrado, haverá uma tendência de se considerar o resultado da operação como bom, ou seja, 1.

Sempre que um mapa de entrada *fuzzy* tiver um valor igual a 0, o resultado da Produto Algébrico *Fuzzy* (PAF) será 0, ou seja, como um valor muito ruim foi encontrado, haverá uma tendência de se considerar o resultado da operação como ruim, ou seja, 0.

Se:		
$m=1$	$\triangleright$	<b>SAF = 1</b>
$m=0$	$\triangleright$	<b>PAF = 0</b>
<b>Se: PAF = 0 <math>\triangleright</math> Resultado da Combinação com Operador Gamma é 0</b>		
<b>Se: <math>g = 0</math></b>	resultado será:	<b>Produto Algébrico <i>Fuzzy</i></b>
<b>Se: <math>g = 1</math></b>	resultado será:	<b>Soma Algébrica <i>Fuzzy</i></b>

Consequentemente:

- É interessante utilizar um valor de  $g$  entre 0 e 1, no operador Gamma.
- Só devem ser utilizados valores radicais como : 0 ou 1, como valor de pertinência dos mapas de entrada, se o usuário tiver certeza de que aquele valor é tão bom, que deve ser considerado como decisivo, de tal forma que na combinação de Planos de Informação leve à hipótese pesquisada a ser considerada como favorável. Ou, no caso inverso, só fornecer valor 0, se aquele fator for tão ruim que deva ser considerado como 0, para invalidar de vez, a hipótese pesquisada, naquela localização, devido a existência desta característica negativa em um dos Planos de Informação. Caso contrário, a utilização de fatores intermediários, possibilitará modelar-se com um grande flexibilidade, o que não acontecia nos modelos convencionais (não baseados na lógica *fuzzy*), apresentados anteriormente.

Na prática, em geral, valores 0 e 1 não são utilizados. Classes não favoráveis recebem valor 0.1 e classes muito favoráveis recebem valor 0.9. Estes valores são mais prudentes, pois, uma pessoa não pode estar completamente certa de que uma determinada classe é 100% favorável e que satisfaz em 100% a hipótese pesquisada.

- Deve-se ter em mente que cada Plano de Informação analisado, é na verdade uma parte do modelo, ou seja, representa uma característica ou informação do fenômeno estudado, que será avaliado com as demais informações ou mapas de entrada *fuzzy*, para se pesquisar a validade da hipótese em questão para cada localização nele contida.
- Quando se está utilizando um operador, ou método de combinação de Planos de Informação, que não seja a soma convexa, ao se atribuir o valor de pertinência *fuzzy*, deve-se fazê-lo considerando-se que este valor representa na verdade a nota da classe daquele mapa e ao mesmo tempo o peso que aquele mapa ( parâmetro do modelo ), possui no fenômeno estudado. Os valores de pertinência *fuzzy*, devem, portanto, ser fornecidos relativamente a importância dos outros mapas considerados no modelo e não somente relativamente às classes daquele mapa. Deverá, portanto, representar o todo integrado, ou seja, o conjunto de fatores que caracterizam de forma simultânea o local estudado
- Os valores de pertinência *fuzzy* dados de forma relativa e os operadores *fuzzy*, permitem uma grande flexibilidade na modelagem. Em outras palavras, as limitações impostas pelos modelos convencionais (combinação por índice, classificação *Booleana* etc.), podem ser eliminados pelos modelos *fuzzy*, devido a flexibilidade dos seus operadores (o usuário não está limitado somente ao operador rígido MIN, onde uma característica desfavorável de um mapa, invalida todas as características favoráveis dos outros). Além disto, a possibilidade de

---

se utilizar valores *fuzzy* relativos, simultaneamente, a importância do mapa e da classe, permite, de forma inovadora, a variação dos pesos de acordo com as características conjuntas da região. Isto é extremamente importante, no caso de Planejamento Regional ou de Recursos Naturais, pois possibilita a análise integrada do ambiente, fornecendo um modelo muito próximo e bastante representativo do ambiente em que vivemos, característica da Ecologia da Paisagem ou Geoecologia, análise, esta, que serviu de base e hipótese de pesquisa deste trabalho.

#### 4.5.5.3. Comentários Sobre o Uso da Lógica *Fuzzy*

Na prática, é possível que seja necessário ou útil a utilização de uma variedade de operadores *fuzzy* em um mesmo problema. O operador **AND Fuzzy** e **OR Fuzzy** podem ser mais apropriados que o operador **Gamma**, em algumas situações, não sendo apropriado, no entanto, em outras.

No caso em que duas evidências (ou parâmetros) necessitem ocorrer simultaneamente, para que uma dada região seja considerada favorável e satisfaça uma certa hipótese de pesquisa, por exemplo, é conveniente a utilização do *AND Fuzzy*, pois a condição desfavorável de um dos parâmetros deve invalidar todos os outros. Neste caso, para cada localização, a combinação seria controlada pelo valor mínimo de pertinência.

No caso em que a presença em grande quantidade de um determinado parâmetro seja um fator suficiente para considerar a hipótese pesquisada válida, mesmo que outros parâmetros não sejam encontrados em abundância (por exemplo: na avaliação de depósitos minerais), o uso do operador *OR Fuzzy* na combinação de Planos de Informação *Fuzzy* pode ser mais adequado.

Utiliza-se a combinação *Fuzzy OR*, quando a presença de qualquer ocorrência já satisfaz, ou seja, é significativa para o fenômeno avaliado, mesmo que outros elementos não ocorram.

Em alguns casos, é interessante combinar todos os mapas em uma única operação, por exemplo, utilizando-se o operador *Gamma*.

Entretanto, em outras situações, pode ser mais apropriado combinar alguns mapas com o operador *OR Fuzzy*, para suportar uma hipótese intermediária, combinar outros mapas com o operador *AND Fuzzy*, para suportar outras hipóteses, consideradas como evidências e combinar tudo com o operador *Gamma*.

Pode-se depreender, então, que várias combinações distintas são possíveis quando se está utilizando a modelagem *Fuzzy*, o que enriquece ainda mais o modelo, proporciona maior flexibilidade e, conseqüentemente, uma melhor aproximação deste modelo na representação da realidade.

A rede de inferência é um meio importante de simulação do pensamento lógico dos especialistas. Um exemplo de rede de inferência é apresentado por (BONHAM-CARTER, 1994), onde os operadores *Fuzzy or* e *Fuzzy and* são utilizados em operações intermediárias e *Gamma Fuzzy* é utilizado para a classificação final para a predição do potencial de ouro de uma região.

O estudo de Caso apresentado no capítulo 6 utilizou uma rede inferência combinando operadores *fuzzy or* (para dados sócio-econômicos) e o operador *gamma fuzzy* (para agregar dados sócio-econômicos e geobiofísicos) na classificação final para estudo do fenômeno vulnerabilidade.

A lógica *fuzzy* é uma das ferramentas utilizadas em sistemas especialistas, onde o grau de incerteza das evidências é importante. Redes complexas de inferência podem ser implementadas numa linguagem de modelagem de mapeamentos.

---

#### 4.5.5.4. Exemplo de Aplicação Para dados Quantitativos

A seguir, será apresentado um exemplo de aplicação da lógica contínua na análise da fertilidade de solos, a mesma metodologia poderia, no entanto, ser aplicada a outras análises relativas a diversos fenômenos ambientais. Este exemplo de aplicação serve para ilustrar o uso da classificação *fuzzy* em um SIG quando se dispõe de dados quantitativos. O exemplo de aplicação desta técnica para os casos em que se manipula dados qualitativos não será apresentado, uma vez que o estudo de caso que suportará a hipótese de pesquisa deste trabalho utiliza dados qualitativos e será apresentado em detalhes no capítulo 6.

As informações sobre fertilidade de solos são obtidas a partir da retirada de amostras de campo que são coletadas e analisadas em laboratórios. As informações resultantes podem ser armazenadas num banco de dados de um Sistema de Informação Geográfica, onde novas informações derivadas poderiam ser obtidas através da manipulação e análise de outras informações. Um exemplo seria o estudo de áreas com aptidão agrícola (SILVA et al., 1995), onde a fertilidade seria apenas um dos fatores a ser considerado juntamente com: drenagem, tipo de solo, declividade, grau de erodibilidade etc.

O estudo da aptidão dos solos baseia-se no conjunto de informações que identificam a "qualidade da terra" e é desejável que estas informações possam ser disponibilizadas ao usuário na forma de mapas. É desejável também, para um produtor, por exemplo, que este mapa indicando as áreas aptas para as práticas agrícolas apresente uma certa precisão ou confiabilidade.

Neste sentido, a metodologia descrita neste trabalho serve como uma ferramenta para a análise destas informações derivadas no sentido de criar um sistema classificatório e procedimentos de mapeamentos adequados a representação das observações descritivas e quantitativas dos dados ambientais, uma vez que os mesmos possuem variabilidade espacial, isto é, suas modificações se processam, em geral, de forma contínua e gradual, apresentando regiões de transição.

##### • Geração de um Mapa de Fertilidade Fuzzy

A avaliação das condições agrícolas das terras é realizada pela análise de cinco fatores básicos: deficiência de fertilidade, deficiência de drenagem, suscetibilidade a erosão e impedimentos à mecanização. Desta forma, o mapa de fertilidade do solo, é um dos componentes relevantes nesta análise. Através da geração de um mapa de fertilidade *fuzzy* pode-se observar os níveis de gradação de fertilidade de uma determinada região. Representa-se, assim, fronteiras não rígidas entre áreas férteis e não férteis.

Os procedimentos *fuzzy* servem para, inicialmente, determinar as distribuições de possibilidades dos fatores relevantes ao estudo da fertilidade, considerando-se os critérios estabelecidos pelos especialistas como sendo representativos de regiões centrais das classes e "*fuzzificando*", ou seja, representando as transições de suas bordas. Posteriormente, através da utilização dos operadores *fuzzy* um elenco de classes, tais como: áreas muito férteis, áreas moderadamente férteis etc. pode ser determinado.

O exemplo apresentado é composto de 79 observações obtidas através de um levantamento semi-detalhado realizado pelo CNPS/EMBRAPA no município de Campos. As propriedades químicas consideradas foram:

- saturação de bases (V)
- capacidade de troca de cátions (T)
- soma de bases (S)
- alumínio (Al)

- sódio disponível (Na)
- cálcio + magnésio (CaMg)
- fósforo disponível (P)
- potássio disponível (K)

As classes de fertilidade normalmente consideradas são:

- F1 - solo fértil (necessidade de uso de fertilizante: alta)
- F2 - solo intermediário (necessidade de uso de fertilizante: intermediária)
- F3 - solo não fértil (necessidade de uso de fertilizante: alta)
- F4 - solo muito pouco fértil (necessidade de uso de fertilizante: muito alta)

A Tabela 4.5.5.4.1 apresenta os valores de definição dados pelos especialistas:

Tabela 4.5.5.4.1 - Valores de definição de cada classe de fertilidade

variáveis	classe F1	classe F2	classe F3	classe F4
T	$T \geq 8$	$6 \leq T < 8$	$4 \leq T < 6$	$T \leq 4$
V	$V \geq 80$	$50 \leq V < 80$	$35 \leq V < 50$	$V < 35$
CaMg	$CaMg \geq 3$	$2 \leq CaMg < 3$	$CaMg < 2$	$CaMg < 2$
S	$S \geq 4$	$3 \leq S < 4$	$S < 3$	$S < 3$
Na	$Na \leq 10$	$10 \leq Na < 20$	$20 \leq Na < 50$	$Na > 50$
K	$K \geq 135$	$45 \leq K < 135$	$K < 45$	$K < 45$
P	$P \geq 30$	$10 \leq P < 30$	$P < 10$	$P < 10$
Al	$Al \leq 0.3$	$0.3 \leq Al < 1.5$	$1.5 \leq Al < 4.0$	$Al > 4.0$

Neste trabalho desejava-se separar as áreas férteis<sup>3</sup> existentes na área em estudo, para tanto, o grupo 1 (classe F1) foi considerado o valor central (**b**) da classe fertilidade e, conseqüentemente, com valor *fuzzy* igual a 1. O menor valor da classe F2 foi considerado o ponto de *crossover* e, conseqüentemente, com um valor *fuzzy* igual a 0.5. Estes valores aplicados na equação [4.2], determinaram os parâmetros da função de pertinência *fuzzy*. A tabela 3 apresenta os valores da função *fuzzy* e os valores dos seus parâmetros para a classe “solo fértil”.

Funções *fuzzy*:

<sup>3</sup>Caso quiséssemos localizar áreas com classes representando outras características (solos de fertilidade intermediária, solos muito pouco férteis etc.), poderíamos aplicar sobre os resultados fuzzy para áreas férteis os operadores apresentados na seção 4.5.5.1, ou seja, utilizar variáveis linguísticas.

---

$$m(x) = 1$$

$$x \geq b$$

$$m(x) = 1/(1+d(x-b)^2)$$

$$x < b$$

[4.2]

Tabela 4.5.5.4.3 - Funções *Fuzzy* para Fertilidade

Variáveis	Parâmetros da Função	
	b	d
T	8	0.25
V	80	0.001
CaMg	3	1
S	4	1
Na	10	0.01
K	135	0.0001
P	30	0.0025
Al	0.3	0.694

Para se calcular os valores de **d**, faz-se **x** igual o ponto de *crossover* e  $m(x)=0.5$ . Com o valor de **d** definido, pode-se calcular o valor *fuzzy*  $m(x)$  para qualquer valor de **x**, ou seja, têm-se a forma da função *fuzzy* de cada variável. O modelo de função de pertinência utilizado foi o de número 5. A título ilustrativo, está representado na Figura 4.5.5.4.1 a função de pertinência da variável T (capacidade de troca de cátions).

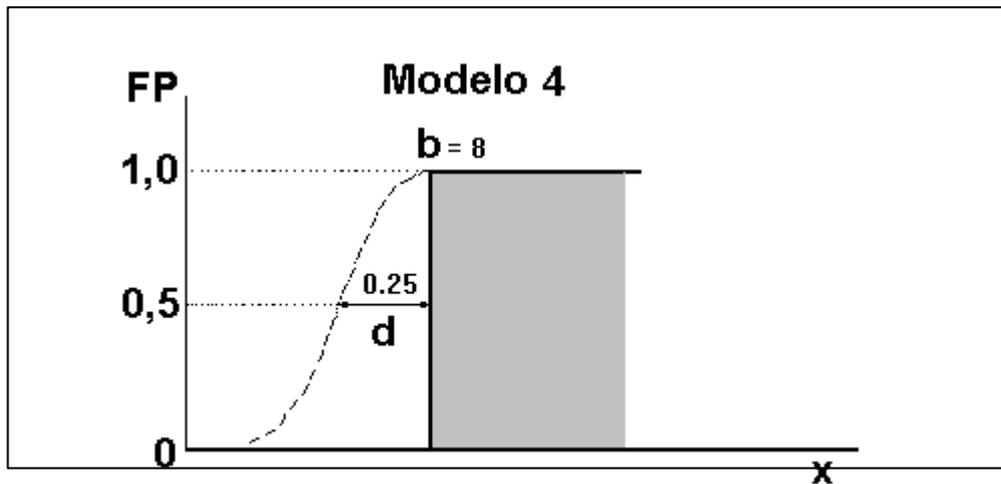


Figura 4.5.5.4.1 - Função de Pertinência para a variável T

As funções *fuzzy* foram aplicadas, resultando em oito Planos de Informação *fuzzy*, ou seja, um PI para cada variável estudada.

- mapa final de fertilidade foi obtido através da utilização da soma convexa dos oito Planos de Informação obtidos. Foi utilizado soma convexa porque o impacto de cada variável no índice de fertilidade não é igual, ou seja, algumas têm uma influência maior que outras. Os pesos foram fornecidos por especialistas em fertilidade. A Tabela 4 apresenta estes valores.

Tabela 4.5.5.4.4 - Pesos dados aos parâmetros

Variáveis	pesos
T	0.20
V	0.20
CaMg	0.20
S	0.14
Na	0.14
K	0.04
P	0.04
Al	0.04

A Figura 4.5.5.4.2 apresenta o mapa *Booleano* representando as áreas em termos de fertilidade, a Figura 4.5.5.4.3 ilustra as isolinhas de fertilidade obtidas pelo método *fuzzy* e a Figura 4.5.5.4.4 ilustra o bloco diagrama de fertilidade da área estudada. Através do uso da lógica *fuzzy* pode-se obter uma superfície contínua representativa das transições graduais entre os graus de fertilidade da região. Isto não seria possível através da utilização da lógica *booleana* que classificaria como infértil as áreas que estivessem fora do limite da classe F1 (considerada fértil). Haveria, portanto, uma descontinuidade, conseqüentemente, uma grande perda de informação e até mesmo prejuízos econômicos para quem desejasse vender esta área, já que a partir do mapa *Booleano* apenas uma região muito pequena seria considerada boa em termos de fertilidade.

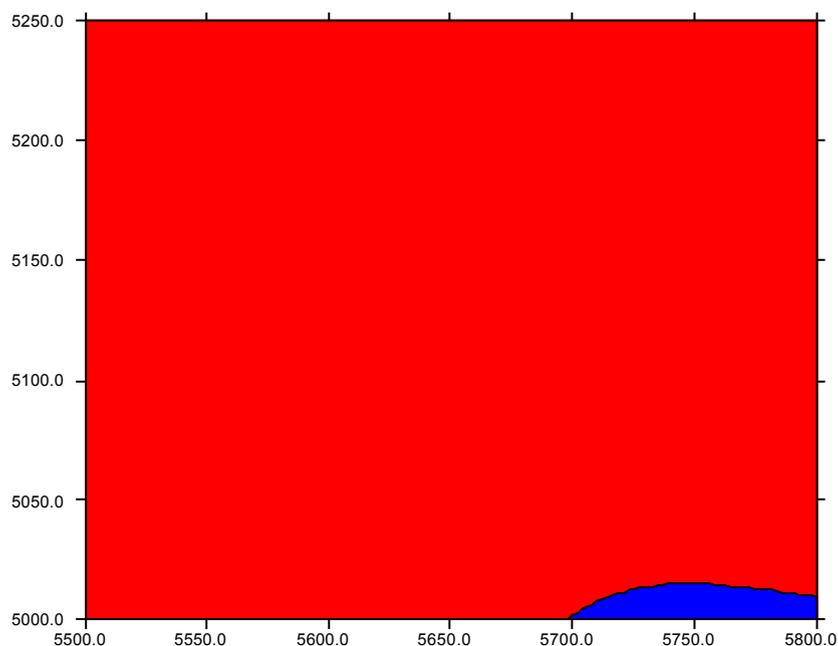


Figura 4.5.5.4.2 - Mapa de fertilidade com fronteiras rígidas (*Booleano*)

área vermelha = não fértil

área azul = muito fértil

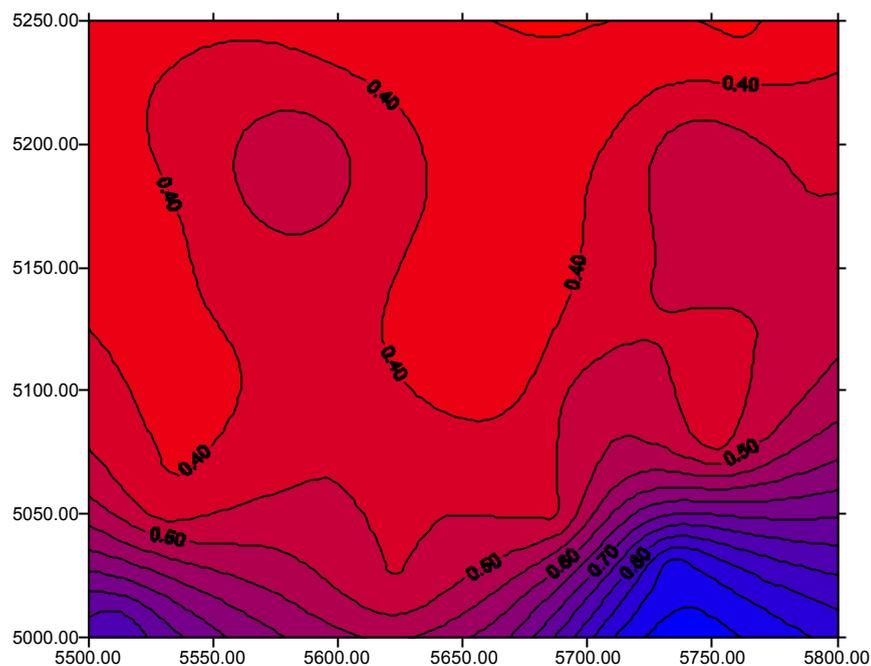


Figura 4.5.5.4.3 - Mapa *fuzzy* de isovalores de fertilidade

Observa-se na Figura 4.5.5.4.3 a transição entre as classes “não férteis” em tons de vermelho até as classes “muito férteis” em tons de azul. Poderia-se aplicar os operadores sobre os valores *fuzzy* e fazer um mapa que apresentasse as áreas “moderadamente férteis” ou “quase férteis” ou “não férteis” etc., conforme visto anteriormente, aumentando ainda mais o poder de análise da região.

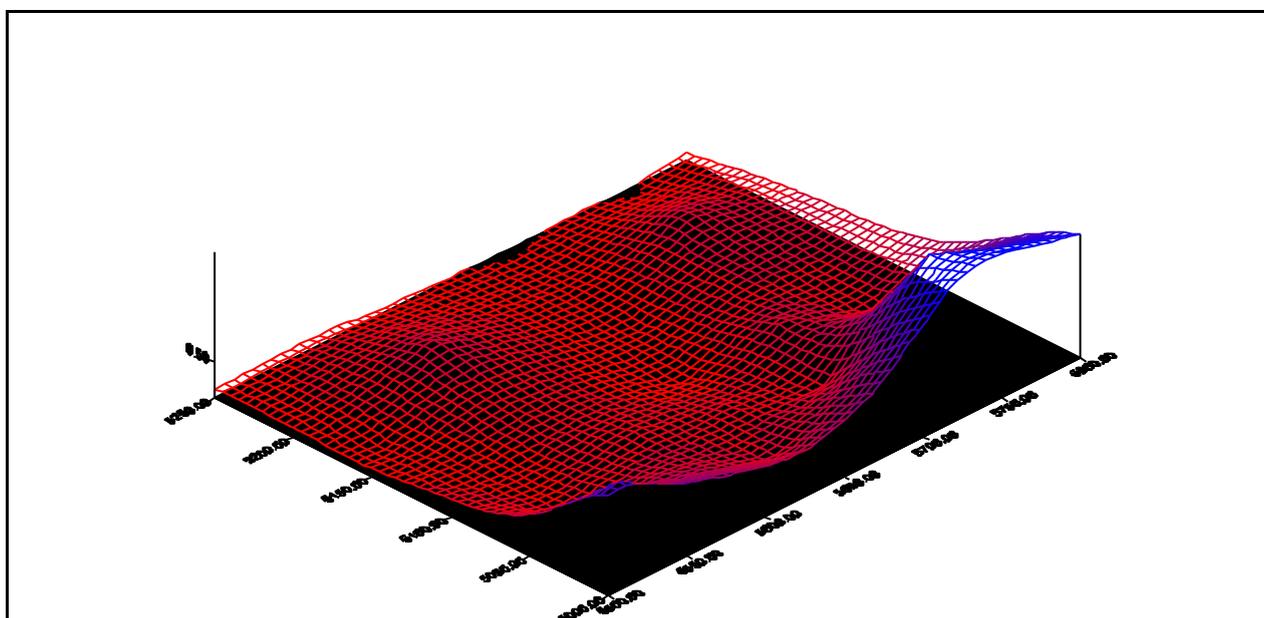


Figura 4.5.5.4.4 - Bloco diagrama de fertilidade *fuzzy*

Convém observar que no método *Booleano* as restrições ocorrem em cada parâmetro considerado no fenômeno e se agravam na superposição dos mesmos, na medida em que o critério de interseção irá aproveitar apenas as áreas, as quais o conjunto de parâmetros reunidos consideraram satisfatório, restringindo ainda mais o resultado e aumentando cada vez mais o desperdício das áreas próximas ao valor considerado ideal. No caso do estudo de aptidão agrícola mencionado anteriormente, um mapa de fertilidade inviabilizando áreas que

---

poderiam na prática ser consideradas aceitáveis, ao se juntar com os outros parâmetros: drenagem do solo, erodibilidade etc., também contendo este tipo de imprecisão, acabará por indicar como aptas, na integração destes parâmetros, áreas muito restritas, o que talvez não seja condizente com a realidade.

#### **4.5.5.5. Considerações Finais sobre as Técnicas de Classificação *Fuzzy***

Exemplos de aplicação para *dados qualitativos* não serão apresentados neste capítulo, uma vez que, o estudo de caso, bem como o desenvolvimento metodológico abordados neste trabalho de pesquisa, lidam diretamente com dados qualitativos, o que, via de regra, ocorre quando se está executando estudos relativos a planejamento regional. Desta forma, os próximos capítulos irão descrever de forma detalhada o comportamento destes dados e como tratá-los a partir da classificação *fuzzy*.

Deve-se observar que a aplicação de pesos na classificação *fuzzy* não é tão restrita quanto no processo de média ponderada por peso. Isto se explica pelo fato dos valores baixos de um parâmetro serem compensados pelos valores altos de outros, já que na lógica *fuzzy* está-se trabalhando com uma escala contínua. Esta compensação de valores leva a geração de um mapa derivado mais realista, o que não ocorre com a classificação *booleana*, a qual considera que se um dos parâmetros estiver fora, a resultante será “não pertence”.

É esta abordagem que serve como ferramenta na análise integrada do ambiente, uma vez que ao se estudar a Ecologia das Paisagens por classificação *fuzzy*, está-se considerando o real valor de contribuição de cada variável, que ao ser analisada gerará, na integração, um resultado condizente com a resultante dos fatores, tal como eles atuam e se compensam na natureza.

O próximo capítulo apresentará a metodologia desenvolvida para auxiliar os estudos de Planejamento Regional, tendo como objetivo a execução do Zoneamento Ecológico-Econômico. Serão abordados métodos para a geração de unidades integradas, representativas dos aspectos sócio-econômico e geobiofísico e técnicas de classificação *fuzzy* como ferramenta para esta integração e análise das informações num ambiente SIG.

---

## CAPÍTULO 5

### DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

#### 5.1. METODOLOGIA PROPOSTA

A abordagem metodológica sugerida neste trabalho, é uma tentativa de se avaliar os aspectos geobiofísicos ou geocológicos juntamente com os aspectos sócio-econômicos para fins de planejamento.

Alguns trabalhos relativos ao estudo de Planejamento Geocológico podem ser encontrados na literatura ((ZONNEVELD, 1989); (van GILS, 1989), (GROTEN, 1994); (van der ZEE, 1995); (QUINTELA, 1995)). A integração de informações sócio-econômicas com as informações geobiofísicas, entretanto, ainda é um desafio.

Neste trabalho, uma unidade territorial integrada é definida como sendo uma porção de terra ecologicamente homogênea, onde análises são realizadas levando-se em consideração os aspectos sócio-econômicos e as dinâmicas por eles introduzidas no ambiente. Uma série de classificações ou análises podem, então, ser realizadas e os resultados podem ser utilizados para fins de planejamento regional.

MATEO e MAURO (1994) afirmam que um esquema metodológico para Planejamento Regional deve possuir seis fases: Organização, Inventário, Análise, Diagnose, Elaboração de Propostas e Execução.

QUINTELA (1995) apresenta um conjunto de procedimentos para a utilização de Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) juntamente com os conceitos de Ecologia da Paisagem considerando, porém, somente os aspectos geobiofísicos do ambiente.

De acordo com (QUINTELA, 1995), na fase de *Organização* os objetivos, o esquema geral da investigação, bem como, a localização exata da área de estudo são definidos. Na fase de *Inventário*, o Mapa Preliminar das Paisagens é gerado. É na etapa de *Análise* das Paisagens que se realizam as análises espaciais que irão fornecer informações derivadas. Na fase de *Diagnose*, a integração final da Paisagem pode ser obtida, a partir da utilização das informações geradas na fase de análise. Na etapa de *Elaboração de Propostas*, pode-se elaborar planos a nível gerencial e, finalmente, na Fase de *Execução*, estratégias de tomada de decisão são criadas.

Para o desenvolvimento desta abordagem metodológica, considerando-se os objetivos do Projeto de Zoneamento Ecológico-Econômico (SAE-CCZEE, 1991), apenas as fases de : Inventário, Análise e Diagnose serão consideradas.

#### 5.2. ESQUEMA METODOLÓGICO ADOTADO

Se levarmos em consideração que as *unidades territoriais* não são uma mera compilação de características independentes da terra e, que os limites dos atributos da terra obtidos a partir de levantamentos de campo realizados separadamente, raramente coincidem, pode-se concluir que um Sistema de Informação Geográfica não pode realizar a função de delimitar automaticamente as unidades territoriais por si só. Quando os limites não coincidem, o geocologista tem que julgar quais limites de quais atributos definirão a unidade territorial, e isto não pode ser realizado automaticamente em um SIG. De fato, o SIG tem que trabalhar como uma *ferramenta* juntamente com o geocologista e sua experiência integrativa, de forma a gerar

um mapa preliminar da paisagem, capaz de retratar da forma mais fiel possível, a paisagem de forma integrada, tal como esta se exhibe no ambiente em que se vive.

Os Sistemas de Informação Geográfica têm um papel muito importante *depois* da definição das unidades da paisagem, que poderão ser analisadas, selecionando-se alguns atributos da terra ou alguns de seus valores, recombinao-os e gerando novas informações e mapas derivados, através da utilização de algoritmos de modelagem.

Devido a esta razão, neste trabalho, a geração de um mapa integrado com unidades geocológicas, será considerado como *input* para futuras análises. Estas unidades serão utilizadas como uma base para a modelagem dos atributos da terra, classificando a área levando-se em consideração as qualidades/problemas sócio-econômicos e geobiofísicos.

Baseado nesta proposição, a Figura 5.2.1 fornece uma ilustração do Esquema Metodológico Geral proposto para um estudo integrado para o Zoneamento Ecológico-Econômico.

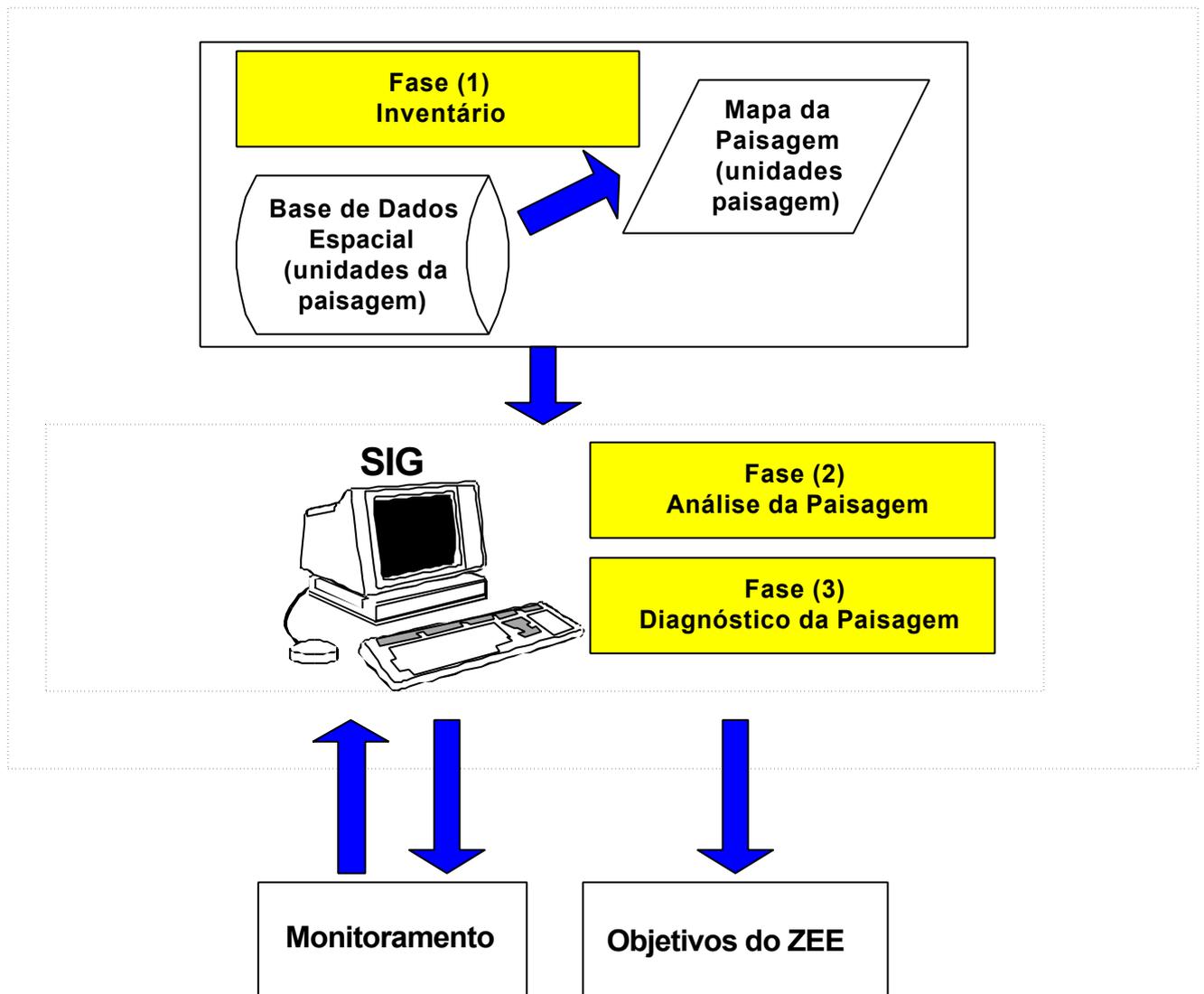


Figura 5.2.1 - Esquema Metodológico Geral

Antes de se iniciar o desenvolvimento deste esquema metodológico, dois estágios devem ser considerados:

---

- Identificação das Variáveis e Indicadores para a Elaboração de um Diagnóstico Gebiofísico e Sócio-Econômico

O primeiro passo em todo o processo é identificar as variáveis e indicadores que serão considerados para a geração do Diagnóstico Sócio-Econômico e do Diagnóstico Gebiofísico da área estudada. Estes Diagnósticos auxiliam no conhecimento da área como um todo, o que facilitará a elaboração do Mapa de Paisagens e suas futuras análises. A Figura 5.2.2, abaixo, apresenta alguns destes indicadores:

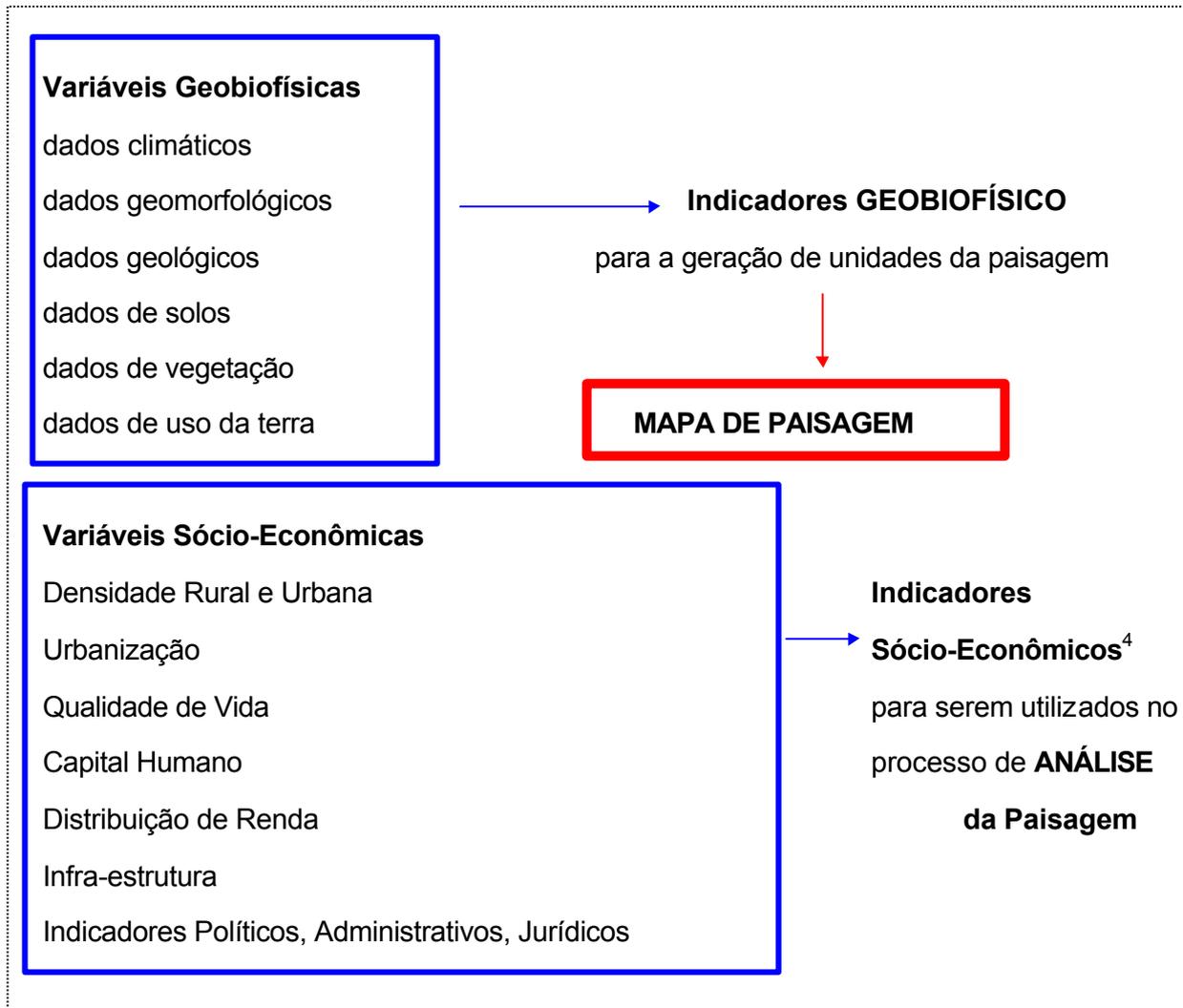


Figure 5.2.2 - Variáveis Gebiofísicas e Sócio-Econômicas

- Definição de Escalas

O segundo passo na fase de inventário é a definição das escalas a serem utilizadas: a escala de trabalho assim como a escala cartográfica.

A escala de trabalho é aquela a ser utilizada para a análise e integração das variáveis temáticas selecionadas. A escala de trabalho adotada foi 1:100.000, definida baseada nos objetivos específicos do estudo, nas características da área e de acordo com as variáveis utilizadas

---

<sup>4</sup> Os indicadores sócio-econômicos identificam as diferenças de acordo com a dinâmica social, econômica e cultural. As unidades utilizadas como base para estudos sócio-econômicos são, em geral, unidades administrativas, tais como: municípios, distritos etc.

como informação temática básica bem como na sua disponibilidade de informação. Neste trabalho, utilizou-se fontes de dados que apresentavam escalas muito variadas, tais como: 1:50.000, 1:100.000, 1:250.000.

### 5.3. FASE 1: INVENTÁRIO

Durante a fase de inventário, um Mapa Preliminar da Paisagem é gerado.

Um mapa Geoecológico ou de Paisagem é composto de unidades geoecológicas. Conforme definido anteriormente, Unidades Geoecológicas são unidades territoriais integradas que englobam a estrutura ecológica da terra, seus potenciais e vulnerabilidades. Estas unidades podem ser utilizadas na base de dados como uma base para futuras avaliações e análises.

Estas análises devem ser realizadas considerando-se os resultados obtidos a partir do Diagnóstico Sócio-Econômico, ou seja, deve-se considerar um estudo sistêmico da área, onde os fatores sócio-econômicos e geobiofísicos e as conseqüências da sua atuação na unidade geoecológica bem como a dinâmica de atuação na sua vizinhança ou áreas adjacentes devem ser relevadas durante o processo de análise.

Em outras palavras, não se estuda somente os fatores geobiofísicos que caracterizam a unidade, mas, durante o processo de análise toda uma interpretação histórica, cultural, fluxo-posicional, social, econômica e geobiofísica deve ser considerada. Este estudo holístico é a base da Ecologia das Paisagens clássica apresentada no capítulo 3, modificada neste trabalho, ao se tentar considerar neste estudo integrado também os fatores sócio-econômicos, sua dinâmica e sua relação no espaço.

A Figura 5.3.1 apresenta um esquema relacionando o papel do diagnóstico geoecológico na geração do mapa de paisagem (ou geoecológico) e o papel do diagnóstico sócio-econômico na análise das unidades da paisagem que compõem este mapa.

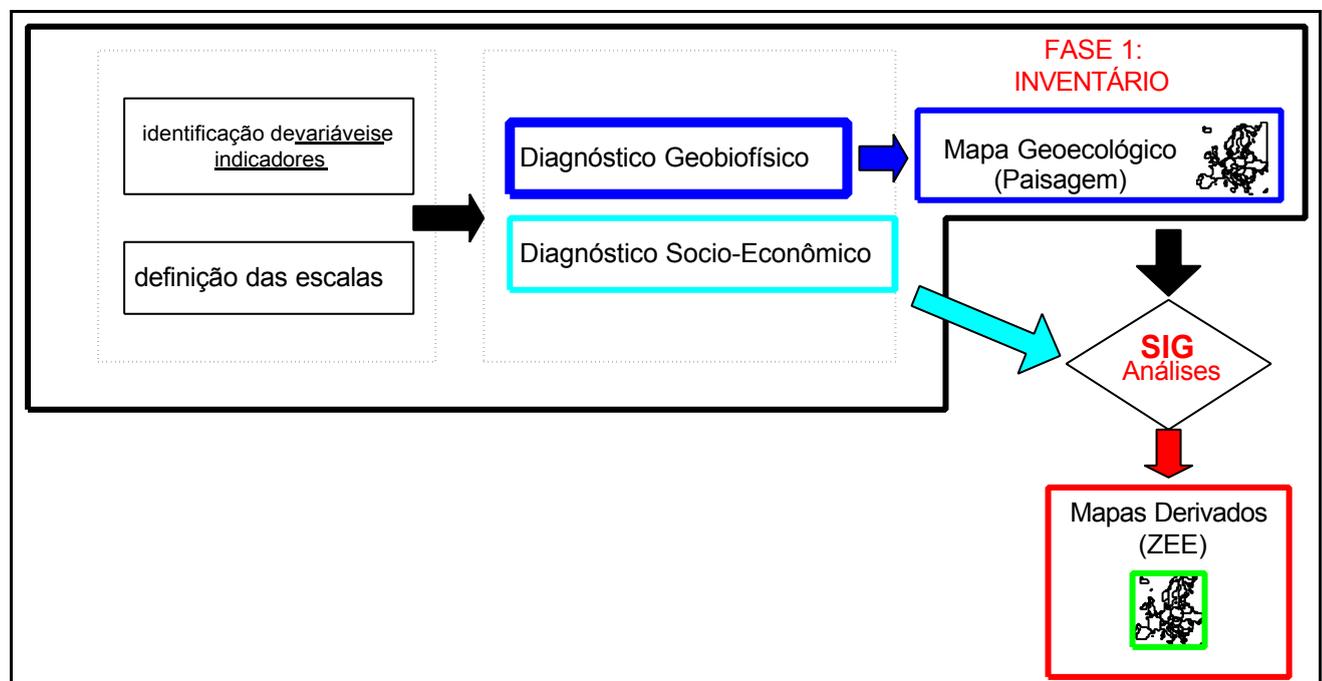


Figure 5.3.1 - Etapas do Processo de Inventário e sua Conexão no Contexto Geral da Metodologia

---

### 5.3.1. Diagnóstico Sócio-Econômico

Informações sócio-econômicas são, na maioria das vezes, difíceis de se mapear. Normalmente, estes dados, quando disponíveis, se apresentam em forma de tabelas, dados censitários e etc. Sempre é um problema obter-se uma base de dados georeferenciada de informações sócio-econômicas. Em geral, é difícil construir limites e obter uma representação espacial de informações que, na sua grande maioria, se apresentam como dados estatísticos.

Devido a isto, é raro ter-se uma produção completamente computadorizada de mapas sócio-econômicos, que expressem e representem unidades sócio-econômicas.

Este trabalho utilizou, para a área de estudo, os resultados do Diagnóstico Sócio-Econômico obtidos pela equipe do LAGET (Laboratório de Gestão Ambiental da UFRJ). O mapeamento das variáveis sócio-econômicas e o agrupamento dos mapas abrangeu uma escala que varia do indivíduo até o ambiente, onde três níveis foram utilizados: pessoa, domicílio e infra-estrutura (ZEE, 1996). A unidade espacial de referência adotada foi a divisão político-administrativa.

### 5.3.2. Identificação das Unidades Geocológicas

ZONNEVELD (1989) define *unidades geocológicas* como sendo uma porção homogênea de terra na escala considerada, que permite estudar-se os relacionamentos topológicos da paisagem.

As unidades geocológicas da paisagem podem derivar-se da análise das variáveis geobiofísicas indentificadas por geocologistas, utilizando-se ou não os Sistemas de Informação Geográfica como ferramenta para sua identificação.

Van der ZEE (1996) apresenta uma discussão sobre como lidar com unidades territoriais num ambiente computacional. Três abordagens foram consideradas. Primeiro, a utilização de um SIG para a sobreposição de mapas individuais, a fim de se produzir um mapa integrado totalmente automatizado (Figura 5.3.2.1). Depois, o uso de um SIG para a digitalização de mapas separadamente e uma posterior análise a partir de consultas (*Queries*), através da combinação de um ou mais aspectos, sem integrá-los inicialmente em um mapa de Paisagem (Figura 5.3.2.2). Finalmente, considerando-se diferentes mapas temáticos integrados inicialmente em um mapa de unidades de paisagens, elaborado de forma manual, que posteriormente será analisado dentro de um ambiente SIG (Figura 5.3.2.3). Analisando-se as vantagens/desvantagens de cada abordagem citada, tem-se:

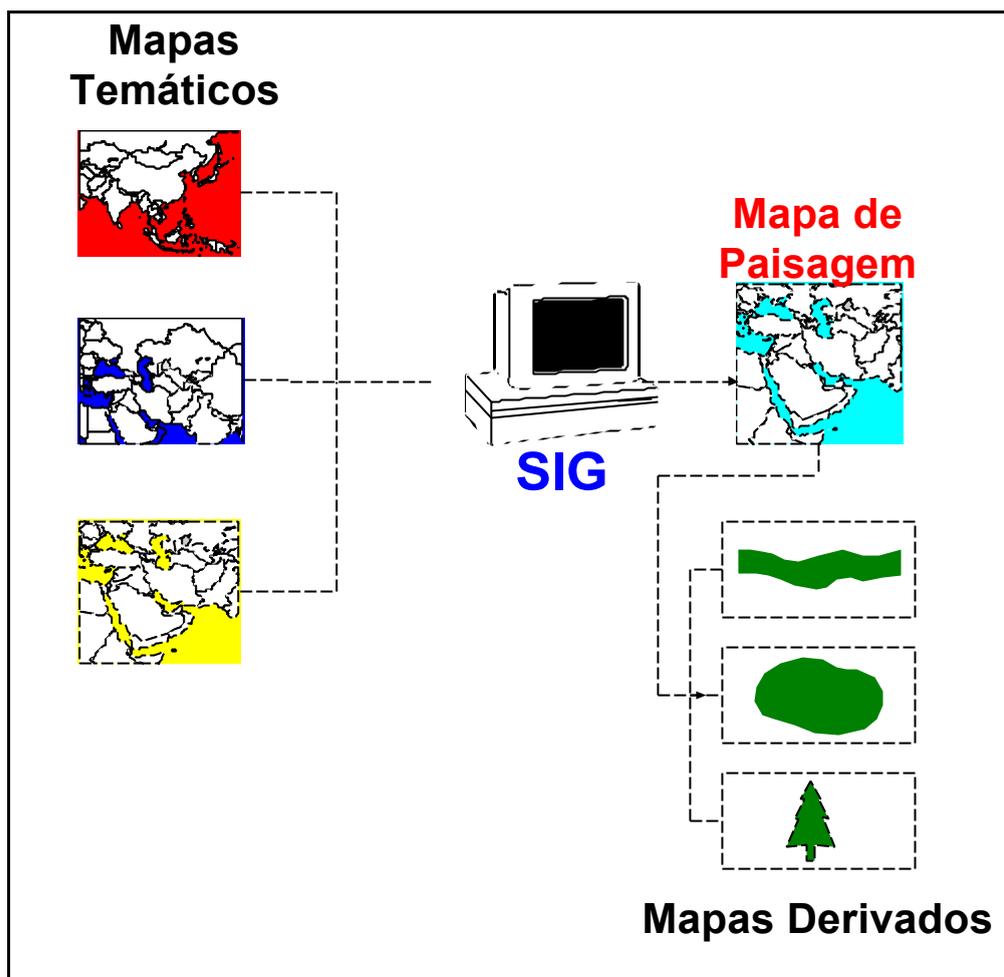


Figura 5.3.2.1 - Produção Automatizada do Mapa de Paisagens

Os mapas temáticos são digitalizados separadamente e a integração é feita automaticamente através de cruzamentos simultâneos em um SIG, sem a participação humana. Este processo gera um resultado sem muito significado prático. Normalmente, centenas de micro polígonos são gerados (ruídos) devido a erros de digitalização ou erros na própria geração dos mapas temáticos básicos, seja devido às diferentes escalas de trabalho utilizadas, seja devido às diferentes fontes que lhes deram origem .

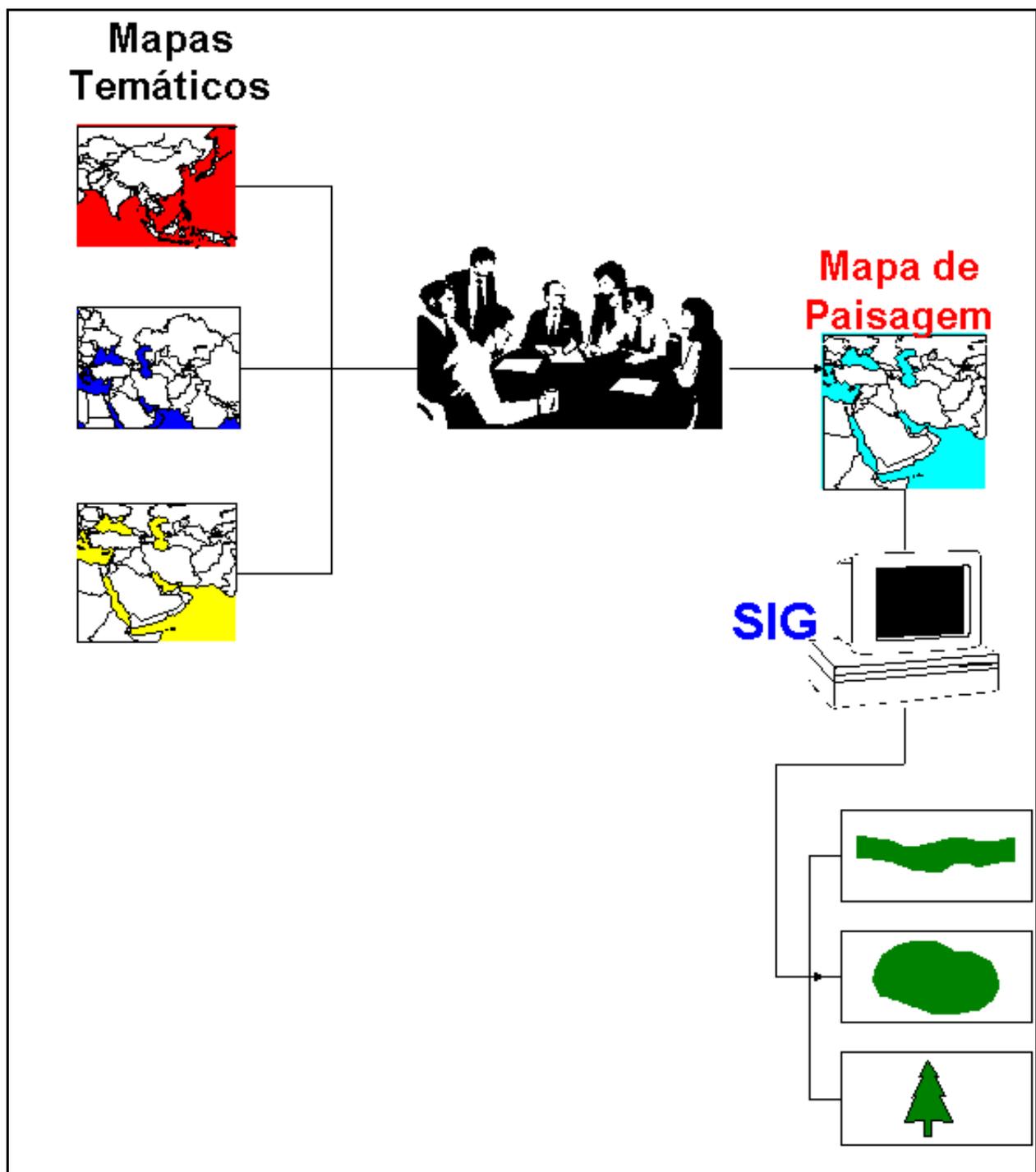


Figura 5.3.2.2- Produção Manual do Mapa de Paisagens

Neste caso, a integração é obtida através da superposição dos mapas temáticos tradicionais, sem o uso de um SIG. A integração é feita manualmente por especialistas e o mapa Geoecológico ou mapa de Paisagem confeccionado seria introduzido no ambiente SIG como um mapa básico de entrada para futuras análises. É um caso tão radical quanto o anterior, uma vez que renuncia a utilização dos SIGs como uma ferramenta auxiliar na geração do Mapa de Paisagem.

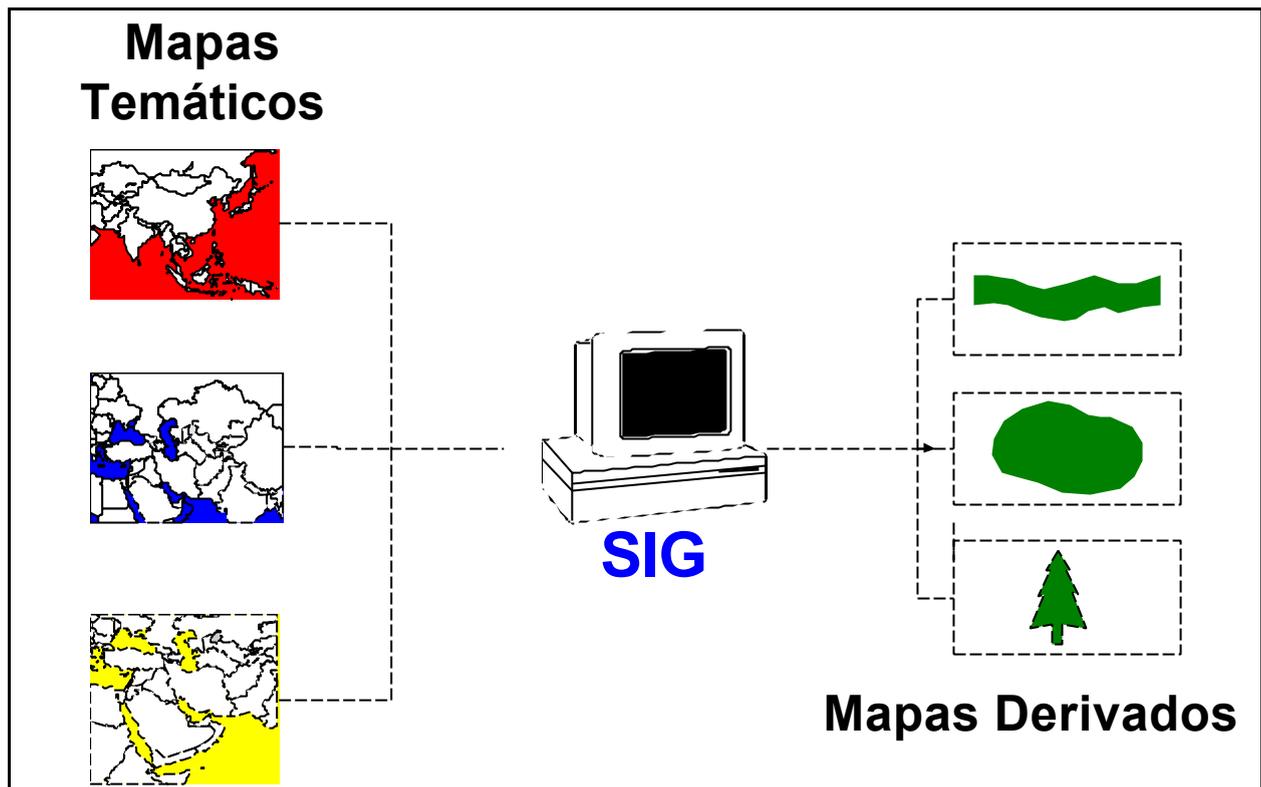


Figura 5.3.2.3- Utilização de Mapas Temáticos Separados sem Geração do Mapa de Paisagens

Os diferentes mapas temáticos são digitalizados separadamente e vários mapas derivados são obtidos através da combinação de um ou mais mapas sem a necessidade de integrá-los, ou seja, sem a geração de um Mapa de Paisagem. Este processo não considera a paisagem integrada como um todo, modelando-se através de distintos mapas representando diversos temas. Conforme discutido no Capítulo 3, esta modelagem é equivocada e tendenciosa, não representando a paisagem tal como esta se apresenta no ambiente, mas como um conjunto de temas distintos e independentes. Esta é uma abordagem normalmente encontrada na literatura e que não considera os conceitos da Ecologia das Paisagens .

Neste trabalho será adotada uma solução distinta de todas as apresentadas e que é uma mescla da solução totalmente automatizada com a solução totalmente manual, para a geração de Mapas de Paisagem, vistas anteriormente:

- Os mapas básicos serão cruzados automaticamente dois a dois. O resultado do cruzamento automático dos dois primeiros mapas, conforme visto, gerará ruídos, ou seja, polígonos pequenos ou possuidores de resultados duvidosos. Ao se realizar o cruzamento dos mapas em um Sistema de Informação Geográfica, tem-se como produto uma tabela com as combinações dos temas obtidos após o cruzamentos, além de um mapa representativo da associação dos dois mapas cruzados.
- Sugere-se que os especialistas analisem este resultado alterando os valores ou atributos destes polígonos de forma a eliminar os erros. A partir da análise da tabela e do mapa resultante, deve-se escolher associações de acordo com seu sentido geográfico e temático e da magnitude real das interseções que foram geradas. Desta forma ter-se-á um mapa de associação, resultado do cruzamento de dois temas, devidamente corrigido.
- Procede-se, então, o cruzamento deste com um terceiro mapa temático básico, gerando a associação agora de três temas. Corrige-se através da interpretação dos polígonos incoerentes, alterando seus atributos no SIG e prossegue-se com o cruzamento de mais um tema. Convém ressaltar, que os mapas de associação gerados são entidades temporárias.

---

Não sendo necessário obter-se estes mapas para cada etapa intermediária, pode-se apenas analisar os resultados gerados pelas tabelas provenientes dos cruzamentos, manipulando-as num ambiente SIG.

- Repete-se o processo até que todos os mapas temáticos selecionados para a geração do Mapa Geoecológico (parâmetros definidos como indicadores) sejam cruzados com o mapa de associação gerado na etapa anterior. Desta forma, após a última associação ter-se-á produzido um Mapa da Paisagem Preliminar, cujas unidades geoecológicas expressam a real integração de todos os temas. Se possível, este mapa deve ser avaliado através de trabalho de campo.

Um exemplo de aplicação deste método pode ser encontrado em (QUINTELA, 1995) e no estudo de caso apresentado no próximo capítulo.

COELHO NETTO et al. (1992) apresentam um método analítico-integrativo para a geração de domínios geobiofísicos, onde o cruzamento não só de dois temas é adotado, mas de todos os temas simultaneamente. Uma análise integrada é realizada, após o cruzamento conjunto de todos os temas, para a geração dos domínios integrados que compõem o mapa Geoecológico.

Neste trabalho, entretanto, ao se testar a realização do cruzamento dos temas dois a dois e ao se comparar com o cruzamento simultâneo de todos os temas, observou-se que no primeiro caso, o processo de integração se dá de forma mais simplificada, uma vez que o número de domínios gerados é pequeno, o que facilita o trabalho analítico-integrativo de eliminação dos polígonos sem significado geométrico ou temático. Desta forma, sugere-se a adoção do mesmo método apresentado em (COELHO NETTO et al., 1992), porém utilizando-se uma integração parcial (dois a dois) até obter-se o mapa de associação final contendo os domínios geobiofísicos.

A Figura 5.3.2.4 ilustra os procedimentos sugeridos neste trabalho para a geração do Mapa Geoecológico na fase de **Inventário**. As unidades geoecológicas identificadas nesta fase formam uma base de dados georeferenciada, que será acessada e alimentada na fase de **Análise**. As análises, por sua vez, irão considerar os resultados obtidos no diagnóstico sócio-econômico da área estudada, avaliando de forma integrada e holística as características geobiofísicas e sócio-econômicas da região.

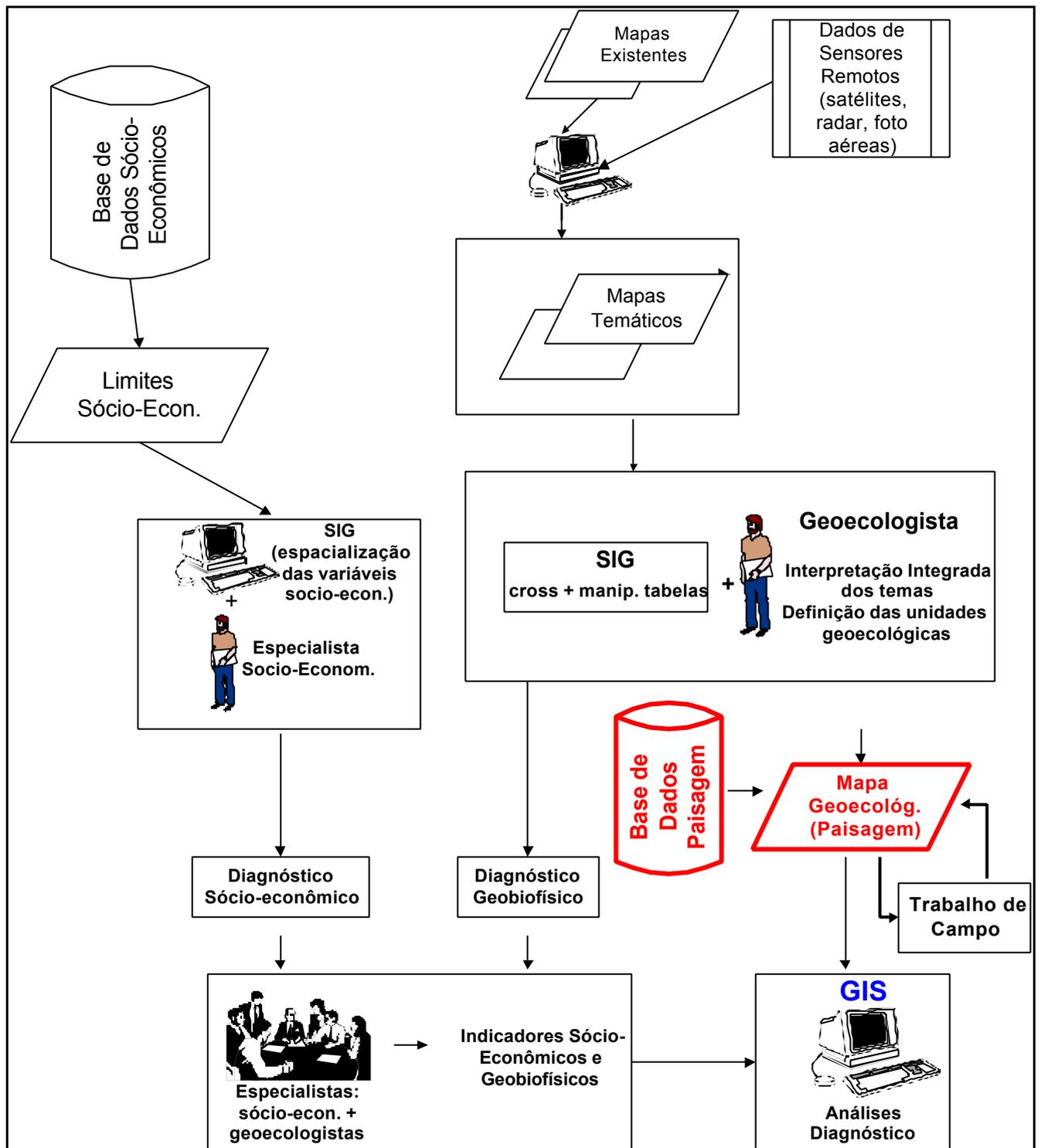


Figura 5.3.2.4 - Geração do Mapa Geocológico.

## 5.4. FASE 2: ANÁLISE DA PAISAGEM

Algumas das etapas do Processo de Análise proposto por (QUINTELA, 1995) acrescidas de outras consideradas importantes, serão utilizadas na especificação desta fase.

O objetivo da Análise é estudar os principais atributos das Paisagens. Novas análises podem ser incorporadas nesta fase de acordo com a necessidade ou objetivos do projeto. Esta etapa visa realizar uma avaliação da paisagem.

Todos os resultados obtidos nesta fase servirão como uma espécie de *descrição da paisagem* e serão utilizados na realização do Diagnóstico da Paisagem.

O processo de análise, especificado neste trabalho, irá considerar três etapas, conforme indicado na Figura 5.4.1 e descrito nos tópicos subsequentes.

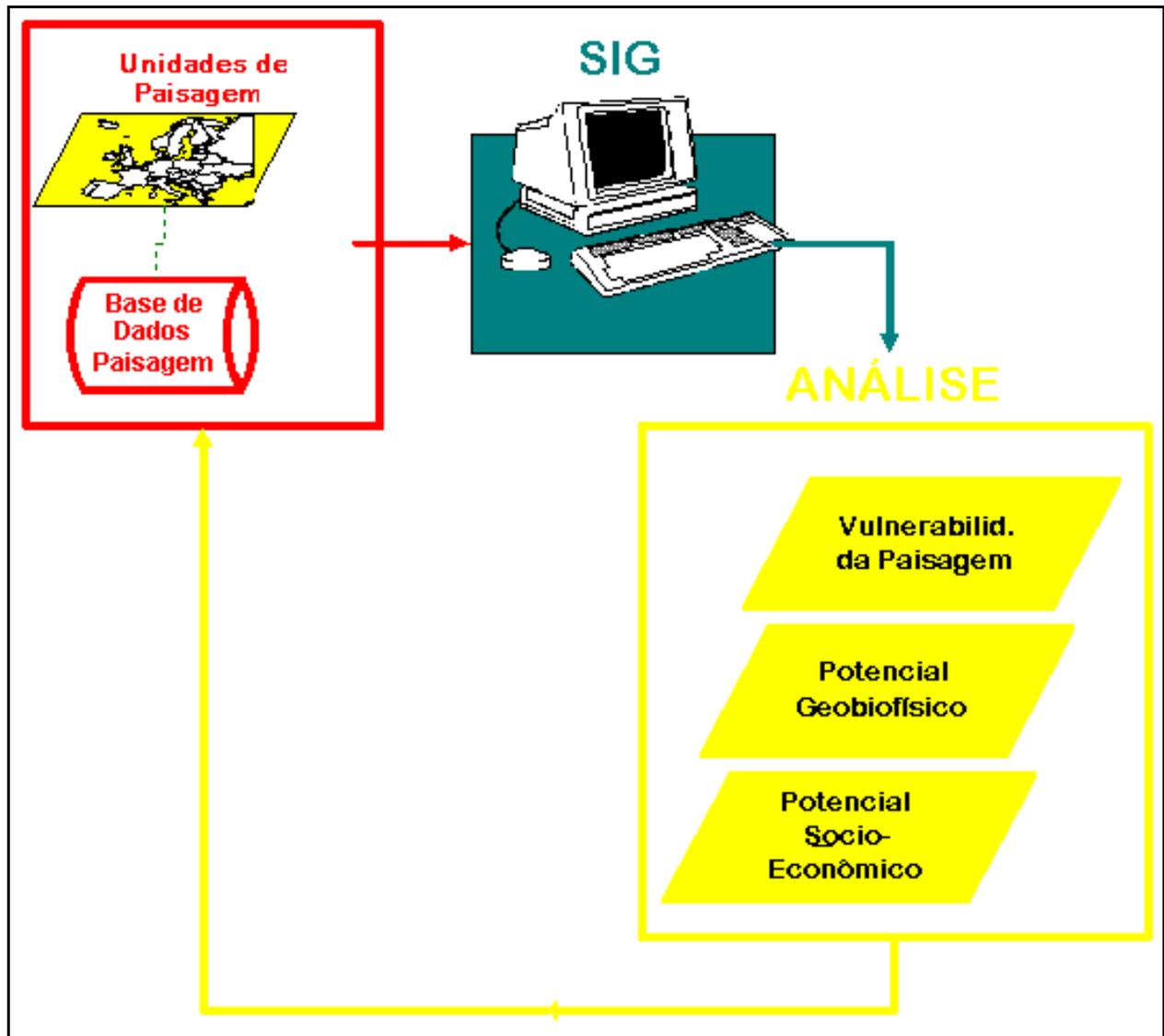


Figura 5.4.1 - Esquema Metodológico Geral Para o Processo de Análise da Paisagem

Segundo (QUINTELA, 1995), a execução destas análises irá permitir obter-se critérios muito importantes sobre os aspectos vinculados com a estabilidade e a sensibilidade da paisagem, sobre os mecanismos que determinam o fluxo de substâncias e energia, e sobre o impacto da atividade humana expresso em termos do grau de transformação e modificação de origem antrópica. Estas são questões decisivas no processo de Ordenamento Geoecológico e constituem a base informativa para a elaboração do Diagnóstico Integrado e a elaboração de propostas num estudo de Planeamento a nível Regional.

Considerando-se a diversidade de métodos e especificações de procedimentos que se incluem nesta fase de análise, não é possível abarcar todas as operações possíveis de serem realizadas nesta etapa. De acordo com o objetivo do trabalho, o nível de detalhe ou até mesmo as especificidades da área em estudo, pode-se realizar um sem número de análises sobre a paisagem avaliada e apreciar o papel dos Sistemas de Informação Geográfica como ferramenta para este fim.

---

Neste trabalho, serão tratadas aquelas análises julgadas necessárias para a execução de um Zoneamento Ecológico-Econômico, onde o estudo da vulnerabilidade e das potencialidades das paisagens são consideradas análises imprescindíveis na geração do Diagnóstico Integrado que norteará o zoneamento da região.

Remeto o leitor à QUINTELA (*op.cit.*) para uma avaliação da estrutura (vertical e horizontal) da paisagem, estudo do funcionamento das paisagens e da análise da dinâmica temporal e da evolução da paisagem através dos SIGs. Estes estudos consideram a paisagem sob o ponto de vista genético, seus fatores físico e químicos, dentre outros. Devido à escala de trabalho adotada e aos objetivos deste estudo, ou seja, gerar subsídios para o Planejamento Regional, este nível de detalhamento de análise da paisagem não foi considerado necessário.

#### 5.4.1. Vulnerabilidade ou Sensibilidade da Paisagem

Em Ecologia, a **vulnerabilidade** de um Ecossistema pode ser definida como a *incapacidade de se lidar com fatores que causam stress, incluindo fatores naturais, e se baseia nas forças internas necessárias para se manter as características essenciais do ecossistema considerando-se os limites do mesmo* (KRUIJF e SCHOUTEN, 1987). Vulnerabilidade resulta de qualidades essenciais dos ecossistema, tais como: estabilidade, persistência e potencial de restauração (BATISDAS, 1995).

McNEELY et al. (1980) definem áreas ecologicamente sensíveis aquelas que podem ser facilmente perturbadas e requerem longos períodos de tempo para se recuperarem.

De acordo com MATEO e MAURO (1994) **Sensibilidade** é definida como sendo a *susceptibilidade da paisagem à degradação e a perda de capacidade produtiva*.

QUINTELA (1995) define **Vulnerabilidade da Paisagem** como uma *combinação do seu Grau de Alteração devido a ações antropogênicas e da sua Fragilidade Natural*.

Existe alguma confusão quando os termos Fragilidade e Estabilidade têm que ser utilizados. De acordo com ORIAN (1974) e GIGON (1983), *estabilidade é a existência contínua de um sistema ecológico e sua capacidade de restaurar seu estado original após uma mudança*. **Estabilidade** normalmente se refere à tendência de um sistema de se manter próximo ao ponto de equilíbrio ou de retornar a este após uma perturbação.

Instabilidade é o oposto à Estabilidade e é definida por GIGON (*op.cit.*) como o processo de mudança irreversível de um ecossistema e a falta de capacidade de retornar ao seu estado original após uma mudança.

A utilização do termo **Fragilidade** na avaliação de áreas naturais relaciona-se a susceptibilidade a uma dada perturbação. Uma Alta Fragilidade implica em uma probabilidade alta de extinção ou danos a uma espécie, sistema ou paisagem (SMITH e THEBERGE, 1986).

Neste trabalho, o termo Fragilidade será utilizado quando se tratar da caracterização da susceptibilidade da terra a fatores naturais.

O Grau de Alteração devido a ações antropogênicas expressa o nível de degradação da paisagem causada por atividades humanas ou suas interferências.

Ambos os aspectos: fragilidade e grau de alteração antrópica, serão considerados na definição de indicadores a serem utilizados na análise da Vulnerabilidade da Paisagem.

Para a avaliação do Grau de Vulnerabilidade da Paisagem, os seguintes passos são, então, sugeridos:

---

#### 5.4.1.1. Escolha dos Fenômenos que Caracterizam a Vulnerabilidade na Região

Cada área possui uma certa susceptibilidade à ocorrência de um ou mais fenômenos que a tornam vulnerável. De acordo com as características da região estudada deve-se eleger aqueles fenômenos que devem ser avaliados por provocarem esta vulnerabilidade. Os fenômenos mais comuns e passíveis de avaliação em nosso país são: erosão de encostas, assoreamento de canais e enchentes das áreas inundáveis.

#### 5.4.1.2. Escolha dos Indicadores de Vulnerabilidade

Tendo em vista a fragilidade natural da paisagem e a influência da ação antrópica como fatores preponderantes no estudo da vulnerabilidade da paisagem, deve-se selecionar indicadores geiofísicos e sócio-econômicos a serem observados e majorados através da classificação *Fuzzy*.

Para tanto, sugere-se que seja feita uma avaliação global e holística da área em estudo para se observar a influência de determinados fatores não só numa determinada área, mas as conseqüências de sua atuação em áreas vizinhas.

Como exemplo destes indicadores pode-se citar:

- Indicadores Geiofísicos: deficiência/excedente hídrico, grau de degradação da vegetação, gradiente topográfico, dentre outros.
- Indicadores Sócio-Econômicos: grau de ocupação urbana, nível de infra-estrutura (lixo, esgoto), presença de interseção de canais com eixos de circulação, grau de ocupação de encostas íngremes, dentre outros.

#### 5.4.1.3. Classificação Utilizando-se Valores de Pertinência Fuzzy

Conforme visto no capítulo 4, este método de classificação considera valores que são representados de forma contínua e expressos através de uma função de pertinência. A principal diferença deste método está na possibilidade de se considerar classes que não estão nem exatamente “dentro” nem exatamente “fora”, estando classificado como “entre” o que quer que se esteja avaliando.

Em relação à análise da Vulnerabilidade da Paisagem, a vantagem da utilização da classificação *fuzzy* reside na flexibilidade permitida na modelagem da paisagem. Através desta classificação, é possível dar pesos e notas relativos à real importância do fator considerado na paisagem como um todo-integrado.

No processo de classificação por pesos e notas (média ponderada por peso), normalmente se fixaria um valor para o peso de cada tema considerado e notas a cada classe deste tema.

Ocorre que ao se estudar a paisagem como um todo, um tema pode ter sua importância relativa variável em função da existência de um outro tema (ou fator) que o torne menos importante.

Por exemplo: não se pode fixar como possuidor de um peso alto a topografia e o índice de precipitação. Pode ocorrer que para uma dada região, apesar do gradiente topográfico ser alto, a área seja estável, por possuir uma vegetação pouco degradada e uma baixa ocupação da encosta. Mas como o índice de precipitação é alto e o gradiente topográfico também, no processo de classificação por médias, esta área estaria condenada a ser classificada como vulnerável.

O mesmo pode ocorrer para uma área situada na baixada, com baixo índice de precipitação, mas onde ocorram diversas interseções de canais e na qual o fluxo de descarga de sedimentos de uma área à montante esteja direcionado para esta região. Novamente a área seria considerada como não vulnerável, por estar em baixada e ter índices baixos de precipitação. Entretanto, se considerarmos o todo-integrado, podemos nos surpreender ao perceber que esta área está sujeita à inundações devido às interseções dos canais com os eixos de circulação e devido à contribuição de sedimentos advindos de áreas vizinhas à montante.

Faz-se necessário, portanto, o uso de um instrumento de modelagem capaz de ter a flexibilidade de estudar os fatores atuantes na área de forma relativa e não absoluta. O uso da classificação *fuzzy* é sugerido como a forma de se solucionar este problema e possibilitar uma modelagem mais integrada da paisagem.

As Figuras 5.4.1.3.1 e 5.4.1.3.2 descrevem a combinação de métodos e técnicas sugeridos para a Análise de Vulnerabilidade da paisagem.

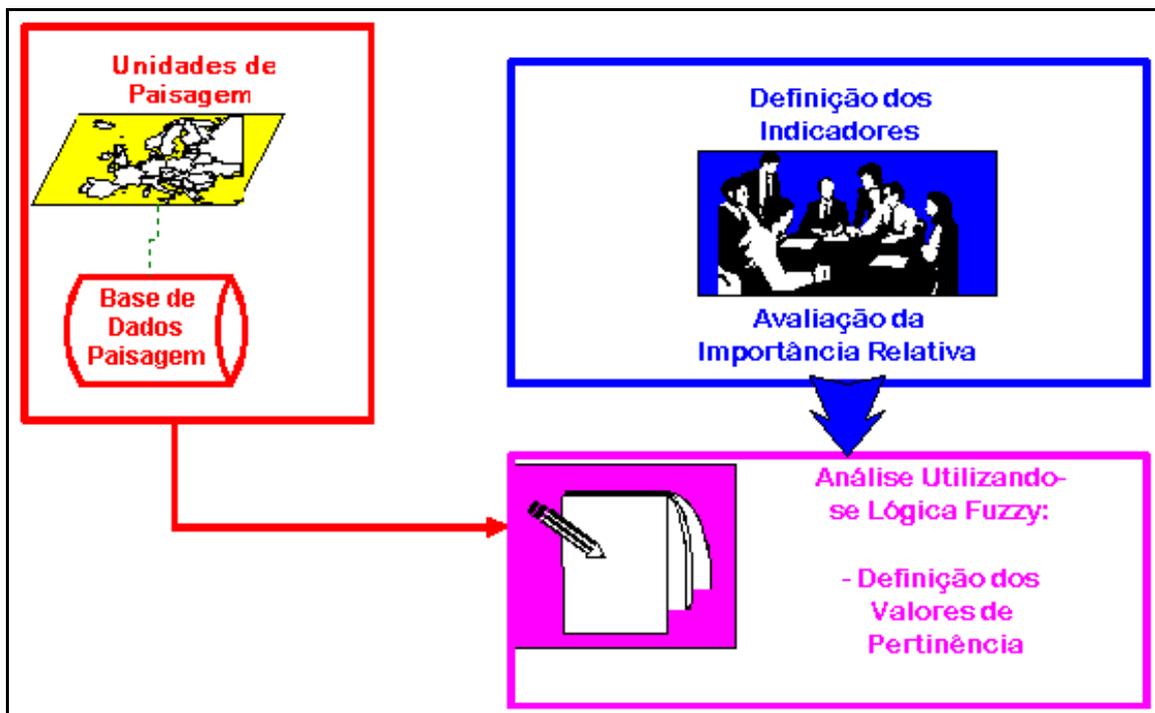


Figura 5.4.1.3.1 - Definição da Importância Relativa de Cada Parâmetro

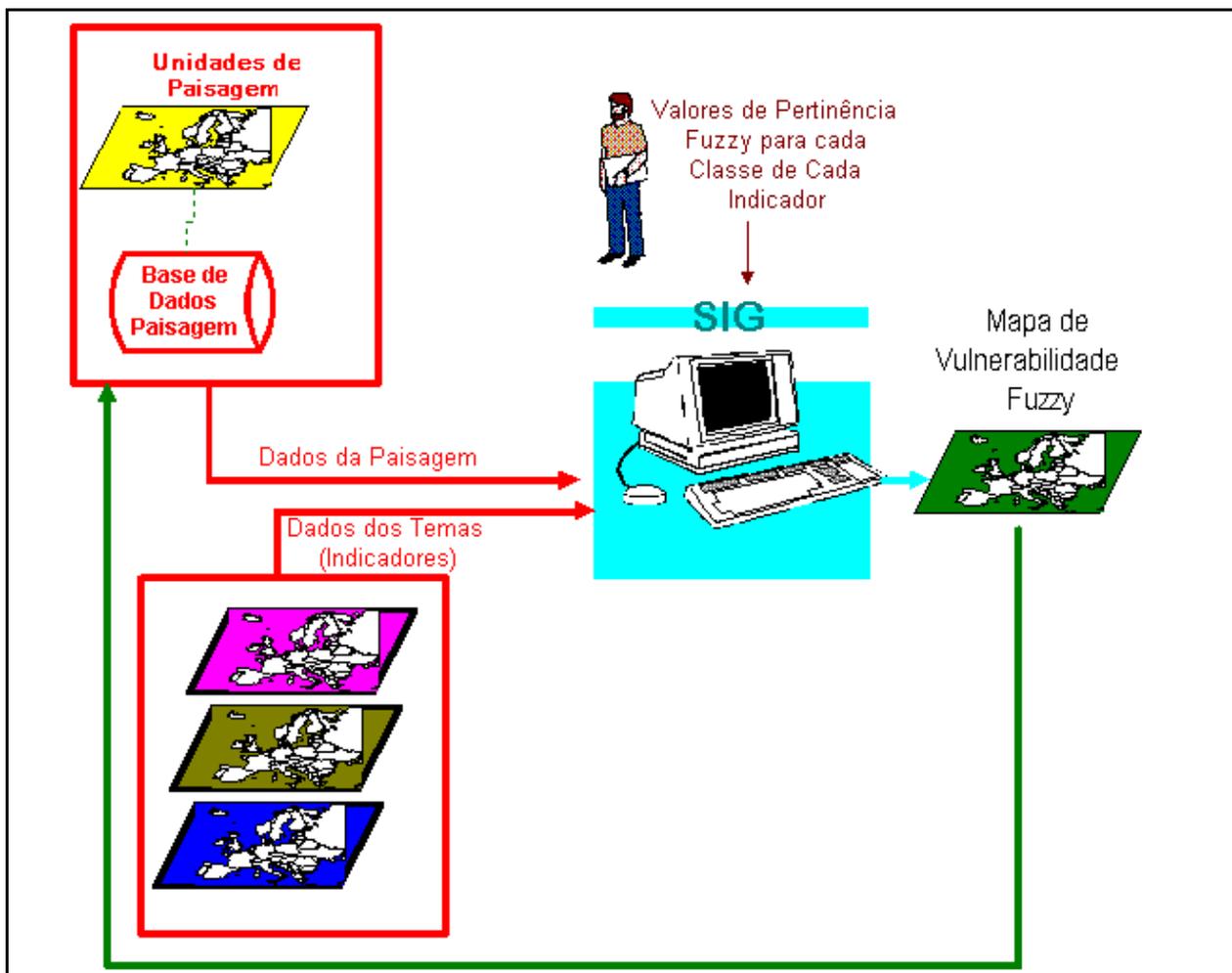


Figura 5.4.1.3.2 - Elaboração do Mapa de Vulnerabilidade *Fuzzy*

A combinação destes métodos e técnicas pode levar a resultados distintos nos processos subsequentes. Conseqüentemente, isto pode influenciar a geração de mapas e informações na fase de Diagnose da Paisagem, considerando-se que em cada passo, os mapas resultantes são utilizados combinados com outros.

## 5.4.2. Potencial Geobiofísico

O potencial da paisagem pode ser compreendido com sua aptidão, de acordo com suas propriedades, para ser utilizado na realização de determinadas atividades sócio-econômicas (SMITH e THEBERGE, 1986)

O potencial geobiofísico, a nível de reconhecimento, para fins de planejamento deve ser realizado de acordo com os usos considerados mais estratégicos da área em análise. Existem diversos tipos de potencial. Dependendo das atividades sócio-econômicas a serem consideradas e das características da região, este potencial pode ser avaliado para atividades: agrícolas, silvícolas, construtivo, para fins de mineração, florestal, turístico, industrial, dentre outros.

Neste trabalho devido a carência de informações a respeito de outros potenciais e por ser a agricultura uma atividade que pode ser considerada importante a nível de planejamento de uso da terra na região, o potencial agrícola será avaliado na fase de análise e, posteriormente, a adequação do uso atual da região a este potencial, será observado na fase de diagnose.

---

Convém ressaltar, que o objetivo deste trabalho não é fazer uma avaliação dos potenciais da região frente a diversas atividades econômicas (estudo de aptidão das terras), assim como foge dos objetivos, descrever ou pesquisar formas de se efetuar procedimentos eficientes para avaliações de potenciais, tema bastante interessante e que são encontrados em trabalhos como: (van der ZEE, 1992), para potencial turístico, (FAO, 1976), (Huizing et al., 1995), para potencial agrícola, (FAO-SOIL, 1983), para potencial agrícola em áreas irrigadas, (BEEK et al., 1986), para quantificação das avaliação das terras, (DRIESSEN, 1996), para uma análise numérica de potencialidades, dentre outros.

O mesmo procedimento descrito neste trabalho, em relação ao potencial agrícola, pode ser utilizado para outros potenciais, ou seja, no processo de análise das unidades da paisagem, assim como no processo de diagnose integrada, pode-se inserir novos procedimentos que irão utilizar a base de dados gerada neste trabalho para novas avaliações, conforme dito anteriormente.

No caso do estudo do potencial agrícola, utilizado neste trabalho, este potencial é obtido através da realização de um estudo de Aptidão Agrícola das Terras (FAO, 1976), (FAO, 1990), (FAO-SOIL, 1993), (FAO, 1994).

Segundo a definição da FAO (FAO, 1976) *avaliação da aptidão das terras*<sup>5</sup> é o processo de avaliação da performance da terra quando usada para propósitos específicos, envolvendo a execução e interpretação de levantamentos e estudos da forma da terra, solos, vegetação, clima e outros aspectos, a fim de identificar e fazer comparações dos usos da terra mais promissores em termos de aplicabilidade aos objetivos da avaliação.

Em relação a produção de alimentos, deve-se considerar, em termos de planejamento, a intensificação de culturas obtendo-se a máxima produção através do aproveitamento das áreas com alto potencial agrícola. Isto é possível através da avaliação da aptidão agrícola das terras. Nestes estudos, informações sobre áreas que possuam solos e condições de terrenos apropriados, sem custo excessivo ou danos ao meio ambiente, devem ser combinadas com condições sócio-econômicas, tais como: mercado, tendências etc. e interesses do agricultor, a nível local, e do governo, a nível regional.

(KLAVERBLAD, 1982) estudou a aptidão Agrícola dos Solos juntamente com a Ecologia das Paisagens, na região de Purwakarta, na Indonésia. Seu trabalho visa o planejamento físico regional e é uma das poucas pesquisas realizadas que engloba os conceitos da Ecologia da Paisagem para a Avaliação de Potenciais Gebiofísico na sua concepção inicial.

Caso os dados de aptidão agrícola das terras não estejam disponíveis para a área de estudo onde se deseja realizar o planejamento regional, será necessária a geração desta informação.

QUINTELA (1995) sugere a utilização de um método de atribuição de valores (ponderação) a cada intervalo de valores dos componentes ou fatores que influem sobre a atividade econômica a se desenvolver e que depois são tratados através do processo de média aritmética por peso para o cálculo da potencialidade e ressalta o papel dos SIGs nos seguintes passos:

- a partir da informação contida nos mapas de componentes ou de fatores a serem considerados, determina-se aqueles predominantes em cada unidade da paisagem. Este procedimento é realizado através do cruzamento do Mapa de Paisagem com cada um dos mapas representativos dos componentes considerados. Neste processo, deve-se sempre tomar como referência o Mapa de Paisagem, para que os resultados sempre estejam referidos a cada uma das unidades da paisagem.

---

<sup>5</sup> A avaliação deve ser realizada baseada nos objetivos de planejamento da região, considerando-se os problemas ambientais e sócio-econômicos.

- a partir do critério de ponderação utilizado, substitui-se os valores correspondentes ao intervalo das classes predominantes (*ranges*) pelos valores ponderados, ou seja, atribui-se notas a cada classe. Esta informação se representa em uma tabela, que no SIG se associa com o Mapa de Paisagem. Estas ponderações podem se estabelecer em função do grau em que cada intervalo favoreça a atividade sócio-econômica específica.

- calcula-se a potencialidade da paisagem de acordo com o método escolhido para processar os valores contidos na tabela gerada: procede-se o estabelecimento de ponderações para cada um dos fatores componentes (solos, vegetação etc.), estes valores se multiplicam pelas notas dadas a cada classe e ao final se somam os produtos da multiplicação (QUINTELA, 1984).

QUINTELA (1995) apresenta como exemplo do método por ele sugerido, a seguinte tabela:

Tabela 5.4.2.1 - Método de QUINTELA.

unidade de paisagem	solo predominante	Peso	veget. predominante	Peso	topog predominante	Peso	Potencialidade	Grau de Potencialidade
I	A	3	C	4	A	5	$A*3+C*4+A*5$	"Alto"
II	B		C		B			

Neste trabalho, conforme exaustivamente discutido anteriormente, sugere-se a utilização da classificação *fuzzy* na ponderação das classes consideradas relevantes no estudo da potencialidade. Desta forma, atribui-se valores *fuzzy* a cada componente de acordo com seu grau de influência como um todo, ou seja, relativamente aos demais fatores ou classes, na atividade sócio-econômica avaliada. Além disto, deve-se considerar a vulnerabilidade, obtida na fase de análise, como um fator relevante na avaliação da potencialidade.

A seguir, os procedimentos sugeridos para a realização destas tarefas são especificados:

O primeiro passo do procedimento é a definição dos Tipos de Uso da Terra a serem considerados, conforme ilustrado na Figura 5.4.2.1:



Figura 5.4.2.1 - Definição de tipos de uso da terra.

Após a definição dos Tipos de Uso a serem avaliados (*LUT- Land Use Type*) de acordo com as prioridades locais e governamentais, os procedimentos definidos pela FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), podem ser aplicados, para a unidade integrada.

De acordo com a FAO, a avaliação da aptidão das terras deve considerar também a Sensibilidade ou Vulnerabilidade da Terra juntamente com as suas características Gebiofísicas.

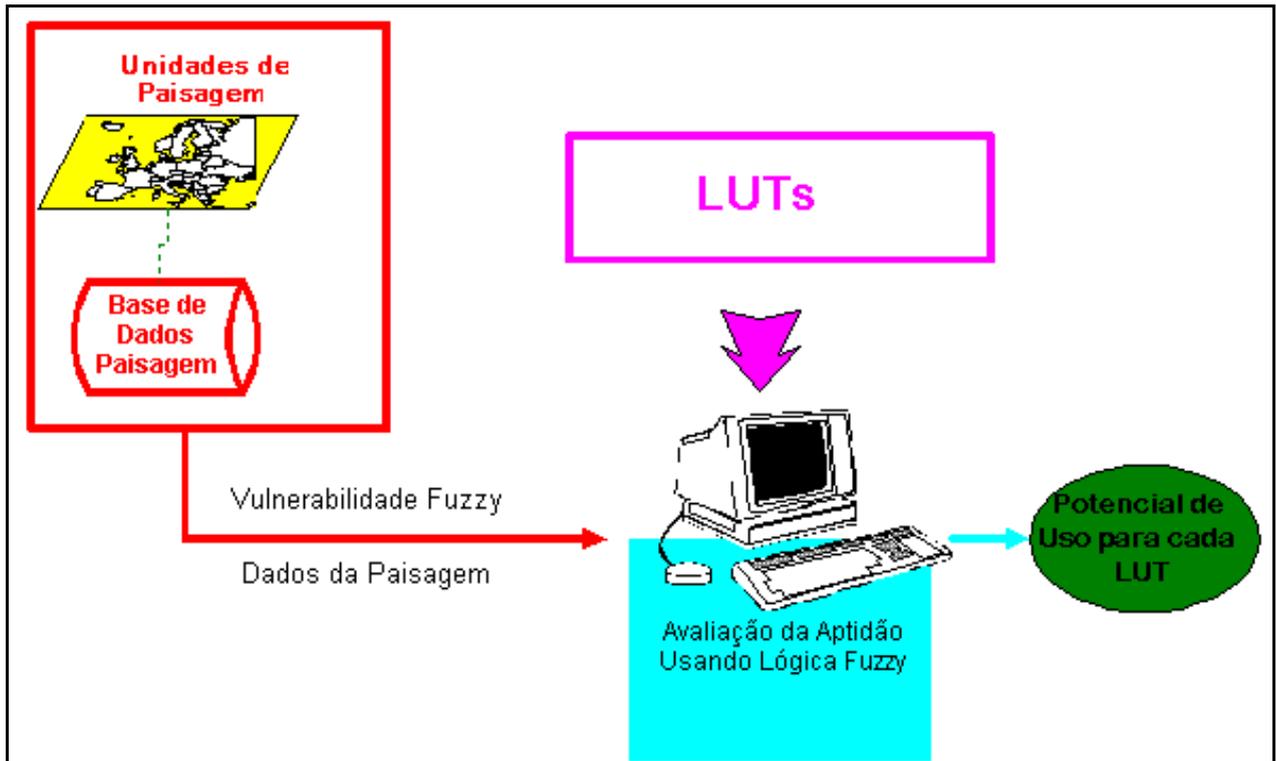


Figure 5.4.2.2 - Avaliação da aptidão da terra utilizando mapeamento integrado e superposição fuzzy.

Caso o mapa de aptidão das terras já esteja disponível para área estudada, o Potencial Geobiofísico poderá ser obtido diretamente através do seguinte procedimento:

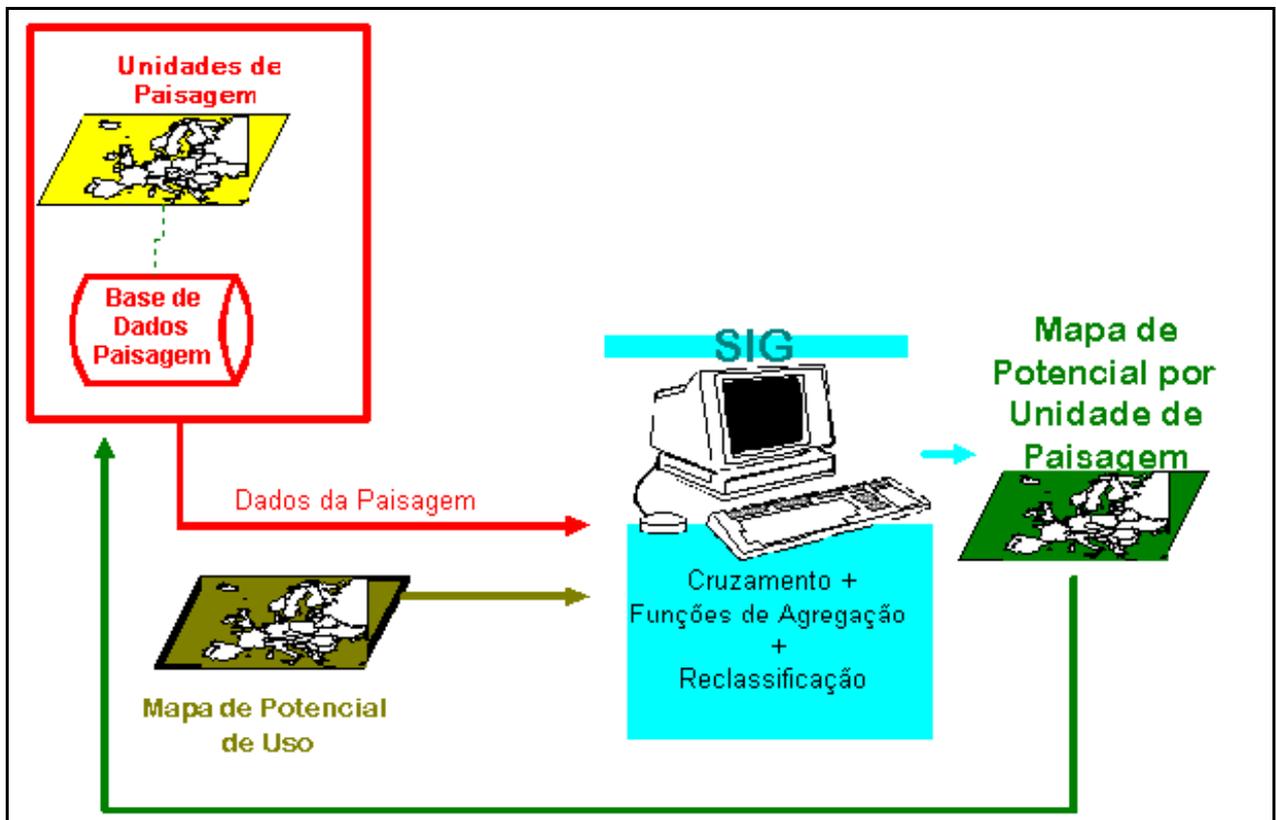


Figura 5.4.2.3 - Geração do Mapa de Potencial Geobiofísico por Unidade de Paisagem

---

### 5.4.3. Potencial Sócio-Econômico da Paisagem

Até agora, algumas características importantes da terra foram avaliadas, tais como: vulnerabilidade e potencial para o desenvolvimento de atividades. Todas estas características estão relacionadas com a capacidade da terra em produzir ou com a reação da terra em relação à impactos.

Num processo de planejamento, também é necessário avaliar a capacidade da área em relação ao desenvolvimento humano, de acordo com as características sociais e econômicas da região.

Para a avaliação do Potencial Sócio-Econômico, o Potencial para Desenvolvimento Humano deve ser avaliado.

De acordo com BECKER e EGLER (1996), o Potencial para Desenvolvimento Humano deve considerar a integração de parâmetros como:

i) Potencial Natural

- Potencial Mineral
- Potencial Agrícola
- Potencial Florestal, etc.

ii) Potencial Humano

- Grau de Urbanização
- Capacidade Técnica
- Situação Financeira (renda da população)
- Infra-estrutura

iii) Potencial de Produção

- Consumo de Energia
- Capacidade Financeira

iv) Potencial Institucional

- Autonomia Política
- Participação Política

MACHADO et al. (ZEE, 1996) utilizaram outros parâmetros para a execução do Diagnóstico Sócio-Econômico no estudo realizado na Bacia da Baía de Sepetiba e que foi elaborado pela equipe do LAGET/UFRJ<sup>6</sup>.

Os Mapas Sintéticos de Qualidade de Vida e de Capital Humano do Diagnóstico Sócio-Econômico supracitado foram obtidos a partir da ponderação de fatores como:

- pessoa: grau de instrução e renda;
- domicílio: habitabilidade;

---

<sup>6</sup>LAGET = Laboratório de Gestão Territorial da UFRJ

- infra-estrutura: água, lixo, instalação sanitária

O mapa de Potencial de Desenvolvimento Humo pode ser obtido através da utilização da classificação *Fuzzy* para a ponderação dos parâmetros sócio-econômicos considerados relevantes para a avaliação deste potencial:

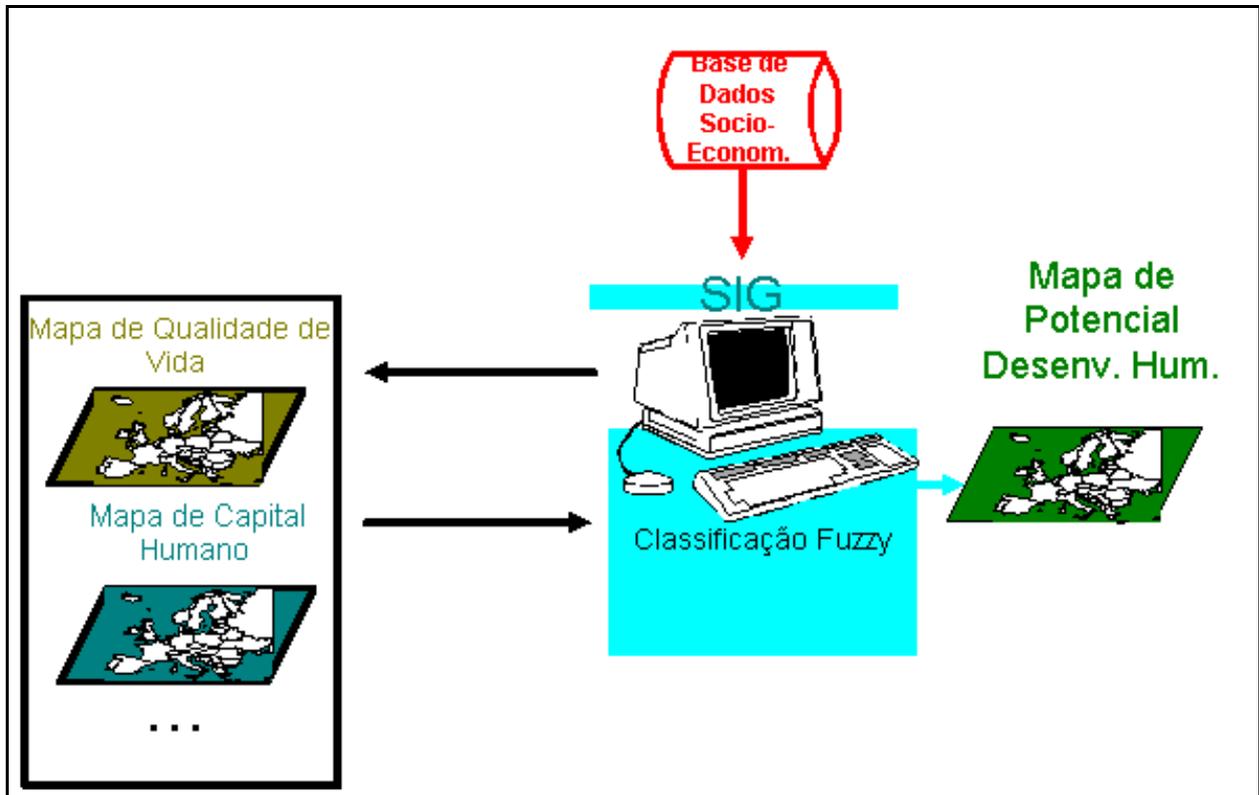


Figura 5.4.3.1 - Geração do Mapa de Potencial de Desenvolvimento Humano.

Como, em geral, os dados sócio-econômicos possuem como unidade básica de representação da sua informação, fronteiras administrativas (setor censitário, distrito, município), faz-se necessária a geração do Mapa de Potencial de Desenvolvimento Humano por Unidade de Paisagem. Desta maneira, esta informação poderá compor a base de dados de Paisagem, de forma a poder posteriormente ser utilizada em outras Análises ou no Diagnóstico da Paisagem. Para tanto, deve-se através das funções de agregação de um SIG, reclassificar o mapa de Potencial de Desenvolvimento Humano em função das unidades de Paisagem:

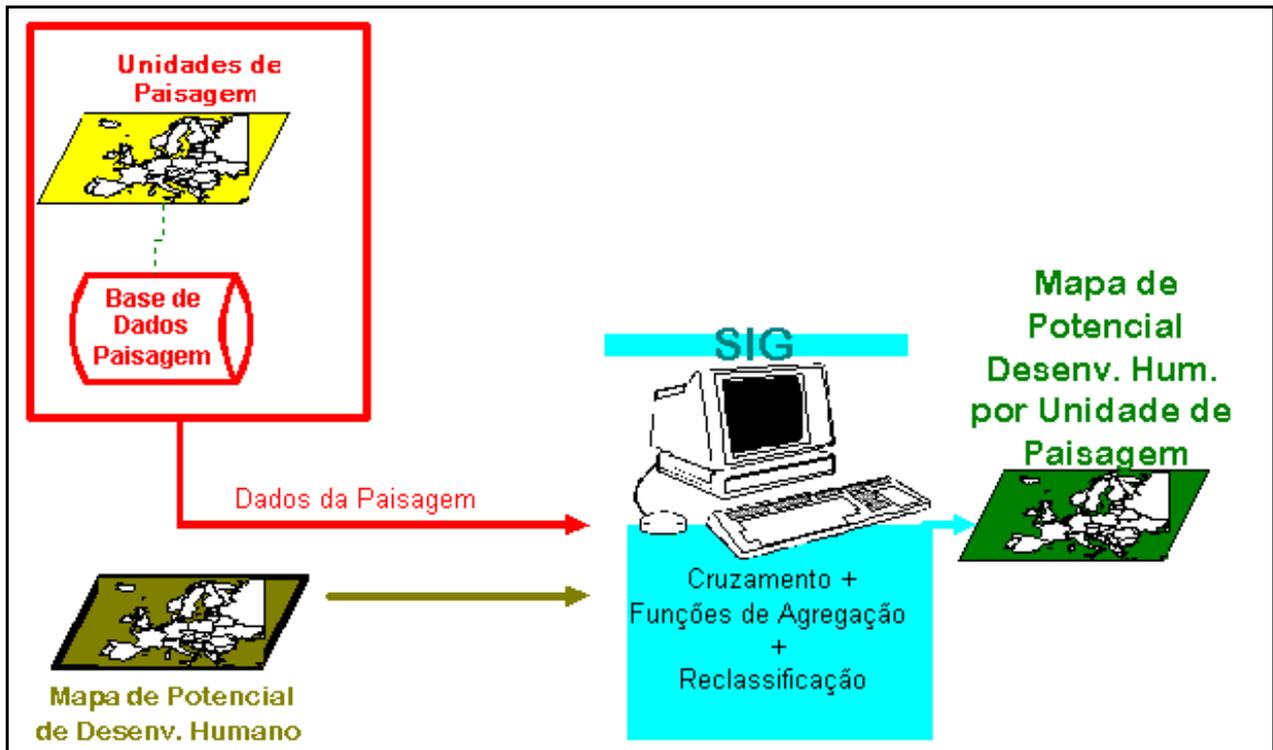


Figura 5.4.3.2 - Geração do Mapa de Potencial de Desenvolvimento Humano por unidade de paisagem.

### 5.5. FASE 3: DIAGNOSE DA PAISAGEM

Após o processo de Análise da Paisagem, diversos mapas, bem como suas informações relativas estarão disponíveis na base de dados espaciais gerada, cuja unidade de referência é a paisagem. O Diagnóstico da Paisagem pode ser obtido em um ambiente SIG através da utilização de Consultas (*Queries*) à base de dados criada ou através da combinação dos mapas gerados durante a fase de Análise.

O Diagnóstico da Paisagem avalia as propriedades das paisagens e seu estado em relação ao seu uso pelo homem (QUINTELA, 1995).

Como na fase de análise, o diagnóstico também é um processo dinâmico, no sentido que novas combinações podem ser realizadas e novas informações podem ser geradas, baseadas nos mapas e informações geradas nas etapas anteriores.

A Figura 5.5.1 ilustra algumas avaliações de Diagnóstico da Paisagem consideradas relevantes para o Projeto de Zoneamento Ecológico Econômico e que são sugeridas neste trabalho.

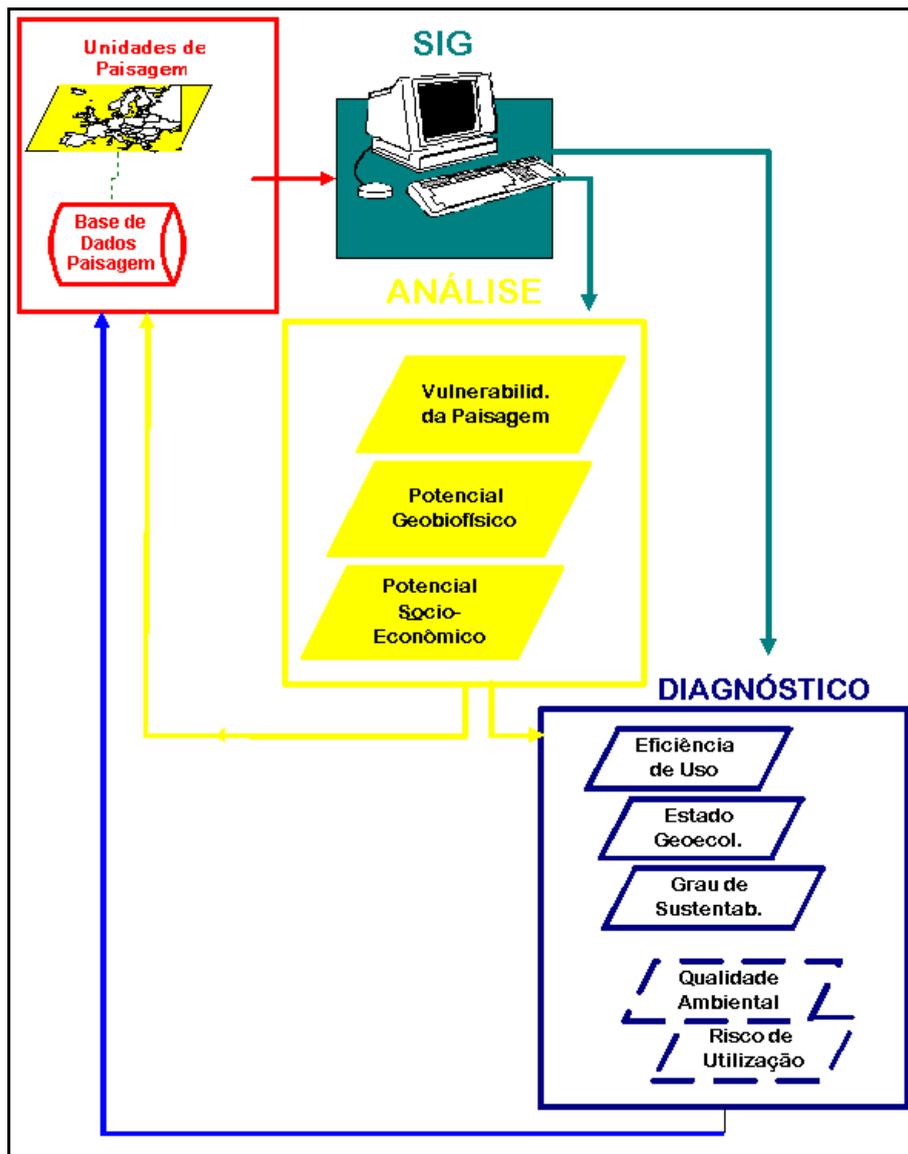


Figura 5.5.1 - Esquema Metodológico Geral Para o Processo de Diagnose da Paisagem<sup>7</sup>

### 5.5.1. Eficiência da Utilização da Paisagem

A Eficiência da Utilização da Paisagem é a avaliação do modo como a terra está sendo utilizada em relação a sua aptidão. Para esta avaliação, os resultados dos estudos de aptidão da terra ou de seu Potencial Geobiofísico, gerados durante o processo de análise, têm que ser comparados com o seu uso atual. Para tanto faz-se necessário:

<sup>7</sup> Qualidade Ambiental e Riscos de Utilização são apresentados como sugestão, mas não serão contemplados no Estudo de Caso do Capítulo 6.

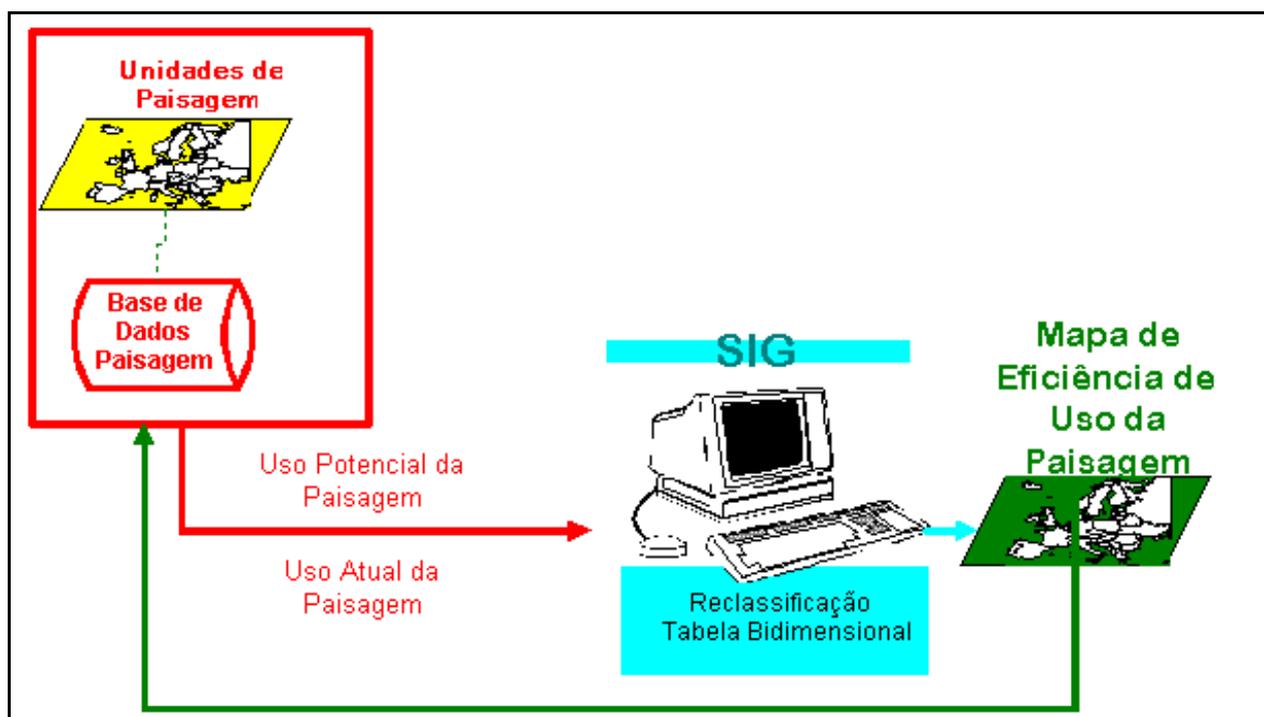


Figura 5.5.1.1 - Classificação da Paisagem de Acordo com a Relação: Uso Atual e Uso Potencial.

## 5.5.2. Estado Geoecológico da Paisagem

O Estado Geoecológico das Paisagens é dado por sua categorização em função da perda de sua capacidade produtiva pela modificação de seus atributos e propriedades essenciais ((MATEO, 1991); (QUINTELA, 1995)).

De acordo com (de la TORRE, 1988), a capacidade produtiva é a quantidade de biomassa ou energia que gera uma paisagem por unidade de superfície em um período determinado. Uma paisagem degradada, é aquela que perdeu sua capacidade produtiva (QUINTELA, *op.cit.*).

Normalmente, este aspecto é difícil de se determinar, em termos práticos, deve-se tentar medi-lo através de longos períodos de observação no campo. Entretanto, para fins de Ordenamento Territorial Geoecológico, pode-se estimar este parâmetro de forma teórica, através do estudo dos resultados da relação Potencial/Uso Predominante, ou seja, a Eficiência das Paisagens e sua comparação com a Vulnerabilidade das Paisagens. Este método foi utilizado por QUINTELA (*op.cit.*) em um estudo de caso em Cuba.

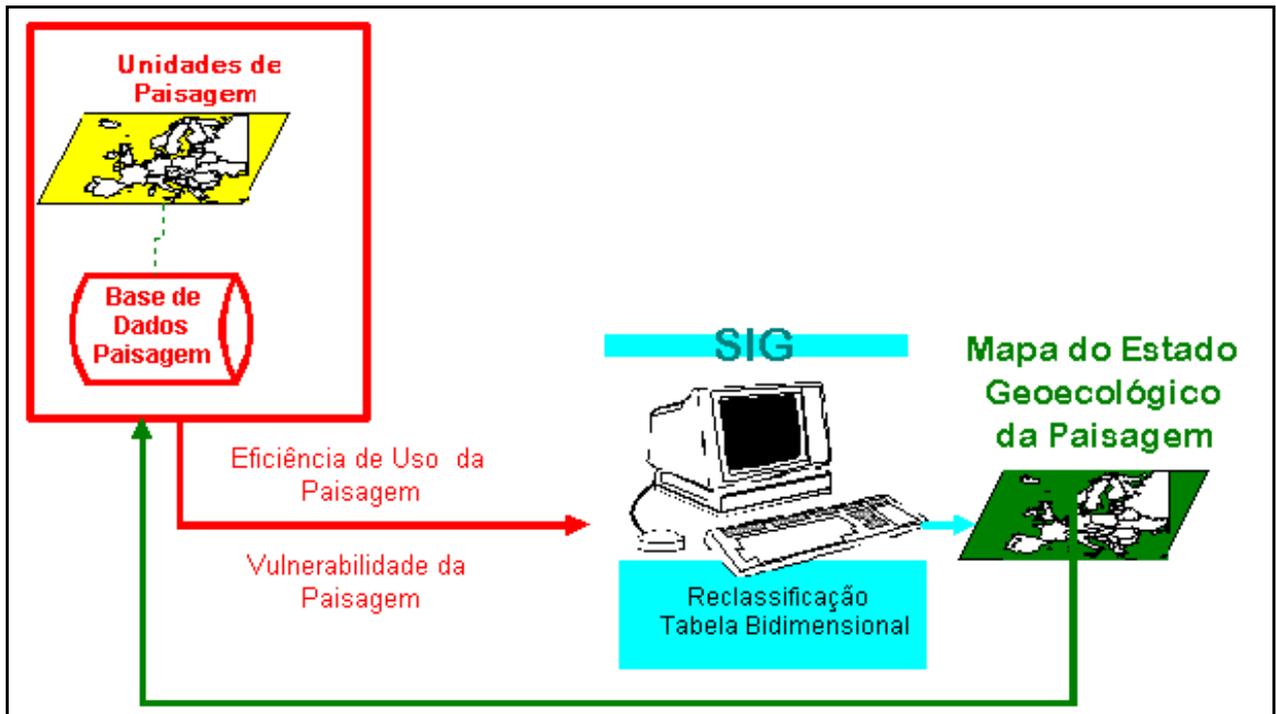
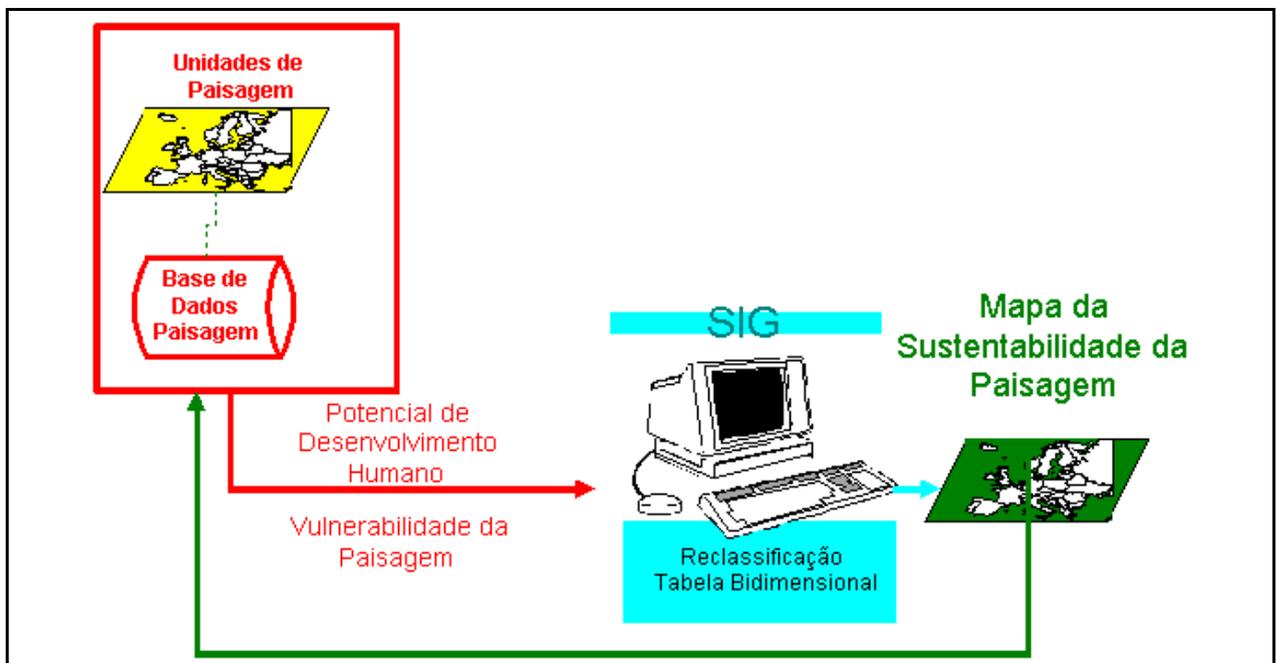


Figura 5.5.2.1 - Geração do Mapa de Estado Geoecológico.

### 5.5.3. Grau de Sustentabilidade<sup>8</sup>

O Grau de Sustentabilidade pode ser obtido através da combinação do Potencial de Desenvolvimento Humano com a Vulnerabilidade da Paisagem.



<sup>8</sup>Devido à falta de informação disponível para se gerar um Mapa de Potencial de Desenvolvimento Humano, esta análise será especificada, a fim de ser implementada por aqueles que disponham destas informações em suas áreas de trabalho, porém não será realizada durante o Estudo de Caso.

Figura 5.5.3.1 - Geração do Mapa de Sustentabilidade.

#### 5.5.4. Mapa Síntese

Um mapa síntese pode ser elaborado classificando-se a área em estudo de forma a contribuir, em termos de planejamento, com uma visão mais abrangente da região. Para tanto, utiliza-se as informações geradas nas fases de Análise e Diagnóstico da Paisagem e que compõe a base de dados georeferenciada gerada ao longo das etapas executadas, além de informações a cerca das áreas consideradas de uso restrito, de acordo com a legislação local.

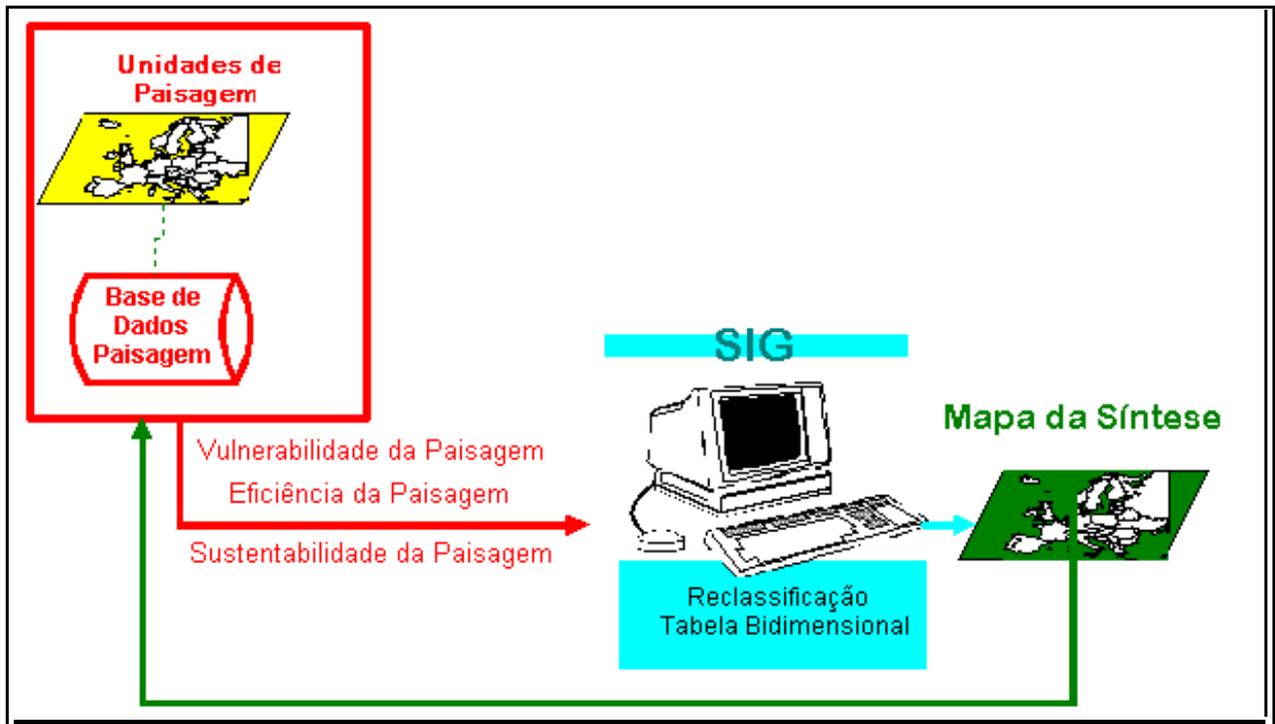


Figura 5.5.4.1 - Geração do Mapa Síntese.

A base de dados , neste momento, está apta a fornecer informações relevantes a um Zoneamento Ecológico-Econômico ( Potencial x Vulnerabilidade) e a fornecer subsídios ao Planejamento Regional, podendo-se prover informações referentes à localização espacial das seguintes classes:

Áreas Produtivas	Áreas Críticas	Áreas Institucionais
<b>Áreas de Consolidação</b>	<b>Áreas de Preservação</b>	<b>Áreas de Conservação</b>
<b>Áreas de Expansão</b>	<b>Áreas de Recuperação</b>	<b>Áreas de Uso Estratégico</b>

A definição destas zonas serve de subsídios às próximas etapas, já à nível de planejamento: elaboração de proposta de zoneamento ecológico-econômico, avaliação de cenários possíveis e desenvolvimento de instrumentos legais para o estabelecimento da normalização para o zoneamento, conforme ilustrado na Figura 5.5.4.2.

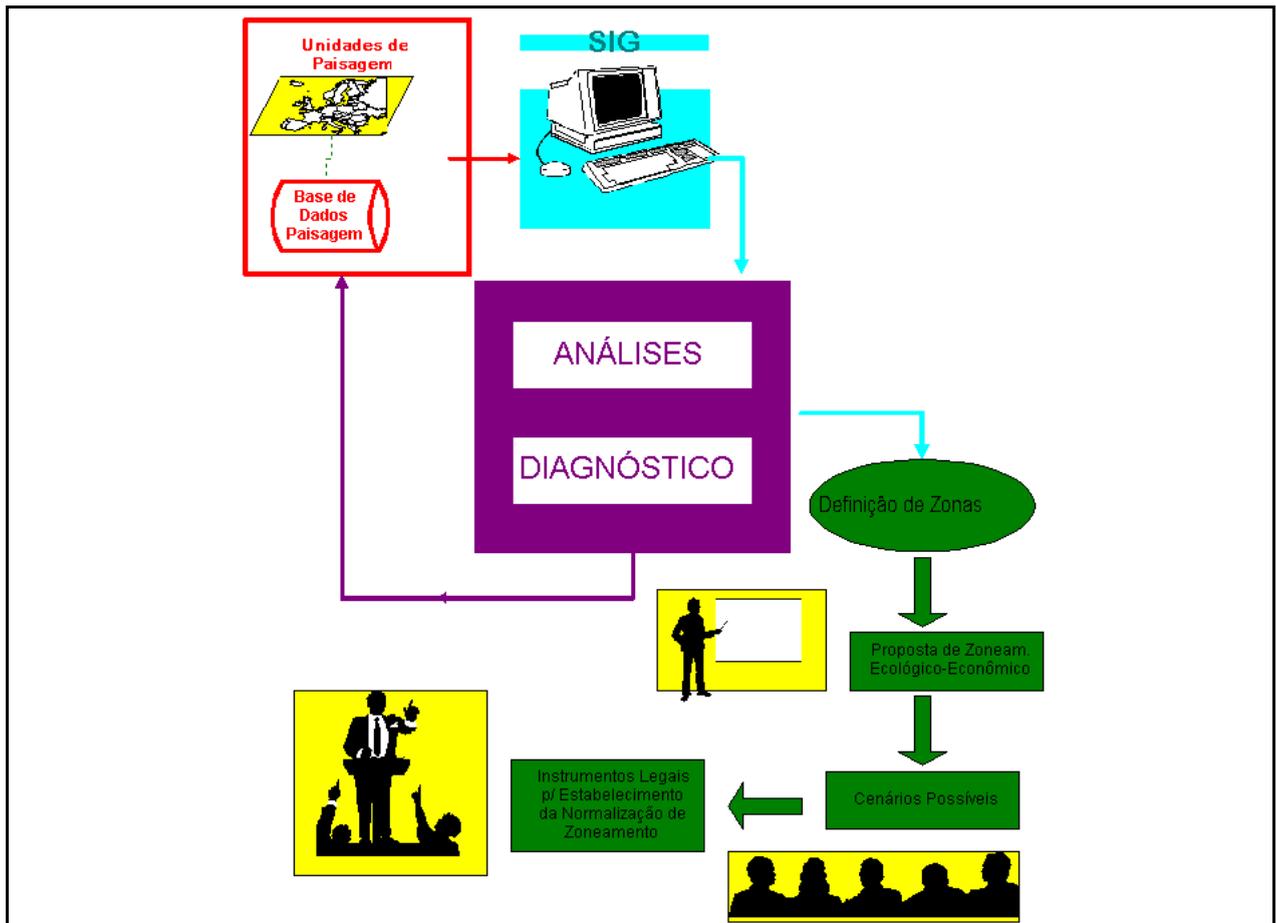


Figura 5.5.4.2 - O Zoneamento no Contexto do Planejamento Regional

---

## CAPÍTULO 6

### ESTUDO DE CASO

***O estudo de caso realizado visa aplicar os métodos propostos no Capítulo anterior a uma área piloto. A área escolhida foi a Bacia da Baía de Sepetiba, no Rio de Janeiro. Esta área é parte integrante do Projeto de Zoneamento Ecológico-Econômico do Estado do Rio de Janeiro.***

#### 6.1. ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO

O gerenciamento dos recursos da terra é uma forma de se obter o desenvolvimento sustentável. Segundo a FAO, três fatores exercem um papel importante no gerenciamento destes recursos:

- zoneamento,
- monitoramento da degradação;
- aprimoramento da legislação ambiental

O zoneamento realiza um papel muito importante como ferramenta para o planejamento.

O projeto de Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) do Estado do Rio de Janeiro (ZEE/RJ) é uma forma de auxiliar aos planejadores regionais a resolverem conflitos existentes em relação ao uso da terra e a implementarem um novo relacionamento entre a sociedade e a natureza baseado em uma nova forma de uso do ambiente.

O Objetivo do ZEE é fornecer aos tomadores de decisão informações técnicas que irá auxiliar na elaboração de um plano para a ocupação da terra. Esta ocupação deve ter como base aspectos econômicos, sociais, culturais e geoecológicos.

Três princípios devem ser considerados ( BECKER and EGLER, 1996):

- eficiência - através do uso da informação e da tecnologia para melhorar o processo de uso da terra;
- valorização das diferenças - através da identificação das vantagens de cada região
- descentralização - como sendo um novo processo para gerenciar os recursos da terra.

Formalmente, o Zoneamento Ecológico-Econômico pode ser definido como ( ZEE, 1996):

*... um instrumento técnico e político cuja finalidade é otimizar o uso do território e das políticas públicas. É um instrumento técnico de informação integrada sobre o território, classificando-o segundo suas potencialidades e vulnerabilidades. É um instrumento político de regulação do uso do território: favorece a integração de políticas públicas em uma base geográfica descartando o convencional tratamento setorizado e informatiza o processo de tomada de decisão contribuindo para a negociação entre várias esferas de Governo, e entre estas, o setor privado e a sociedade civil.*

---

*É, portanto, um instrumento ativo para o desenvolvimento sustentável, e não apenas um instrumento corretivo e restritivo como freqüentemente se pensa. E, embora pautado na identificação de zonas homogêneas, na verdade busca tirar partido da diversidade territorial, promovendo a compatibilidade sistêmica entre as zonas.*

O modelo que será utilizado como base para o ZEE não pode ser usado automaticamente de uma região a outra, porque este varia de acordo com as características de cada região. Cada estado, por exemplo, possui suas próprias características e recursos naturais, possui sua forma específica de uso e exploração da terra seja devido as suas características geobiofísicas, seja devido a razões econômicas, políticas ou até mesmo culturais.

Apesar do tipo de informação ou fenômeno modelado serem diferentes, os métodos utilizados para tratar ou modelar estas informações podem ser usados de uma região para a outra, desde que seja realizado um diagnóstico ou análise geobiofísico-sócio-econômico da região, para a identificação destes fenômenos e características. Por exemplo, numa dada região a vulnerabilidade deve ser estudada em termos dos processos erosivos, em outra em termos de inundação, em uma terceira, em termos de poluição, em uma outra de todos estes problemas reunidos. Qualquer que sejam as características da área estudada, o importante é estudá-la como um todo, identificar os fatores relevantes para a análise e modelá-la utilizando métodos para desenvolvimento de zoneamentos.

Este trabalho é uma tentativa de contribuição ao desenvolvimento destes métodos.

## **6.2. OBJETIVOS DO PROJETO DE ZONEAMENTO ECOLÓGICO-ECONÔMICO**

Os principais objetivos do Projeto ZEE são:

- identificar a estrutura e a dinâmica da situação atual e delimitar Unidades Ecológicas-Econômicas (interação entre os sistemas geobiofísico e sócio-econômico) e avaliá-las de acordo com suas potencialidades e vulnerabilidades.
- Identificar alternativa de uso das Unidades Ecológica-Econômicas - baseado nos seus potenciais e vulnerabilidades, considerando-se suas qualidades, as necessidades da sociedade e as prioridades do governo.
- Classificar em zonas, de acordo com suas capacidades ecológicas e sócio -econômicas e sua sustentabilidade. Estas áreas serão classificadas em (BECKER e EGLER, 1996):

### **☛ Áreas Produtivas:**

- Áreas de **Consolidação** - que poderão ser utilizadas para o desenvolvimento humano;
- Áreas de **Expansão** - a serem utilizadas para a expansão do potencial produtivo;

### **☛ Áreas Críticas:**

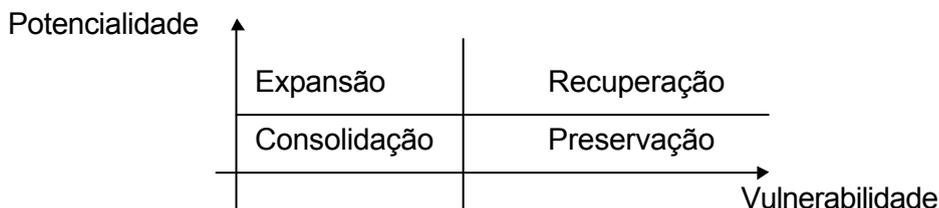
- Áreas de **Preservação** - devem ser preservadas devido a sua vulnerabilidade;
- Áreas de **Recuperação** - devem ser recuperadas: apesar do seu elevado grau de vulnerabilidade, possuem um alto potencial para desenvolvimento.

### **☛ Áreas Institucionais:**

- Áreas de **Preservação Permanente (Conservação)** - determinadas de acordo com a legislação (Parques Nacionais, Reservas Biológicas etc.);
- Áreas de **Uso Restrito** - tais como reservas indígenas;

- Áreas de **Uso Nacional Estratégico** - fronteiras nacionais.

A classificação das áreas produtivas, bem como das áreas críticas pode ser obtida através da análise da relação entre potencialidades e vulnerabilidades. Definição das áreas a serem utilizadas para:



Baseado na classificação acima, neste trabalho, definiu-se algumas *prioridades de gerenciamento da terra*.

	<b>Prioridades de Gerenciamento (zonas)</b>			
<b>Áreas:</b>	<b>Expansão</b>	<b>Consolidação</b>	<b>Preservação</b>	<b>Recuperação</b>
Produtivas	x	x		
Críticas			x	x
de Conservação			x	

Esta é a classificação final a qual se pretende chegar, baseado nas análises e diagnósticos realizados neste estudo de caso, e que contribuíram para a formação da base de dados georreferenciados da região.

### **6.3. PLANEJAMENTO REGIONAL E UNIDADES TERRITORIAIS INTEGRADAS**

O ZEE é um instrumento para o planejamento do uso da terra e redirecionamento de atividades. Ele é a base para a escolha de estratégias e ações para a elaboração de planejamentos regionais com base em um desenvolvimento sustentável.

Consequentemente, o ZEE é um instrumento de otimização de políticas espaciais e como tal:

- fornece informações integradas através da criação de uma base de dados geográfica;
- classifica as regiões de acordo com suas potencialidades e vulnerabilidades;
- é uma ferramenta para a realização de diagnósticos das regiões.

O diagnóstico ambiental deve considerar uma abordagem integrada de recursos naturais, sociais e econômicos. A paisagem deve ser analisada como uma interação dinâmica de recursos naturais e fatores sócio-econômicos.

O planejamento do uso da terra é essencial durante o processo de desenvolvimento econômico, sem planejamento e intervenções na distribuição dos setores de desenvolvimento, provavelmente problemas de desenvolvimento econômico regionais irão ocorrer.

Normalmente no Brasil, o desenvolvimento econômico se dá sem um planejamento do uso da terra e dos recursos naturais. Isto causa problemas de desenvolvimento, tais como: crescimento desbalanceado, disparidade de renda, redução da qualidade da água, entre outros problemas ecológicos, econômicos e sociais.

---

O ZEE será usado como primeiro passo ao desenvolvimento do uso da terra. Este zoneamento engloba duas dimensões: a ecológica, que reflete limitações e potencialidades do uso sustentável de recursos naturais, e a econômica, que expressa o desenvolvimento de comunidades que vive ou usa a região ou zona.

A definição de zonas ecológicas-econômicas deve se basear numa metodologia integrativa, de tal forma que os aspectos econômicos assim como os ecológicos possam ser considerados simultaneamente baseados numa abordagem holística ((SIMÕES et al., 1994a) , (SIMÕES and SANTOS, 1994b) e (SIMÕES and SANTOS, 1995c)).

De acordo com a FAO (1995, Capítulo 10 - Agenda 21), o planejamento de uso e gerenciamento da terra é uma maneira eminentemente prática para se obter um uso mais efetivo e eficiente da terra e de seus recursos naturais. Esta integração deve se dar em dois níveis: considerando-se por um lado todos os fatores ambientais, sociais e econômicos e por outro todos os componentes ambientais e seus recursos naturais juntos.

As unidades territoriais, conforme abordado anteriormente, são entidades geográficas contendo atributos que permitem uma diferenciação entre elas porém possuindo, ao mesmo tempo, conexões dinâmicas.

Unidades de Paisagens possuem contiguidade espacial e são geo-referenciadas. Podem, portanto, ser analisadas a fim de se verificar seu uso atual, bem como seus potenciais e suas vulnerabilidades.

É importante, entretanto, ter-se uma atualização permanente das informações reunidas, especialmente para o subsequente processo de monitoramento. Isto implica na utilização de Sistemas de Informação Geográfica, que realizam um papel essencial como ferramenta para a abordagem integrada, permitindo o estabelecimento de relacionamentos espaciais entre informações temáticas geo-referenciadas.

Baseado em tudo que foi discutido ao longo deste trabalho e, o evidente casamento desta discussão com as características deste estudo de caso, unidades de paisagem serão utilizadas como porções elementares para este estudo, fornecendo informações para o processo de análise e diagnósticos no projeto de Zoneamento Ecológico-Econômico, utilizando-se como ferramenta um Sistema de Informação Geográfica.

#### **6.4. O ESTADO DO RIO DE JANEIRO NO CONTEXTO DO ZEE<sup>9</sup>**

A diversidade é uma característica básica do Estado do Rio de Janeiro, seja em termos de paisagens naturais, seja de atividades econômicas, da origem geográfica da população, da desigual distribuição de renda e da qualidade de vida. Especialmente contrastam a grande concentração metropolitana e unidades regionais diferenciadas no planalto, na serra, na baixada e na orla marítima.

Se a combinação serra/baixada/metrópole/indústria no padrão de desenvolvimento vigente, tem contribuído para caracterizar o Estado como um dos que apresentam maior risco ambiental na zona costeira, a sua diversidade natural e social apresenta grandes potencialidades a serem viabilizadas numa política de desenvolvimento que compatibilize os componentes ambientais e a dinâmica sócio-econômica.

Ademais, não menos importante é a inserção do Estado no Programa de ZEE do Território Nacional, que representa não apenas o estreitamento de relações com a União mas, também, a possibilidade de conceber e implementar ações em parceria com os Estados vizinhos - São

---

<sup>9</sup>Este conjunto de conceitos foram apresentados em ZEE(1996)

---

Paulo, Minas Gerais e Espírito Santo - numa escala mais abrangente, capaz de torná-las mais eficazes.

O ZEE deve ser entendido como o resultado da análise da distribuição espacial dos fatos e processos do meio físico, biótico e sócio-econômico de um determinado território, permitindo caracterizar zonas mais ou menos “homogêneas” quanto aos potenciais ecológico-econômicos, e restrições ambientais.

Assim, a execução do ZEE deve seguir uma abordagem interdisciplinar, considerando, segundo uma hierarquia de escalas espaciais e temporais, a estrutura e dinâmica do sistema ambiental, e uma visão sistêmica, que analise as relações de causa/ efeito entre os componentes do sistema ambiental, estabelecendo as interações entre os mesmos.

O esclarecimento da finalidade do ZEE constitui a questão central da operacionalização da metodologia, orientando a definição das unidades territoriais básicas de informação e gestão, dos indicadores e a própria capacitação das equipes estaduais.

O ZEE, portanto, não é um fim em si, nem mera divisão física, e tampouco visa criar zonas homogêneas e estáticas cristalizadas em mapas. Trata-se sim, de um instrumento técnico e político do planejamento das diferenças, segundo critérios de sustentabilidade, de absorção de conflitos, e de temporalidade, que lhe atribuem o caráter de processo dinâmico capaz de agilizar a passagem para o novo padrão de desenvolvimento. A economia de tempo na execução reside justamente no fato de descartar o tratamento setorial das políticas públicas, partindo de contextos geográficos concretos, neles implementando políticas já territorialmente integradas; de ampliar a escala de abrangência das ações que passam a ser zonas, e não mais pólos pontuais; de favorecer a competitividade sistêmica entre as zonas.

## **6.5. ÁREA DE ESTUDO<sup>10</sup>**

As diferenciações regionais do Estado, grosso modo, são conhecidas. Tendo em vista o projeto de implantação do Porto de Sepetiba e a dinamização que trará ao Estado, foi priorizada para o ZEE a área da Bacia Hidrográfica convergente para a Baía de Sepetiba. A abrangência dos estudos extrapola a área cartografada em função da influência das atividades do Porto, que não tem limite físico determinado.

A bacia de Sepetiba ocupa uma área de cerca de 2.000 km<sup>2</sup>, correspondendo a cerca de 4,4% da área do Estado do Rio de Janeiro. O critério para a delimitação da bacia foi estabelecido pelo Laboratório de Geo-Hidroecologia (GEOHECO), a partir da linha de cumeada dos morros da Serra do Mar onde nascem os rios que deságuam na baía de Sepetiba, formando a bacia de drenagem do rio Guandu. De acordo com esse critério, a oeste, somente uma parcela muito pequena dos municípios de Rio Claro e Pirai estão incluídos, diferenciando-se do critério estabelecido pela FEEMA, que considera como parte da bacia a área de Ribeirão de Lajes, em função da interligação artificial com a bacia do rio Guandu.

Os rios que nascem na Serra do Mar são responsáveis pela formação de uma extensa planície entremeada por brejos, o que exigiu obras de retificação de muitos deles e a construção de canais de drenagem, como o São Francisco, o Itá e o Pedro II.

---

<sup>10</sup> A descrição da área de estudo aqui apresentada foi obtida a partir do Relatório de Diagnóstico Ambiental da Bacia da Baía de Sepetiba (ZEE, 1996)

---

Em linhas gerais, a Baixada de Sepetiba pode ser caracterizada como área de “fronteira metropolitana”. Nas últimas décadas, o povoamento tem se dado em função do crescimento dos anéis suburbanos em torno da metrópole do Rio de Janeiro, intercalando manchas densamente ocupadas com um processo de urbanização diluído em meio a projetos imobiliários a espera de valorização.

O fato de ser cortada por eixos de circulação que articulam São Paulo e Minas Gerais ao Rio de Janeiro confere a esta sub-região uma posição estratégica. No entanto, essa posição estratégica é definida por grandes pólos urbano-industriais localizados fora da Baixada de Sepetiba (Rio de Janeiro, São Paulo, Minas Gerais), o que tem induzido a formulação de planos de desenvolvimento que a concebem como uma espécie de *zona de passagem* e não como *unidade ambiental*. O fato de se ter tomado como base do Diagnóstico da Bacia Hidrográfica da Baía de Sepetiba é o reconhecimento de que qualquer plano de desenvolvimento, principalmente o atual plano, focalizado na expansão do Porto de Sepetiba, deve tomar como base espacial de referência a unidade ambiental da Bacia.

De acordo com o critério de delimitação adotado, a Bacia abrange total ou parcialmente os seguintes municípios: Itaguaí, Japeri, Queimados, Paracambi, Eng. Paulo de Frontin, Mangaratiba, Miguel Pereira, Nova Iguaçu, Piraí, Rio de Janeiro, Rio Claro e Vassouras.

Para um maior detalhamento sobre as características da área de estudo, bem como sobre os métodos utilizados e as informações obtidas para a elaboração do Diagnóstico Ambiental da Bacia da Baía de Sepetiba, remeto o leitor a ZEE(1996).

## **6.6. DEFINIÇÃO DE ESCALA**

A escala de trabalho da área de estudo está relacionada com o nível de levantamento e tratamento analítico das variáveis selecionadas por temas. Estas variáveis foram usadas na construção das cartas temáticas do Diagnóstico Ambiental da Bacia da Baía de Sepetiba (ZEE, 1996), alguns destes mapas temáticos foram usados como dado de entrada para a realização deste trabalho.

Embora grande parte dos dados coletados estejam compatíveis com a escala 1:100 000, neste trabalho a representação cartográfica foi adequada ao tamanho A4, tendo em vista a facilidade de manuseio das cartas temáticas aqui apresentadas.

## **6.7. DESCRIÇÃO DAS ETAPAS METODOLÓGICAS PARA ÁREA DE ESTUDO**

A descrição das etapas metodológicas realizadas para o estudo de planejamento a nível regional, que poderá ser utilizado como subsídios na elaboração de Zoneamentos Ecológico-Econômicos, foi realizada a partir da metodologia proposta no Capítulo 5 desta dissertação, e aplicado, à área piloto da Bacia da Baía de Sepetiba, tomando-se por base as informações geradas por ocasião da elaboração do Diagnóstico Ambiental daquela Bacia (ZEE, 1996).

O Sistema de Informação Geográfica utilizado foi a versão 1.4 do *ILWIS -The Integrated Land and Water Resource System*, desenvolvido pelo ITC - *International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences*, Enschede - Holanda.

Os mapas utilizados como base para a elaboração das etapas metodológicas ora apresentadas, bem como os Mapas Derivados das Análises e Diagnósticos da Paisagem encontram-se no Anexo.

---

### 6.7.1. Fase 1 - Inventário: Geração do Mapa Geoecológico ou de Paisagens

Para a geração dos domínios geoecológicos, utilizou-se como parâmetros: compartimentação topográfica, geologia, solos e uso do solo. (Mapas Básicos MB1, MB2, MB3 e MB4, apresentados no Anexo)<sup>11</sup>.

Os mapas temáticos utilizados foram previamente trabalhados individualmente, sofrendo as generalizações que lhes foram pertinentes, pela equipe do GEOHECO/UFRJ, por ocasião da execução do Diagnóstico Ambiental da Bacia da Baía de Sepetiba, conforme descrito anteriormente.

Procedeu-se, então ao cruzamento dos temas dois a dois. As seguintes combinações foram realizadas, numa primeira etapa:

- i) solo x topografia
- ii) solo x geologia
- iii) geologia x topografia

Após a análise da tabela resultante do cruzamento de cada dois temas e, sua devida edição, em função da análise do seu significado geométrico, temático e integrativo, procedeu-se o cruzamento do mapa de associação gerado com o terceiro tema ainda não utilizado, ou seja:

- i) (solo x topografia) x geologia
- ii) (solo x geologia) x topografia
- iii) (geologia x topografia) x solo

Este conjunto de combinações foi efetuado, a fim de se verificar se a ordem de cruzamento dos temas teria alguma influência na geração do mapa de associação final. Constatou-se, então, que o trabalho é subjetivo e depende da interpretação dada pelo geoecologista. Na verdade, um trabalho analítico-integrativo é realizado nesta fase, portanto, se o conjunto de regras utilizadas pelo geoecologista, durante a sua análise, for mantida não haverá uma diferença significativa na geração dos domínios em função da ordem de elaboração dos cruzamentos.

Finalmente, após a análise da tabela resultante do cruzamento destes três temas e, sua devida edição, em função da análise do seu significado geométrico, temático e integrativo, procedeu-se o cruzamento do mapa de associação gerado com o quarto tema ainda não utilizado, ou seja, o uso do solo.

As tabelas geradas para cada combinação encontram-se apresentadas no Anexo.

Verificou-se que, na geração dos domínios geoecológicos ou das paisagens, os maiores problemas de incoerência encontrados ao se analisar a tabela de cruzamento, provém da falta de uniformidade nos limites de cada tema. Alguns dos problemas encontrados foram:

No estudo de caso, observa-se que a delimitação das áreas com desnivelamentos > 100m, não coincide com os limites adotados no mapa de solos, conseqüentemente as áreas de baixada do mapa de solos “invadem” as áreas com desnível do mapa de compartimentos topográficos, o que faz com que no mapa resultante do cruzamento, encontre-se solos de baixada (glei, planossolo, solos aluviais) em áreas de topografia elevada e vice-versa, ou seja, solos de área elevadas na baixada (latossolo em baixada). Isto pode ser observado na tabela (Tabela T1)

---

<sup>11</sup>Os mapas utilizados como base para a definição destes parâmetros foram obtidos a partir do Relatório do Diagnóstico Ambiental da Bacia Hidrográfica da Baía de Sepetiba (ZEE,1996).

---

obtida no cruzamento (*GIS Cross Operation*): Solo x Compartimento Topográfico. O mesmo problema pode ser observado no cruzamento Litologia x Compartimentos Topográficos, onde uma área de sedimentos fluvio-marinhos pode ter seu limite invadindo, o que no mapa de compartimentos topográficos equivale a desníveis de 200-400m, 400-600m etc.

Além dos problemas de limite existe, também, o problema do grau de generalização dado a cada mapa temático, por ocasião da sua confecção. Por exemplo, o mapa de solos, pode apresentar uma área considerada uniforme de cambissolo, por exemplo, como ocorre na ponta da restinga de Marambaia, o que trará uma certa incoerência com o mapa de compartimentos topográficos que considera a delimitação de uma pequena área de baixada, muito provavelmente desconsiderada na geração do mapa de solos, ou seja, houve um grau de generalização diferente na confecção destes mapas. Além disto, no estudo de caso, observa-se, também, que algumas colinas consideradas no mapa de compartimentos topográficas, não foram consideradas no mapa de solos (que possuía um grau de generalização maior), conseqüentemente, no mapa resultante do cruzamento, encontram-se áreas de colinas classificadas com solos de áreas de baixada, como por exemplo: gley em colinas.

Isto se deve às diferentes escalas consideradas nas bases, por exemplo: o mapa de solos foi confeccionado em 1:250.000, adaptado a 1:100.000 sem as devidas conferências de campo. Já o mapa de compartimentos topográficos foi confeccionado em 1:50.000 adaptado para 1:100.000, sendo, portanto, bem mais preciso. Os mapas devem, portanto, ser confeccionados originalmente numa mesma escala.

Por outro lado, os mapas devem evitar conter informações relativas a outros mapas, por exemplo, o mapa de solos não deveria mapear as áreas urbanas, e sim o solo ali existente. No estudo de caso os limites definidos como área urbana no mapa de solos não coincidem, por exemplo, com os limites de área urbana definidos no mapa de uso do solo.

Todas estas incoerências podem ser observadas ao se analisar a tabela resultante do cruzamento e os domínios podem ter seus atributos alterados dentro do ambiente SIG, obtendo-se domínios georeferenciados e tendo como atributos classes coerentes, o que faz com que a base de dados se ajuste, através da geração destes domínios.

Além deste ajuste, pode-se proceder integreações, gerando-se famílias de classes, por exemplo: pode-se agregar como granitos, as seguintes classes de geologia: granitos + granitóides + granito Rio Turvo.

Desta forma, procede-se uma integração das classes que compõem os domínios, diminuindo-se ainda mais o número de domínios formados através do cruzamento, mantendo-se a coerência das relações com os demais parâmetros frente ao objetivo final e à escala de referência final.

As seguintes generalizações foram realizadas na geração das unidades geocológicas, conforme sugerido pela equipe do GEOHECO/UFRJ (ZEE,1996):

- granitos = granitos + granitóides + granito Rio Turvo
- desnivelamento > 600 m = para as classes de compartimento topográfico 600-800m e > 800m
- desnivelamento 200-400 m = para as classes de comp. topográfico 200-400m e 400-600m
- planossolo + glei = aglutinação dos solos das baixadas

Devido a necessidade destes ajustes na base de dados, o método de cruzamento totalmente automatizado, sem a interferência do especialista, gera mapas repletos de ruídos e sem significado algum. Isto se deve ao fato do número excessivo de categorias em cada base temática produzir um elevado número de domínios, dificultando o entendimento destes domínios pelos usuários de diferentes especialidades.

---

Da mesma forma, o cruzamento simultâneo de diversos temas para uma posterior análise, também tornará difícil a interpretação das tabelas e a análise dos erros advindos da espacialização (limites entre classes) e da generalização das mesmas. O ideal é que se cruzem temas dois a dois, analisando os resultados parciais.

### **6.7.1.1. Avaliação das Formas de Cruzamento de Mapas Temáticos para a Geração de Unidades da Paisagem:**

#### **☛ Caso 1: Cruzamento de dois temas de cada vez:**

- observa-se a geração de unidades com características incoerentes, ou seja, sem interpretação geográfica, tais como: solos de baixada em áreas de declive acentuado ou vice-versa. Isto se deve aos seguintes motivos:

i) o nível de generalização dado a um determinado tema (por exemplo solo) é diferente do nível de generalização dado na criação do outro tema (compartimentos topográficos). Isto é muito comum, já que os mapas advêm de fontes diferentes.

ii) os limites demarcados na confecção de um tema não coincidem com os limites fornecidos na confecção do outro tema.

iii) os limites digitalizados podem sofrer pequenas modificações - erro de digitalização

iv) o fornecimento das classes dos temas dentro do ambiente SIG pode sofrer alguma alteração - erro de fornecimento de atributos SIG

#### **☛ Caso 2: Cruzamento (*cross operation*) de todos os temas ao mesmo tempo:**

- gera-se um mapa extremamente fragmentário: no estudo de caso ao se cruzar três temas simultaneamente, foram obtidos 227 domínios, enquanto o cruzamento dois a dois forneceu 54 domínios para análise

- dificulta a interpretação e integração de unidades, pois está-se trabalhando com legendas de três ou mais níveis de informação

- está sujeito a todos os erros expostos no caso 1, porém em proporções ainda maiores, pois está-se trabalhando com diversos mapas simultaneamente, todos passíveis de erros.

- fica difícil concluir se o erro advém de incoerências no cruzamento dos dois primeiros temas (por exemplo: mapa de solos em relação ao mapa de comp. topográfico) ou do segundo com o terceiro e assim por diante, como consequência, torna-se difícil a identificação do tema a ser alterado para minimizar os erros que surgirão com o cruzamento

- cruzando-se todos os temas simultaneamente, a ordem em que se considera estes temas não traz alterações ao resultado final .

### **6.7.1.2. Contribuição dos Sistemas de Informação Geográfica no Processo de Geração de Domínios**

- Elabora o cruzamento inicial automaticamente - facilita o trabalho lento e desgastante de geração do cruzamento através de superposição manual na mesa de luz

- Por alimentar uma base de Dados permite que sejam feitas consultas, localizando os domínios duvidosos e fornecendo as classes que lhes deram origem. Isto auxilia a interpretação do tipo de erro que está ocorrendo.

- Possui funções estatísticas fornecendo a área e o número de pixel de cada domínio gerado. Isto facilita uma primeira interpretação, pois tem-se uma idéia se o domínio absurdo ocupa uma

---

área grande ou pequena, o que facilita a dedução das áreas de interface (erros de delimitação de domínios)

- Permite a alteração dos domínios considerados incoerentes, através da edição do seus atributos. Isto faz com que o resultado do primeiro cruzamento seja em grande parte melhorado, o que fará com que o próximo cruzamento (cruzamento do terceiro tema com o resultado do cruzamento dos outros dois) forneça resultados com menos ruídos. Desta forma, os domínios finais já se apresentarão mais coerentes e o número de alterações será menor.

Conclui-se, portanto, conforme descrito na metodologia apresentada no Capítulo anterior e ratificada através deste estudo de caso, que os Sistemas de Informação Geográfica devem ser utilizados como ferramenta para a elaboração dos cruzamentos que deverão sofrer a análise e intervenção do especialista e nunca como uma ferramenta de geração automática de domínios geoecológicos ou de Mapas de Paisagem. Os SIGs servem também para a geração de uma base de dados tendo os domínios como unidade de acesso e que poderão sofrer análises para a geração de informações derivadas e de interesse a nível de planejamento regional.

O fluxograma metodológico da Fase de Inventário para o Estudo de Caso da Bacia da Baía de Sepetiba é:

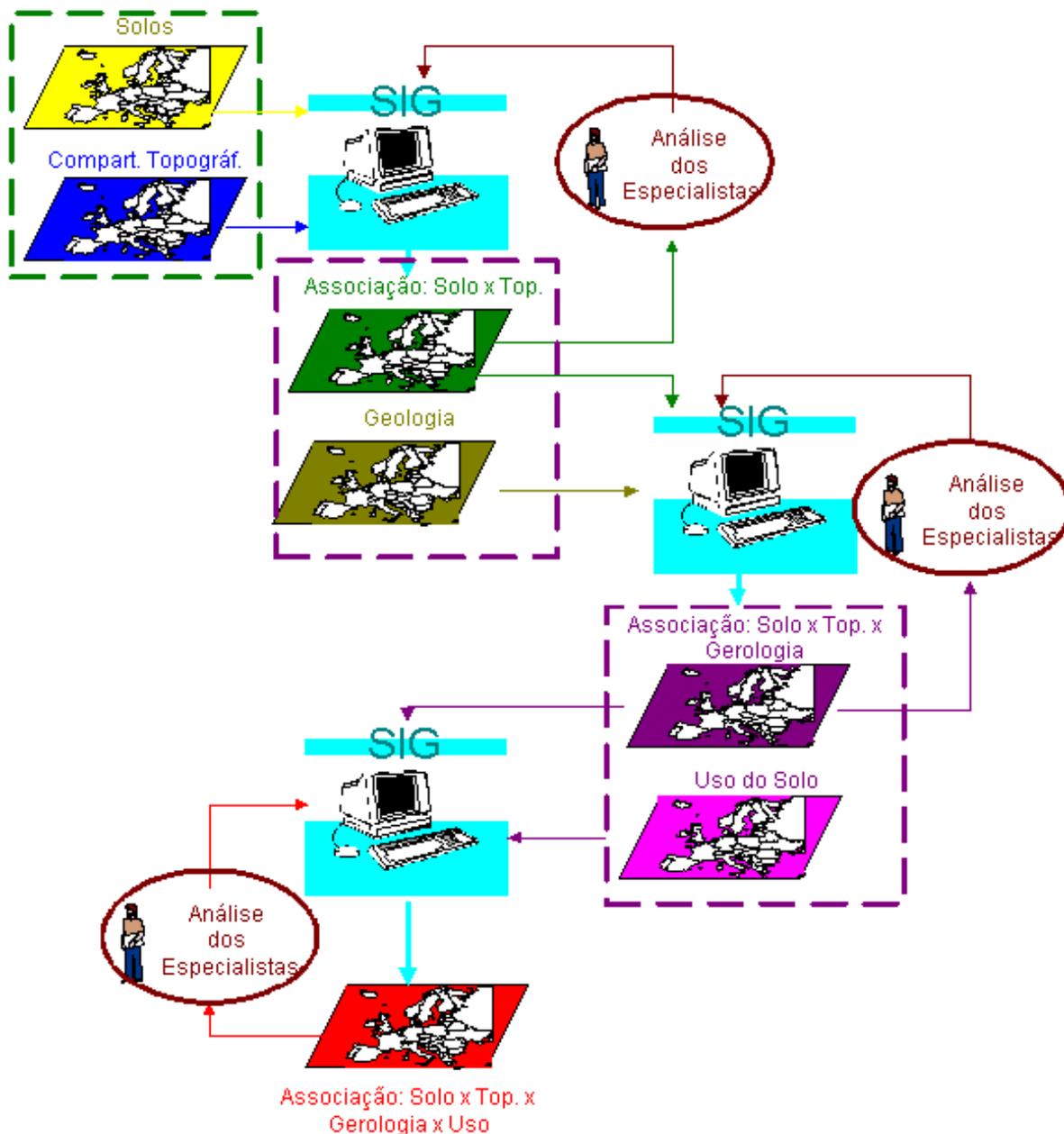


Figura 6.7.1.2.1 - Fluxograma metodológico da Fase de Inventário

## 6.7.2. Fase 2 - Análise

### 6.7.2.1. Vulnerabilidade ou Sensibilidade das Paisagens

Seguindo a metodologia proposta no Capítulo anterior, para a análise da vulnerabilidade das paisagens deve-se seguir o apresentado na Figura 6.7.2.1.1.

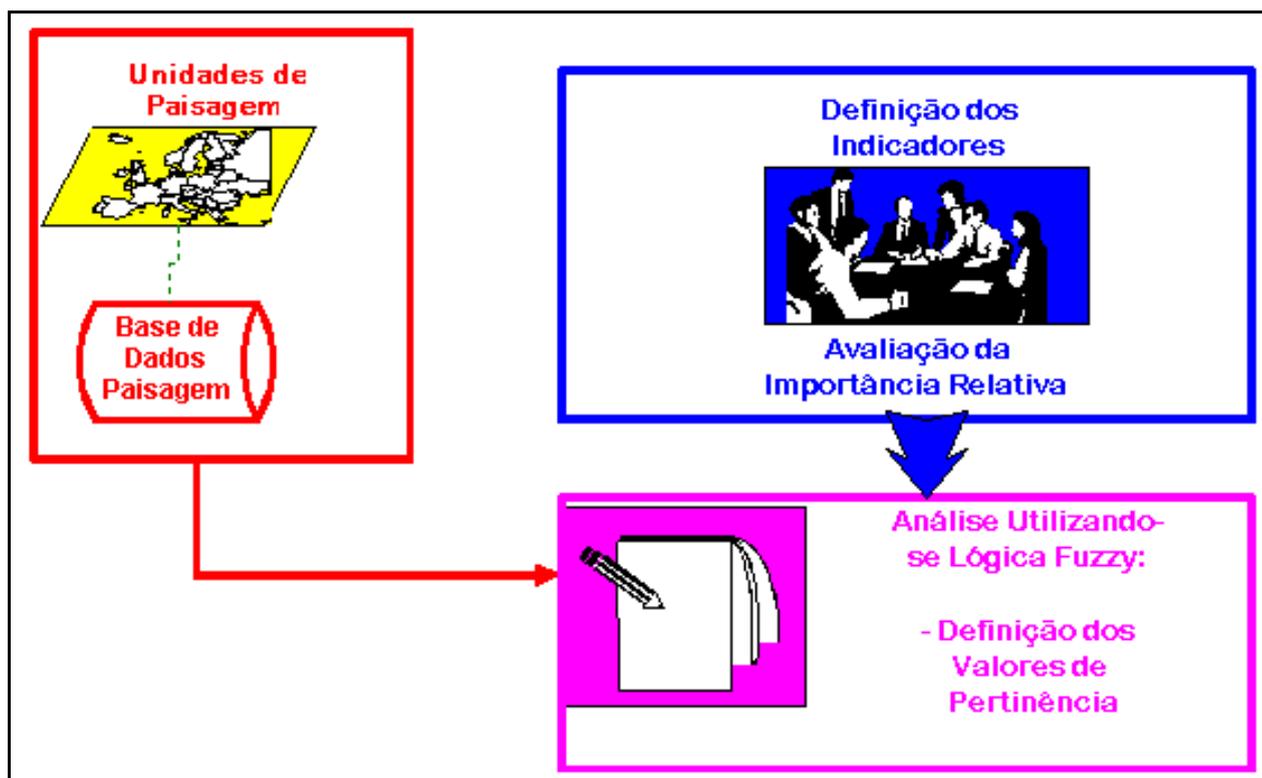


Figura 6.7.2.1.1. - Definição de indicadores de vulnerabilidade e sensibilidade.

#### 6.7.2.1.1. Indicadores de Vulnerabilidade

Para a obtenção dos indicadores apresentados abaixo, além dos temas envolvidos na geração dos domínios geiofísicos obtidos anteriormente (solo + geologia + compartimentação topográfica, + uso do solo), informações provenientes de outros mapas temáticos foram consideradas, tais como: balanço hídrico anual, classificação climática de Koppen e vegetação/uso<sup>12</sup>, além de fatores sócio -econômicos.

Para tanto, a partir dos resultados obtidos no Diagnóstico sobre a Qualidade Ambiental da Bacia da Baía de Sepetiba realizado por COELHO NETTO e MACHADO (Capítulo 4, In: ZEE, 1996), procurou-se extrair fatores e aspectos sócio -econômicos e geiofísicos que poderão ser utilizados como possíveis indicadores na avaliação da vulnerabilidade das paisagens. Desta forma, a vulnerabilidade pode ser avaliada dentro de um ambiente sistêmico, agregando este conjunto de informações, suas atuações e considerando-se a influência de uma dada localização nas áreas vizinhas. O quadro abaixo, utiliza a sub-bacia como unidade de referência espacial, conforme sugerido por COELHO NETTO et al. (ZEE, 1996).

<sup>12</sup>Os mapas de vegetação/uso, assim como os mapas de balanço hídrico anual (S2) e de classificação climática de Koppen (S1) originários de fontes da SERLA/INMET e organizados pela equipe do GEOHECO/UFRJ, apresentados no relatório de Diagnóstico Ambiental da Bacia da Baía de Sepetiba, encontram-se ao final deste Capítulo.

Sub-bacia	Indicadores: sócio -econômicos e geobiofísicos	Conseqüências
I - Rio Piraquê	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nas cabeceiras de drenagem: degradação da cobertura vegetal</li> <li>- baixa infra-estrutura urbana (rede de esgoto, coleta de lixo)</li> <li>- Ao longo Rio-Santos: possibilidade de criação de ZUPIS e ZEIS<sup>13</sup></li> <li>- ambiente climático Aw, totais anuais de deficiência hídrica &gt; 50 mm</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- aumento das taxas de erosão e assoreamento à jusante</li> <li>- deposição na área da Baía de Sepetiba com agravamento da situação dos manguesais</li> <li>- mudanças na dinâmica das descargas líquidas, sólidas e solúveis exportadas para a baía através do sistema fluvial</li> <li>- impulsos energéticos potencialmente baixos ⇒ fragilidade na sustentação da biodiversidade</li> </ul>
II - Rio Guandu Mirim	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ambiente climático Aw com temperaturas elevadas e maiores deficiências hídricas de todo o sistema hidrográfico da bacia</li> <li>- densa ocupação urbana (com malhas e ruas asfaltadas ou não) e industrial, cortadas por grandes eixos de circulação (Av. Suburbana e Av. Brasil)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- favorece ao escoamento e erosão superficial ⇒ descarga dos rios é rápida em relação à chuva ⇒ área sujeita a inundação</li> <li>- áreas construídas funcionam como superf. impermeáveis, intensificando o escoamento superficial e agravando os problemas de enchentes</li> </ul>
III - Rio Cabuçu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- condições climáticas AW com deficiências hídricas</li> <li>- vegetação altamente degradada devido às fortes pressão urbanas (Distritos de Nova Iguaçu e Queimados)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- enchentes</li> </ul>

<sup>13</sup>ZUPIS = Zonas de Uso Predominantemente Industrial e ZEIS = Zonas de Uso Estritamente Industrial

Sub-bacia	Indicadores: sócio -econômicos e geobiofísicos	Conseqüências
IV - Rio Queimados	<p>i) Distritos: Cavas, Nova Iguaçu, Japeri e Queimados</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- vegetação altamente degradada devido a fortes pressões urbanas</li> </ul> <p>ii) Cabeceira do Rio Queimados</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- alta energia potencial (forte grad. Topográfico)</li> <li>- elevados índices de precipitação anual</li> <li>- balanço hídrico com excedentes anuais superiores a 50 mm</li> <li>- possui cobertura vegetal preservada (reserva do Tinguá)</li> </ul> <p>iii) Porção Média Inferior</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Colinas sob forte pressão de áreas construídas = terrenos com cobertura vegetal degradados</li> <li>- condições precárias de infraestrutura básica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- enchentes</li> <li>- estabilidade dos materiais do solo ( não propício à erosão)</li> <li>- escoamento e erosão superficial nas colinas, provocando assoreamento e enchentes nas baixadas</li> <li>- propaga efeitos das enchentes ao longo do Vale do Rio Guandu</li> </ul>
V - Rio São Pedro	<p>i) Domínio Serrano do Tinguá</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- encostas íngremes, forte potencial</li> <li>- cobertura de matas bem preservada</li> <li>- regime climático Cf - clima mesotérmico e chuvoso</li> </ul> <p>ii) Baixo Vale</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ocupação humana ainda incipiente</li> <li>- cobertura vegetal foi substituída por gramíneas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- estável quanto à erosão</li> <li>- pouca probabilidade de ocorrência de problemas de inundação e assoreamento</li> </ul>

Sub-bacia	Indicadores: sócio -econômicos e geobiofísicos	Conseqüências
VI - Rio Santana	<ul style="list-style-type: none"> <li>- altos níveis de desnivelamento topográfico - alta energia potencial</li> <li>- cobertura vegetal degradada</li> <li>- processo de turismo / rurbanização</li> <li>- boa infra-estrutura</li> <li>- bom índice de escolaridade</li> <li>- boa qualidade de vida⇒ atraindo pessoas de baixa renda para trabalhos no setor de serviços</li> <li>- avanço sobre encostas íngremes (moradia da população de baixa renda) ⇒ devastação de florestas ⇒ aumento das coberturas de gramíneas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- fortemente dissecada</li> <li>- intensificação da erosão nas encostas</li> <li>- aporte de detritos de solos e rochas para os fundos de vales ⇒ assoreamento</li> </ul>
VII - Alto-Guandu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- cobertura vegetal degradada (predomínio de gramíneas)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- zona produtora de sedimentos fluviais p/ o Vale do Médio Rio Guandu</li> </ul>
VIII - Valão dos Bois	<ul style="list-style-type: none"> <li>- área predominantemente de baixada</li> <li>- recortada por ampla rede de canais e vias de circulação</li> <li>- proximidade com litoral e baixa declividade</li> <li>- infra-estrutura precária (inst. sanitária e lixo)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- forma pontos críticos, favoráveis ao transbordamento das águas fluviais</li> <li>- propicia a ocorrência de enchentes</li> <li>- contribui com o problema da enchente e propicia a difusão de doenças.</li> </ul>

Sub-bacia	Indicadores: sócio -econômicos e geobiofísicos	Conseqüências
IX - Mazomba	<p>I) Alto e Médio Vale</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- elevados níveis de precipitação</li> <li>- forte energia potencial (gradientes elevados)</li> <li>- avançado estágio de degradação da cobertura vegetal</li> <li>-predominância de solos pouco espessos e disponibilidade de blocos de rocha metaígneas</li> </ul> <p>ii) Baixo Vale:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- sofre expansão urbana do núcleo de Itaguaí</li> <li>- área cruzada por estrada (Rio-Santos) e pelo ramal ferroviário litorâneo</li> <li>- área coletora de sedimentos do alto e médio vale</li> <li>-pontos mais críticos: interseção dos canais com eixos de circulação</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- alta susceptibilidade à erosão</li> <li>- vulnerável à ocorrência de altas taxas de assoreamento e enchentes</li> <li>- expansão urbana no sentido da vale do Mazomba, apesar de facilitada pela topografia deve ser evitada</li> </ul>
X - Prata/Saí	<p>- gradientes fortes</p> <p>i) Média-Alta Encosta:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-dominância de floresta tropical de encosta (área de conservação)</li> </ul> <p>ii) Baixa Encosta</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-próxima aos núcleos urbanos (Muriqui, Itacurussá, Coroa Grande): encontram-se em processo de degradação da cobertura vegetal</li> <li>- base inferior da vertente é cortada pela estrada (BR 101)</li> <li>- atividade turística ⇒ atrai população de baixa renda para prestação de serviço ⇒ intensificação dos processo de ocupação desordenada das encostas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- área estável quanto à erosão</li> <li>- erosão por movimentos de massa</li> <li>- favorece à erosão</li> </ul>

Sub-bacia	Indicadores: sócio -econômicos e geobiofísicos	Conseqüências
ZIAC <sup>14</sup>	<p>i) Sub-zona Litorânea - acompanha a linha da costa</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- os resíduos de energia e matéria provenientes do sistema marinho, são mais atuantes na dinâmica continental de articulação dos fluxos d'água ⇒ contribuem para desacelerar a entrada de fluxos de água no reservatório terminal da Baía de Sepetiba, causada pela contraposição entre fluxos de águas que, ao promoverem ondas de refluxo, favorecem a deposição de detritos (assoreamento)</li> </ul> <p>ii) Sub-zona Continental</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- prevalecem condições de saturação dos solos, associado à existência de um nível freático próximo à superfície e de gradiente topográfico muito baixo</li> <li>- ocorre a entrada de águas fluviais através da convergência dos principais canais coletores do sistema hidrográfico da bacia</li> <li>- esta sub-zona coincide com uma das maiores áreas urbano-industriais da Bacia (Santa Cruz e Itaguaí). Esta concentração está disposta ao longo dos grandes eixos de circulação rodoviário e ferroviário</li> <li>- o processo de urbanização cria inúmeros loteamentos ⇒ aumenta a malha intra-urbana ⇒ aumenta as superfícies impermeáveis ⇒ amplia o número de interseções com canais de escoamento d'água</li> <li>- esta sub-zona recebe diretamente os resíduos provenientes da inserção de atividades mineradoras (extração de areia), grande parte concentrada na vizinhança imediata da porção extrema superior do ZIAC ⇒ leva ao afloramento de água subterrânea em depressões ⇒ proliferação de grandes poças d'água.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- este assoreamento contribui para a extensão remontante das zonas atingidas pelas enchentes</li> <li>- aumenta o número de pontos críticos detonadores de transbordamento, principalmente nas áreas de baixa infra-estrutura (lixo, valas etc.)</li> <li>- a flutuação do aquífero induz a instabilidade nas bordas destas depressões (solapamento) e nos terrenos circundantes;</li> <li>- o acúmulo artificial de areia em torno das depressões representa uma carga adicional de sedimentos que podem ser transportados para os canais por ação de escoamento superficial.</li> </ul>

A partir da tabela acima, pode-se compreender de forma sistêmica a dinâmica da paisagem e extrair os indicadores de vulnerabilidade, quais sejam:

<sup>14</sup> ZIAC- Zona de Interconexão de Canais Artificiais

6.7.2.1.1.1. *Indicadores Geobiofísio*

Indicadores	Causas	Conseqüências
<b>unidades de paisagens</b>	geologia, tipo de solo, desnível topográfico e uso do solo analisados de forma integrada por paisagem: podem evidenciar o favorecimento de escoamento e erosão superficial	erosão, enchente
<b>balanço hídrico</b>	excedente hídrico: favorece escoamento e erosão superficial	erosão, enchente
<b>sub-sistemas de bacias de drenagem análise sistêmica das sub-bacias</b>	interconectividade entre sub-bacias, pode causar o aumento das taxas de erosão e assoreamento à jusante	erosão, enchente

6.7.2.1.1.2. *Indicadores Sócio -Econômicos*

Indicadores	Causas	Conseqüências
<b>ocupação urbana (baixada)</b>	densa: superfícies impermeáveis	enchente
<b>ocupação em encostas íngremes</b>	alto: favorece escoamento e erosão superficial	erosão, enchente
<b>infra-estrutura (lixo, esgoto)</b>	baixa: deposição na área da bacia	enchente
<b>ZUPIS e ZEIS</b>	mudança na dinâmica das descargas (líquidas, sólidas e solúveis) exportadas através do sist. Fluvial	poluição, enchente
<b>análise sistêmica das sub-bacias</b>	a ação antrópica analisada sob a ótica da interconectividade entre sub-bacias, pode causar o aumento das taxas de erosão, degradação e assoreamento à jusante	erosão, enchente
<b>interseção canais x eixos de circulação</b>	propicia inundação	enchente

Estes fatores podem aparecer combinados ou isolados, porém para cada área, o estudo de todos os parâmetros em conjunto é que irá caracterizar o grau de vulnerabilidade da paisagem, em geral, pode-se classificar como:

- área propícia à erosão/enchente:

- gradiente topográfico fornecendo uma alta energia potencial
- índices de precipitação altos

---

- sem cobertura vegetal

• área com estabilidade:

- gradiente topográfico fornecendo uma alta energia potencial

- índices de precipitação altos

- com cobertura vegetal

Apesar dos dois primeiros indicadores serem favoráveis à erosão, o indicador de vegetação poderá evitar a ocorrência do fenômeno. Ao mesmo tempo, uma área:

- gradiente topográfico baixo

- índices de precipitação baixos

Poderia ser considerada estável, entretanto se:

- infra-estrutura (lixo, esgoto) baixa

- localizada próximo à interseção de canais x eixos de circulação

ou se :

- estiver à jusante de áreas com alta ocupação em encostas

Poderá ser uma área muito vulnerável. Portanto:

➡ a análise tem que ser efetuada considerando-se não só indicadores geobiofísicos, mas também os sócio-econômicos

➡ a análise deve considerar não somente os indicadores locais, mas também os que caracterizam a dinâmica e a conectividade com a sua vizinhança

#### **6.7.2.1.2. Análise Utilizando-se Classificação Fuzzy**

Na teoria clássica de conjuntos, uma função de pertinência é definida como verdadeiro ou falso: 1 ou 0. A função de pertinência de um conjunto *fuzzy*, no entanto, é expressa numa escala contínua de 1 (pertinência total) a 0 (não pertinência). Consequentemente, classes individuais de mapas podem ser avaliadas de acordo com sua pertinência no conjunto, baseada no julgamento subjetivo. Uma função de pertinência sempre está relacionada a uma certa proposição, neste caso a proposição é: *vulnerável à erosão/enchente*<sup>15</sup>.

Os valores de pertinência *fuzzy* devem estar no intervalo (0,1), mas não há na uma regra prática para a escolha dos valores de pertinência *fuzzy*. Entretanto, a grande diferença na escolha dos valores da função de pertinência *fuzzy*, em relação ao método de médias ponderadas, é que *os valores fuzzy devem refletir simultaneamente tanto a importância relativa de cada mapa, quanto a importância relativa de cada classe de cada mapa* (SIMÕES and FUKS, 1995b).

---

<sup>15</sup>A proposição é vulnerabilidade ambiental, optando-se no caso estudado por indicadores de atividades erosivas e problemas derivados, tais como: destruição de propriedades, perdas de vida humana, perdas de biodiversidade, enchente, assoreamento, propagação de doenças. Para fins de operacionalização, de agora em diante, portanto, considerar-se-á a vulnerabilidade medida com base na relação: erosão/enchente, uma vez que estes são derivados das relações internas do sistema ambiental.

O procedimento de atribuição de valores de pertinência é, portanto, o mesmo utilizado na atribuição de pesos e notas da média ponderada. Deve-se, no entanto, avaliar os valores de pertinência *fuzzy* para as classes dos mapas individuais, considerando-se, porém, a importância relativa, para análise da vulnerabilidade à erosão/enchente, dos mapas temáticos considerados.

Para se implementar a classificação *fuzzy* em um SIG, deve-se:

- Criar uma tabela de correspondência das classes aos seus valores de pertinência *fuzzy*:

<b>Table Calculation - Column Operations - Add Column (real)</b>
<b>Utilities - Edit Table</b>

para cada classe de cada mapa temático considerado como indicador de vulnerabilidade, fornece-se seu valor *fuzzy*. Estes valores devem ser discutidos entre os especialistas, sempre considerando a importância relativa dos temas/indicadores. As tabelas criadas no nosso estudo de caso foram:

**i. Indicador D Mapa Temático: Geoecológico ou de Paisagens:**

- **DOMÍNIOS INSERIDOS NA ZONA DE BAIXADA:**

Descrição Geobiofísica	Uso	FUZZY
baixada, sedimentos quaternários e planossolos + gleis	Gramíneas	0.7
baixada, sedimentos quaternários e planossolos + gleis	Matas	0.3
colinas, rochas matassedimentares e cambissolos	Gramíneas	0.5
baixada, sedimentos quaternários e planossolos + gleis	Oc. Agrícola	0.6
colinas, granitos e solos podzólicos	Gramíneas	0.7
colinas, rochas matassedimentares e cambissolos	Oc. Urbana	0.8
baixada, sedimentos quaternários e planossolos + gleis	Oc. Urbana	0.8
colinas, rochas matassedimentares e solos podzólicos	Gramíneas	0.7
colinas, granitos e solos podzólicos	Matas	0.4
colinas, rochas metaígneas e solos podzólicos	Gramíneas	0.7
colinas, rochas matassedimentares e solos podzólicos	Matas	0.4
baixada, sedimentos quaternários e solos glei	Gramíneas	0.8
colinas, granitos e solos podzólicos	Oc. Urbana	0.8

Descrição Geobiofísica	Uso	FUZZY
colinas, rochas metaígneas e solos podzólicos	Oc. Urbana	0.8
baixada, sedimentos quaternários e solos glei	Oc. Urbana	0.8
baixada, sedimentos quaternários e solos glei	Oc. Agrícola	0.7

baixada, sedimentos quaternários e cambissolos	Matas	0.3
baixada, sedimentos quaternários e planossolos + gleis	Ter. Alag.	0.8
colinas, rochas metassedimentares e solos podzólicos	Oc. Urbana	0.8
baixada, sedimentos quaternários e solo glei tiomórfico	Ter. Alagados	0.8
baixada, sedimentos quaternários e solo glei tiomórfico	Matas	0.3
baixada, sedimentos quaternários e solo glei tiomórfico	Oc. Urbana	0.8
baixada, sedimentos quaternários e solo glei tiomórfico	Gramíneas	0.8
baixada, sedimentos quaternários e planossolos + gleis	Mangue	0.8
baixada, sedimentos quaternários e solos glei	Ter. Alagados	0.8
baixada, sedimentos quaternários e solo glei tiomórfico	Mangue	0.8
baixada, sedimentos quaternários e solos glei	Mangue	0.8
baixada, sedimentos quaternários e solo glei tiomórfico	Oc. Agrícola	0.7
colinas, rochas metaígneas e cambissolos	Matas	0.3
baixada, sedim. quaternários e solos em areias quartzosas marinhas	Restinga	0.2
baixada, sedim. quaternários e solos em areias quartzosas marinhas	Mangue	0.8
baixada, sedim. quaternários e solos em areias quartzosas marinhas	Restinga	0.2

• **DOMÍNIOS INSERIDOS NA ZONA SERRANA:**

Descrição Geobiofísica	Uso	Fuzzy
desnívelamento de 200 a 400m, rochas metassedimentares e latossolos	Matas	0.5
desnívelamento de 200 a 400m, rochas metassedimentares e latossolos	Gramíneas	0.7
desnívelamento de 200 a 600m, rochas metaígneas e cambissolos	Matas	0.9
desnívelamento de 200 a 600m, granitos e cambissolos	Matas	0.7
desnívelamento de 200 a 600m, rochas metaígneas e cambissolos	Gramíneas	0.8
desnívelamento de 200 a 600m, granitos e cambissolos	Gramíneas	0.7
desnívelamento de 100 a 200m, rochas metassedimentares e latossolos	Oc. Agrícola	0.7
desnívelamento de 200 a 600m, rochas metassedimentares e cambissolos	Matas	0.7
desnívelamento de 100 a 200m, rochas metaígneas e cambissolos	Matas	0.6
desnívelamento de 200 a 600m, rochas metassedimentares e cambissolos	Gramíneas	0.8
desnívelamento de 100 a 200m, rochas metaígneas e cambissolos	Gramíneas	0.7
desnívelamento de 200 a 600m, rochas metaígneas e latossolos	Gramíneas	0.8
desnívelamento de 200 a 600m, rochas metaígneas e latossolos	Matas	0.7
desnívelamento maior que 600m, rochas metaígneas e cambissolos	Gramíneas	0.9
desnívelamento de 100 a 200m, rochas metaígneas e latossolos	Matas	0.7
desnívelamento maior que 600m, rochas metaígneas e cambissolos	Matas	0.9
desnívelamento de 100 a 200m, rochas metaígneas e latossolos	Gramíneas	0.7
desnívelamento de 100 a 200m, granitos e cambissolos	Matas	0.6
desnívelamento de 200 a 600m, granitos e latossolos	Matas	0.7
desniv. de 200 a 600m, rochas metassedim. e latossolos	Matas	0.7

Descrição Geobiofísica	Uso	Fuzzy
desnivelamento de 100 a 200m, granitos e cambissolos	Gramíneas	0.6
desnive.de 100 a 200m, rochas metassed. e cambissolos	Matas	0.5
desnivelamento de 100 a 200m, rochas metassedimentares e cambissolos	Gramíneas	0.5
desnivelamento de 200 a 600m, rochas metassedimentares e latossolos	Gramíneas	0.6
desnivelamento maior que 600m, rochas alcalinas e cambissolos	Matas	0.6
desnivelamento de 200 a 600m, rochas alcalinas e cambissolos	Matas	0.5
desnivelamento maior que 600m, granitos e cambissolos.	Matas	0.7
desnivelamento maior que 600m, granitos e cambissolos.	Oc.Agríc.	0.7
desnivelamento de 200 a 600m, granitos e cambissolos	Oc.Agrícola	0.7
desnivelamento de 200 a 600m, rochas metassedimentares e podzólicos	Gramíneas	0.8
desnivelamento de 200 a 600m, rochas metassedimentares e podzólicos	Matas	0.7
desnivelamento de 100 a 200m, rochas metassedimentares e podzólicos	Gramíneas	0.6
desnivelamento de 100 a 200m, rochas metassedimentares e podzólicos	Matas	0.5
desnivelamento de 200 a 600m, rochas metaígneas e cambissolos	Oc.Urbana	0.8
desnivelamento de 200 a 600m, rochas alcalinas e podzólicos	Matas	0.7
desnivelamento de 100 a 200m, rochas metaígneas e podzólicos	Gramíneas	0.6
desnivelamento de 100 a 200m, rochas metaígneas e podzólicos	Matas	0.5
desnivelamento maior que 600m, rochas metaígneas e cambissolos	Oc.Urbana	0.8
desnivelamento de 100 a 200m, rochas alcalinas e cambissolos	Matas	0.5
desnivelamento de 200 a 600m, rochas alcalinas e cambissolos	Gramíneas	0.5
desnivelamento de 100 a 200m, granitos e podzólicos	Matas	0.5

Descrição Geobiofísica	Uso	Fuzzy
desniv. de 200 a 600m, rochas alcalinas e cambissolos	Oc.Urbana	0.8
desnívelamento de 100 a 200m, rochas metaígneas e podzólicos	Oc.Agrícola	0.7
desnívelamento de 100 a 200m, granitos e podzólicos	Oc. Agríc.	0.7
desnívelamento maior que 600m, rochas metaígneas e cambissolos	Oc.Agríc.	0.7
desnívelamento de 100 a 200m, rochas metaígneas e podzólicos	Oc.Urbana	0.8
desnívelamento de 200 a 600m, rochas metaígneas e cambissolos	Oc.Agríc.	0.7
desnívelamento de 100 a 200m, granitos e podzólicos	Oc. Urbana	0.8
desnívelamento de 200 a 600m, rochas metaígneas e cambissolos	Ter.Alagados	0.7
desnívelamento de 200 a 600m, rochas metaígneas e podzólicos	Oc. Urbana	0.8
desnívelamento de 100 a 200m, granitos e podzólicos	Gramíneas	0.6
desnívelamento de 200 a 600m, rochas metaígneas e podzólicos	Matas	0.7
desnívelamento de 200 a 600m, granitos e podzólicos	Matas	0.7
desnívelamento de 200 a 600m, granitos e podzólicos	Oc.Urbana	0.8
desnívelamento maior que 600m, granitos e podzólicos.	Matas	0.8
desnívelamento maior que 600m, granitos e podzólicos.	Oc.Urbana	0.8
desnívelamento de 200 a 600m, granitos e podzólicos	Gramíneas	0.7
desnívelamento de 200 a 600m, granitos e podzólicos	Mangue	0.8
desnívelamento de 100 a 200m, granitos e podzólicos	Mangue	0.8

## ii. Indicador D Mapa Temático: Balanço Hídrico

Classe	Valor Fuzzy
(1) < 100mm e > 30 mm	0.2
(2) > 100 mm e < 500 mm	0.5
(3) > 500 mm	0.7

---

**iii. Indicador D Mapa Temático: Uso Industrial (ZUPIs e ZEIs)**

Classe	Valor Fuzzy
área de influência das zonas de uso predominante ou estritamente industrial	0.8
fora da área de influência das zonas de uso predominante ou estritamente industrial	0.5

**iv. Indicador D Mapa Temático: Infra-estrutura**

Classe	Valor Fuzzy
área crítica	0.6
área não crítica	0.5

**v. Indicador D Paisagens em áreas com Interseção de Canais x Eixo de Circulação**

Classe	Valor Fuzzy
com interseção	0.9
sem interseção	0.2

**vi. Indicador D Sub-bacias<sup>16</sup>: espacialização das políticas sócio-econômicas e fatores geobiofísicos**

Classe	Valor Fuzzy
(1) Bacia I: Rio Piraquê	0.9
(2) Bacia II: Rio Guandu Mirim	0.6
(3) Bacia III: Rio Cabuçu	0.8
(4) Ilhas/Restinga	0.2
(5) Bacia IV: Rio Queimados	0.6
(6) Bacia IX: Rio Mazomba	0.9
(7) Bacia V: Rio São Pedro	0.4
(8) Vale do Médio Guandu	0.8
(9) Bacia VI: Rio Santana	0.7
(10) Bacia VII: Alto Guandu	0.9
(11) Bacia VIII: Valão dos Bois	0.7
(12) Bacia X: Rio Prata/Saí	0.6
(13) ZIAC	0.9

---

<sup>16</sup> Mapa contendo as Sub-Bacias (MB5). Os valores atribuídos consideram a dinâmica das sub-bacias, ou seja, a influência de uma sub-bacia em outras áreas ou sub-bacias.

- 
- Neste momento, a partir de cada mapa temático, pode-se gerar um mapa que contenha os valores *fuzzy* para cada classe, ou seja, um mapa onde a cada classe seja associado, o seu respectivo valor *fuzzy*:

<b>fgeoeco: = fgeoeco.fuzzy [paisagem]</b>
--

onde;

*fgeoeco* = mapa contendo os valores *fuzzy* em cada classe

*fgeo.fuzzy* = coluna *fuzzy* da tabela gerada classes de paisagem / valor *fuzzy*

*fpaisagem* = mapa contendo as classes do mapa de paisagem

Este procedimento deve ser repetido para cada tabela gerada acima, ou seja, para cada mapa temático considerado com indicador, gerando-se os mapas *fuzzy*: *fhidrico*, *fz\_ind*, *finf\_est*, *fbacias*, *fint*, *fpaisagem* respectivamente para os temas: balanço hídrico, zonas de uso industriais, infra-estrutura, sub-bacias, áreas de interseção drenagem x vias de circulação e paisagens.

☛ Cada classe de cada mapa temático (considerado como um indicador de vulnerabilidade), neste momento, foi classificada com um valor de pertinência *fuzzy* e pode ser combinado através dos operadores *fuzzy*, apresentados no Capítulo 4: *Fuzzy AND*, *Fuzzy OR*, *Produto Algébrico Fuzzy*, *Soma Algébrica Fuzzy* ou *Operador Gamma Fuzzy*.

Para a superposição dos temas (*overlay*) a fim de se estudar a Vulnerabilidade da Paisagem, uma avaliação do comportamento dos diversos operadores foi realizada, a fim de se escolher o procedimento que melhor modelasse a evidência estudada (no caso: vulnerabilidade à erosão/enchente).

Optou-se pelo uso de mais de um operador *fuzzy*. Utilizou-se, portanto, uma rede de inferência combinando o operador *fuzzy or* (*para dados sócio-econômicos*) e o operador *gamma fuzzy* para a classificação final agregando os resultados obtidos com dados sócio-econômicos, aos dados geobiofiscos.

Uma das vantagens da classificação por lógica *fuzzy* é poder utilizar diversos tipos de operadores, possibilitando uma melhor modelagem do fenômeno estudado. A figura 6.7.2.1.2 apresenta a rede de inferência projetada para modelar o fenômeno Vulnerabilidade.

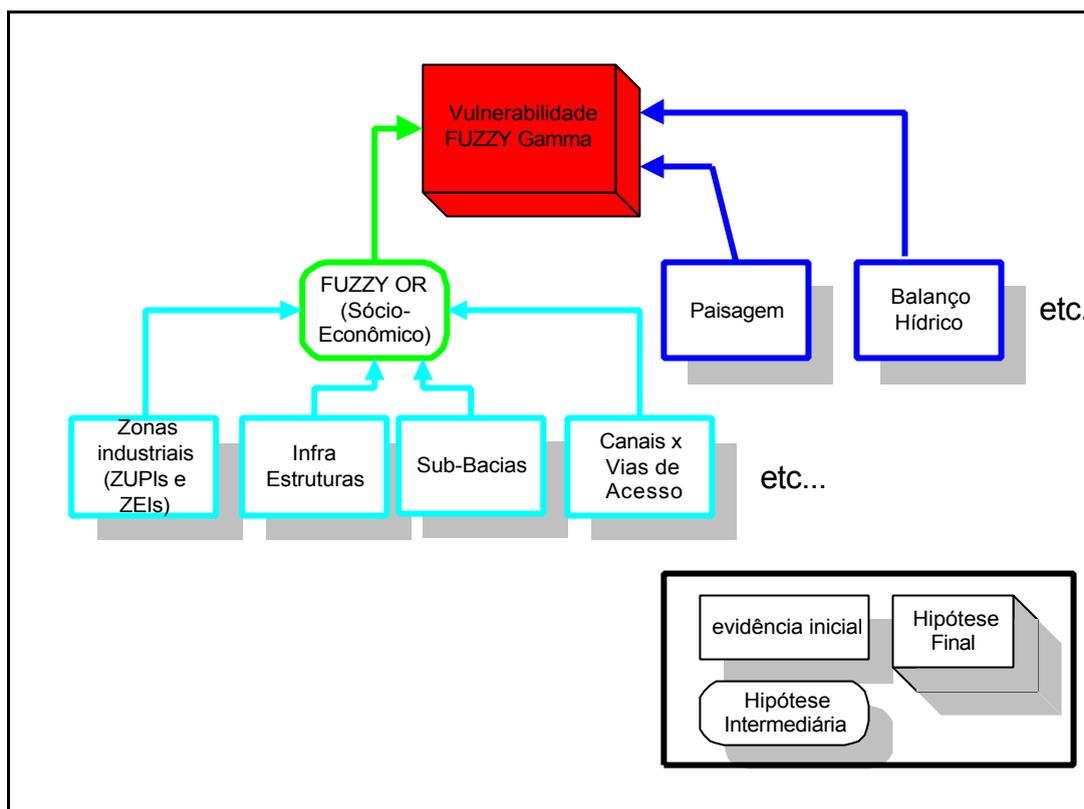


Figura 6.7.2.1.2 - Rede de Inferência para o Fenômeno Vulnerabilidade

### FUZZY OR

Conforme discutido no Capítulo 4, o operador *OR Fuzzy* ao ser utilizado na integração dos temas, o valor final integrado será controlado pelo valor máximo valor fornecido pela combinação dos mapas temáticos. O operador OR é definido por:

$$m = \text{MAX} ( m_A , m_B , m_C , \dots )$$

$m$  = valor de pertinência da combinação dos temas

$m_i$  = valor de pertinência *fuzzy* para o mapa temático *i* numa dada localização

A implementação deste operador num SIG é feita através da definição desta equação. No caso do ILWIS a modelagem é feita em: **Raster/Spatial Modelling/Calculations**:

$$fsocio\_or := \text{MAX} ( fz\_ind, finf\_est, fbacias, \dots )$$

Como na vs 1.4 do ILWIS a função Max não está disponível, uma macro teve que ser criada:

$$fsocio\_or := \text{if} ( fz\_ind > finf\_est, \text{if} ( fz\_ind > fbacias, fz\_ind, fbacias), \text{if} ( finf\_est > fbacias, finf\_est, fbacias) )$$

Desta forma, se um dos fatores sócio-econômicos apresentar um valor de vulnerabilidade um pouco mais alto, este valor será utilizado como resultado da integração. Por exemplo, se para uma dada localização: mesmo que haja infra-estrutura e não seja uma zona de influência industrial, porém se a sub-bacia que a contém for vulnerável ou de alguma forma sofrer vulnerabilidade, esta área será classificada com o valor de vulnerabilidade dado pelo tema sub-bacia ( $fbacias$ ), ou seja, terá a vulnerabilidade dada pela sua sub-bacia.

---

## FUZZY GAMMA

Para se obter o operador *Fuzzy Gamma*, faz-se necessário calcular a *Soma Algébrica Fuzzy* e o *Produto Algébrico Fuzzy*.

$$m_{\text{combinação}} = (\text{Soma Algébrica Fuzzy})^g * (\text{Produto Algébrico Fuzzy})^{1-g}$$

onde:

$m_{\text{combinação}}$  = valor de pertinência da combinação dos temas utilizando-se o operador *Gamma Function*

➤ A modelagem através do operador **Soma Algébrica Fuzzy**, considera que se duas evidências (indicadores de vulnerabilidade) estão à favor da hipótese pesquisada (Vulnerabilidade da Paisagem), uma irá reforçar a outra e a combinação das evidências estará mais suportada do que cada evidência considerada individualmente. O resultado é sempre maior (ou igual ao) maior valor de pertinência fuzzy encontrado é, portanto, uma função de maximização. A definição deste operador é dada por:

$$m_{\text{combinação}} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - m_i)$$

onde:

$m_{\text{combinação}}$  = valor de pertinência da combinação dos temas

$m_i$  = valor de pertinência *fuzzy* para o mapa temático *i* numa dada localização

$n$  = número de mapas temáticos (indicadores) considerados na análise do fenômeno

A implementação deste operador num SIG é feita através da definição desta equação. No caso do ILWIS a modelagem é feita em: **Raster/Spatial Modelling/Calculations**:

$$FAS^{17} = 1 - ((1 - fpaisagem) * (1 - fhidrico) * (1 - fint))$$

onde:

*fpaisagem, fhidrico ...* = valor fuzzy de cada tema considerado

FAS = valor *fuzzy* da combinação dos temas

➤ Na combinação através do **Produto Algébrico (FAP)**, os mapas individuais são multiplicados e o resultado é sempre menor (ou igual ao) menor valor de pertinência fuzzy encontrado é, portanto, uma função de minimização

A implementação deste operador num SIG é feita através da definição desta equação. No caso do ILWIS a modelagem é feita em: **Raster/Spatial Modelling/Calculations**:

$$FAP^{18} = (paisagem) * (fhidrico) * (fint)$$

---

<sup>17</sup>FAS = Fuzzy Algebraic Sum

<sup>18</sup>FAP = Fuzzy Algebraic Product

---

onde:

$f_{paisagem}$ ,  $f_{hidrico}$  ... = valor fuzzy de cada tema considerado

$FAP$  = valor fuzzy da combinação dos temas

Optou-se por utilizar, portanto, para o caso do fenômeno vulnerabilidade, o operador *GAMMA*, por não ser um operador "radical", recaindo num caso intermediário e mais realista que a *Soma Algébrica* (que tende a maximizar os valores) e o *Produto Algébrico* (que tende a minimizar os valores).

Desta forma, deve-se tirar proveito da flexibilidade que os operadores fuzzy proporcionam e modelar da forma mais representativa possível o fenômeno estudado (vulnerabilidade), em função dos seus indicadores, através da variação do valor de *gamma*, que produzirá resultados **entre** os valores extremos FAS e FAP.

O gráfico apresentado por (BONHAM-CARTER, 1994) revela o efeito da variação de *gamma* para o caso de se combinar dois valores fuzzy:  $\mu_a=0.75$  e  $\mu_b=0.5$  (sobreposição ou *overlay* dos temas a e b) :

- Quando  $g=0$ , a combinação equivale ao valor do Produto Algébrico FUZZY (FAP).
- Quando  $g=1$ , a combinação equivale ao valor da Soma Algébrica FUZZY (FAS).
- Quando  $0.8 < g < 1$  (para este exemplo), a combinação produz um valor fuzzy maior que o maior valor de pertinência (valor fuzzy) de entrada (neste caso 0.75), o efeito da sobreposição dos temas é, portanto, de aumento do valor fuzzy.
- Quando  $0 < g < 0.35$  (para este exemplo), a combinação produz um valor fuzzy menor que o menor valor de pertinência (valor fuzzy) de entrada (neste caso 0.5), o efeito da sobreposição dos temas é, portanto, de diminuição do valor fuzzy.
- Quando  $0.35 < g < 0.8$  (para este exemplo), a combinação não produz um valor fuzzy nem menor que o menor valor fuzzy de entrada (neste caso 0.5), nem maior que o maior valor fuzzy de entrada (neste caso 0.75), o efeito da sobreposição não é nem de aumento nem de diminuição dos valores fuzzy iniciais dos temas. Variando  $g$ , neste intervalo, faz com que se obtenha na sobreposição valores fuzzy **entre** os valores fuzzy de cada tema.

A figura 6.7.2.1.2.2 ilustra o exposto:

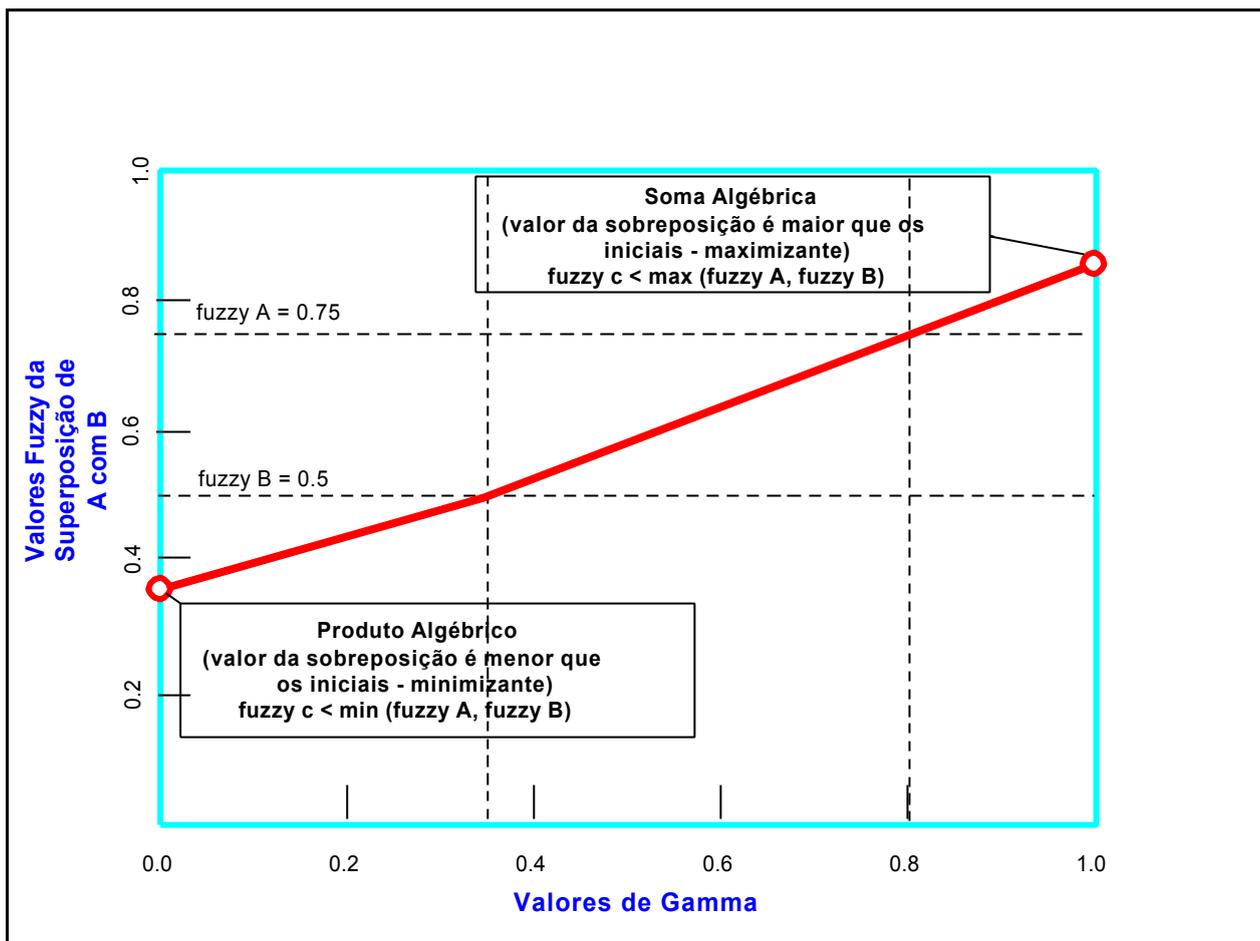


Figura 6.7.2.1.2.2 - Gráfico da função de pertinência *fuzzy* obtida pela sobreposição de dois temas

No Ilwis vs. 1.4, a função de elevação a uma dada potência ( $a^x$ ) não está disponível, o operador *gamma*, é, então, implementado pela equação:

$$m = \exp(g * \log(\text{FAS}) + (1-g) * \log(\text{FAP}))$$

Onde:

exp = exponencial

FAS = *Fuzzy Algebraic Sum*

FAP = *Fuzzy Algebraic Product*

Os seguintes valores de *gamma* foram analisados:

$$\gamma = 0.5^{19}$$

$$\gamma = 0.60$$

<sup>19</sup> Diversos valores de *g* foram avaliados entre os valores delimitadores maximizante e minimizante (FAS e FAP). Estudou-se diversos valores de *gamma* para observar-se o comportamento do mapa resultante ao se variar o *range* de atuação do operador.

---

$\gamma = 0.65$

$\gamma = 0.70$

O valor de *gamma* 0.65, forneceu um mapa de vulnerabilidade considerado mais próximo à realidade atual da área e foi eleito como sendo o mapa de Vulnerabilidade a ser considerado nos demais processos de análise da paisagem apresentados nos próximos itens.

Uma longa discussão sobre os diferentes usos de *gamma* e a interpretação destes resultados será apresentada nas conclusões.

- Após a combinação dos diversos mapas *fuzzy* e a aplicação dos operadores escolhidos para sobrepor os temas e modelar o fenômeno Vulnerabilidade, pode-se, para fins de visualização, reclassificar o mapa resultante em classes de Vulnerabilidade (Mapa Derivado D1, D2, D3, D4):

Tabela 6.7.2.2.1 - Classes de Vulnerabilidade.

Valor Fuzzy	Classe de Vulnerabilidade
0 a 0.3	pouco vulnerável
0.4 a 0.5	moderadamente vulnerável
0.6 a 0.7	vulnerável
0.8 a 1.0	muito vulnerável

Um mapa de incerteza, representando as zonas de transição entre uma classe e outra pode ser gerado (Mapa Derivado MD5).

As zonas de maior certeza são aquelas nas quais ao se analisar todos os mapas de vulnerabilidade (gerados pelos diversos *gamma*: do critério mais rígido ao menos rígidos), sempre são classificadas com a mesma classe. Por exemplo: ao verificar uma determinada área, observa-se que em todos os mapas de vulnerabilidade avaliados (com diversos *gammas*), sempre esta área está classificada como vulnerável. Neste caso, esta área é uma área de certeza da classe vulnerável.

As zonas de incerteza são obtidas da mesma forma, só que ao se analisar todos os mapas de vulnerabilidade, observa-se que ora uma dada área é classificada como vulnerável, ora como muito vulnerável. Portanto, é uma zona de transição entre a classe vulnerável e muito vulnerável.

Sabe-se que, em geral, no ambiente não existem fronteiras rígidas, ou seja, uma área não passa subitamente de vulnerável a muito vulnerável, normalmente há uma faixa de transição. Esta faixa de transição é possível de ser modelada e representada pelo uso da lógica *fuzzy*.

A importância da distinção destas áreas de incerteza como subsídio a tomada de decisão é discutida, em maior detalhe nas conclusões.

### 6.7.2.2. Geração do Mapa de Potencial Gebiofísico por Unidade de Paisagem

Para a área da Bacia da Baía de Sepetiba, já existe um mapa de aptidão agrícola disponível. Este estudo foi realizado pelo Centro Nacional de Pesquisa de Solos da EMBRAPA (CNPS/EMBRAPA). Este mapa, juntamente com o mapa de Zoneamento Agro-Ecológico (CNPS/EMBRAPA), permitiu a geração de um mapa genérico de potencialidades<sup>20</sup>, onde as áreas foram classificadas segundo seu potencial de uso. Convém ressaltar que, a mesma avaliação pode ser realizada em relação a outras potencialidades, além da agrícola, dependendo das características da área estudada, dos objetivos do trabalho e da disponibilidade de informação.

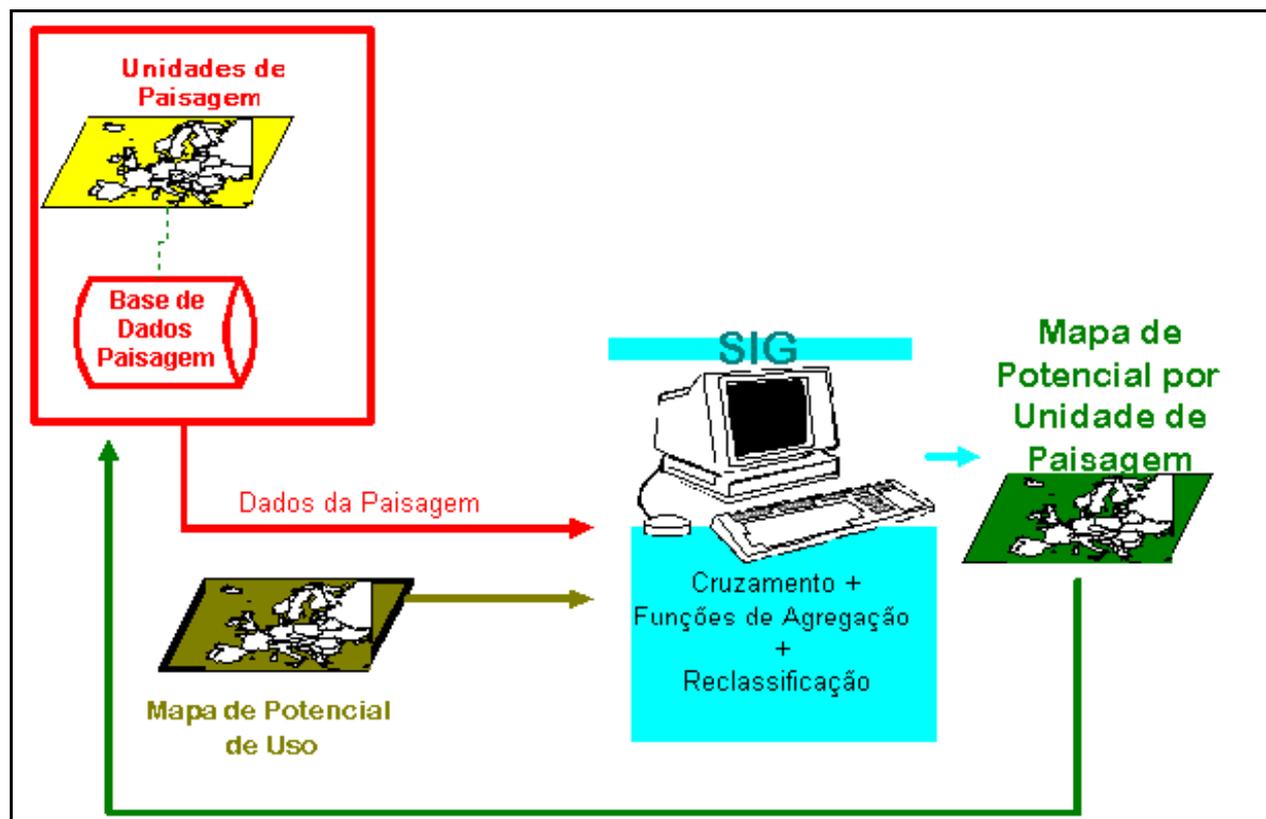


Figura 6.7.2.2.1.1 - Geração do Mapa de Potencial Gebiofísico por Unidade de Paisagem

Para tanto:

- Realiza-se o cruzamento do mapa de paisagem com o mapa de uso potencial. No Ilwis vs. 1.4, a seguinte operação deve ser realizada:

***Raster/Spatial Modelling/Cross - paisagem x potencial***

Uma tabela, que neste caso foi denominada *pot\_pais.tbl*, é criada com todas as combinações de paisagem com uso potencial existentes.

<sup>20</sup> Deve-se esclarecer que, o mapa gerado para a simulação deste estudo de caso é bastante genérico. Não houve uma preocupação com o rigor da sua confecção, uma vez que seria usado apenas como exercício, a título de exemplificação e ilustração do método desenvolvido.

- Num Sistema de Informação Geográfica, lança-se mão de funções de agregação (**agregation function**), onde é possível obter-se informações sobre as porcentagens de representação dos valores de um mapa em outro (predominância), os valores máximos, mínimos, médios e etc. (QUINTELA, 1995). No ILWIS vs. 1.4, a função de agregação que indica o potencial de uso predominante por paisagem é obtida por:

**Cross/Agregation/Predominant**

A tabela 6.7.2.2.1 (*pot\_pais.tbl*) apresenta os resultados da utilização das funções de agregação do SIG, para o mapa de paisagem obtido na fase de inventário em relação ao mapa de potencialidades. É possível observar-se para cada unidade de paisagem, a potencial de uso predominante.

- Finalmente, para obter-se o Mapa de Potencial por Unidade de Paisagem, faz-se necessário reclassificar o Mapa de Paisagem em função da coluna *Predcol* (contendo o uso predominante por unidade de paisagem) da tabela *pot\_pais.tbl*. Nela, se expressam o uso predominante em cada uma das unidades de paisagem. No ILWIS vs. 1.4, isto é possível através da elaboração de uma função de modelagem realizada em: **Raster/Spatial Modelling/Calculations**:

**Potencial: = pot\_pais.PredCol [paisagem]**

ou seja: reclassificação do mapa de Paisagem [*paisagem*] em função da coluna *predcol* da tabela *pot\_pais.tbl*

O Mapa de Potencial por Unidade de Paisagem (Mapa Derivado MD6) gerado através deste procedimento será utilizado posteriormente, para o estudo da Eficiência de Utilização da Paisagem, na fase de Diagnóstico da Paisagem.

### 6.7.3. Fase 3 - Diagnóstico da Paisagem

#### 6.7.3.1. Eficiência das Paisagens

Para o estudo da Eficiência das Paisagens da Baía de Sepetiba, o esquema descrito no Capítulo 5 foi adotado:

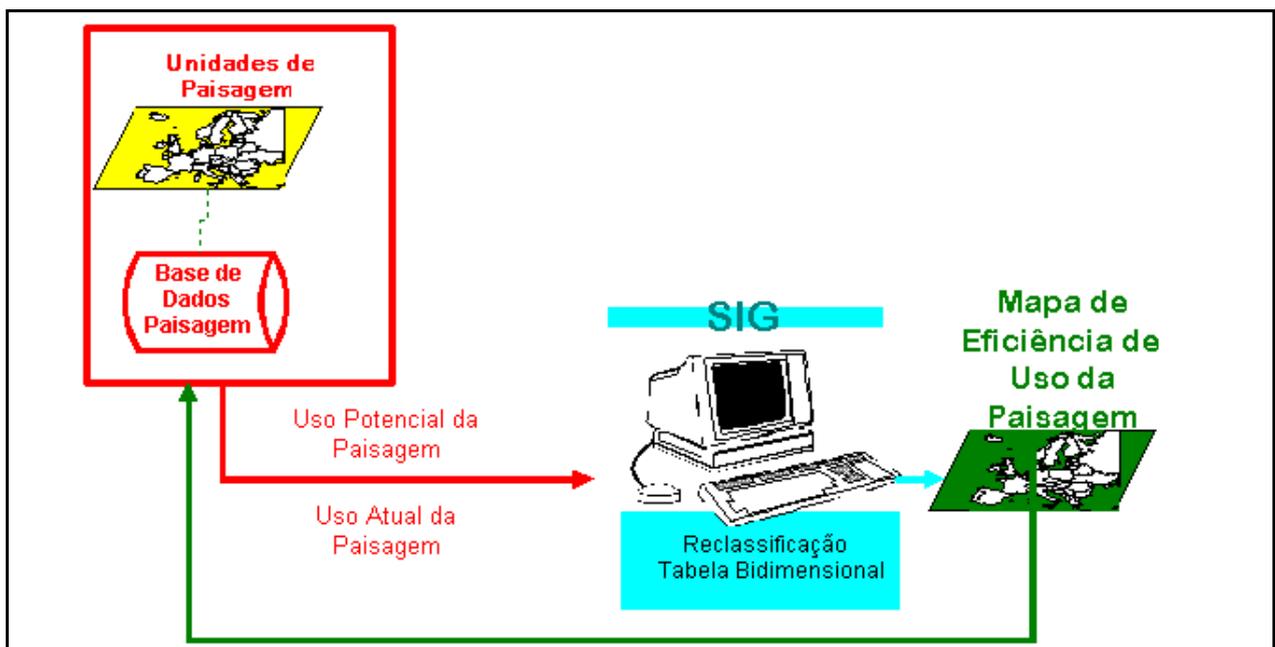


Figura 6.7.3.1.1 - Esquema adotado para o estudo da Eficiência das Paisagens da Bacia da Baía de Sepetiba

A partir das informações disponíveis na Base de Dados da Paisagem<sup>21</sup> (Uso Atual e Uso Potencial), proveniente das fases anteriores, gera-se uma tabela de duas dimensões que permita a obtenção de um terceiro mapa derivado a partir da reclassificação destas informações. De acordo com as características da área de estudo, a seguinte tabela foi criada (UxP\_Pais.tb2) no Ilwis vs. 1.4:

**Table/Special Tables/2-Dim Table**

Tabela 6.7.3.1.1 - Relação entre Uso Potencial e Uso Predominante.

Uso Potencial	Uso Predominante						
	Matas	Gramín .	Mangue	Resting a	Ter. Alagado	Ocup. Urbana	Ocupa. Rural
Agricultura	2	3	2	2	2	2	2
Agricultura/Florestal	2	3	2	2	2	2	2
Agricultura/Pastagem	2	2	2	2	2	3	2
Florestal	2	3	2	2	2	1	1
Florestal/Lavouras Perenes/Pastagem	2	2	2	2	2	2	2
Lav. Perenes/Pastagem	2	2	2	2	2	2	2
Pastagem	2	2	2	2	2	2	2
Preservação	2	1	2	2	2	1	1
Uso Urbano	2	2	2	2	2	2	2

A relação Potencial x Uso, considerada para a Classificação da Eficiência da Utilização da Paisagem foi:

<sup>21</sup> Novamente deve-se esclarecer que, o mapa de uso de solo (uso atual) utilizado (advindo do Relatório do Diagnóstico Ambiental da Bacia da Baía de Sepetiba - ZEE, 1996) é bastante simplificado, possuindo classes absolutamente genéricas, o que pode tornar o produto desta análise um tanto insuficiente em termos de resultado final ou até mesmo de sua significação. Solicita-se ao leitor, que se abstraia do conteúdo da informação ou dos resultados obtidos e se concentre apenas no objetivo deste Estudo de Caso: possibilitar uma exemplificação dos métodos desenvolvidos e sugeridos por este trabalho.

Tabela 6.7.3.1.2 - Classificação da Eficiência da Utilização da Paisagem.

Classe	Eficiência da Utilização da Paisagem
1	Paisagem Sobre-Utilizada
2	Paisagem Utilizada de acordo com seu Potencial
3	Paisagem Sub-Utilizada

De acordo com QUINTELA (1995), as paisagens consideradas :

- Sobre-Utilizadas - são aquelas que têm um potencial alto para uma dada atividade estudada, e que estão sendo utilizadas de forma indevida para uma outra atividade com um nível de exigência além do seu potencial natural.
- Utilizadas de Acordo com seu Potencial - são aquelas que, conforme indica sua denominação, estão sendo utilizadas de acordo com o seu potencial.
- Sub\_Utilizadas - são paisagens que têm potencial para outras atividades além da que está sendo utilizada atualmente ou que teriam seu potencial melhor aproveitado se lá estivesse sendo exercido um outro uso ou atividade mais condizente com seu potencial.

Para a superposição dos Mapas de Potencial e Uso Atual, em função da tabela (UxP\_Pais.tb2), no ILWIS vs. 1.4, a seguinte expressão deve ser criada no módulo de modelagem (*Raster/Spatial/Modelling/Calculations*):

<b>Eficienc:= UxP_Pais [potencial, uso-pred]</b>
--

Desta forma, gera-se o Mapa de Eficiência de Utilização da Paisagem (Mapa Derivado MD7) através da aplicação da tabela (UxP\_Pais) sobre os mapas de Uso Potencial por Paisagem e de Uso Predominante da Paisagem.

Neste Estudo de Caso, apenas o potencial agrícola foi avaliado, entretanto, conforme comentado anteriormente, outros potenciais poderiam ser estudados e a eficiência da paisagem quanto ao seu uso poderia ser considerada baseada no mesmo procedimento adotado. Tudo isto em função da disponibilidade de informação e da vocação da região em estudo, para uma dada atividade ou dos interesses envolvidos no planejamento regional. Para uma dada área, por exemplo, pode-se desejar analisar o potencial turístico e sua eficiência.

A análise profunda de conflitos de utilização foge ao escopo deste trabalho e do nível de detalhamento ao qual o mesmo se propõe. Um estudo detalhado do uso da terra e seus conflitos pode ser encontrado em RODRIGUEZ (1995), porém sem se considerar a abordagem integrada da Paisagem.

### 6.7.3.2. Estado Geocológico das Paisagens

O Estado Geocológico das Paisagens, de acordo com o esquema metodológico apresentado no Capítulo 5, baseia-se na utilização de dois indicadores: a relação Potência/Uso ou Eficiência das Paisagens e o Grau de Vulnerabilidade das Paisagens.

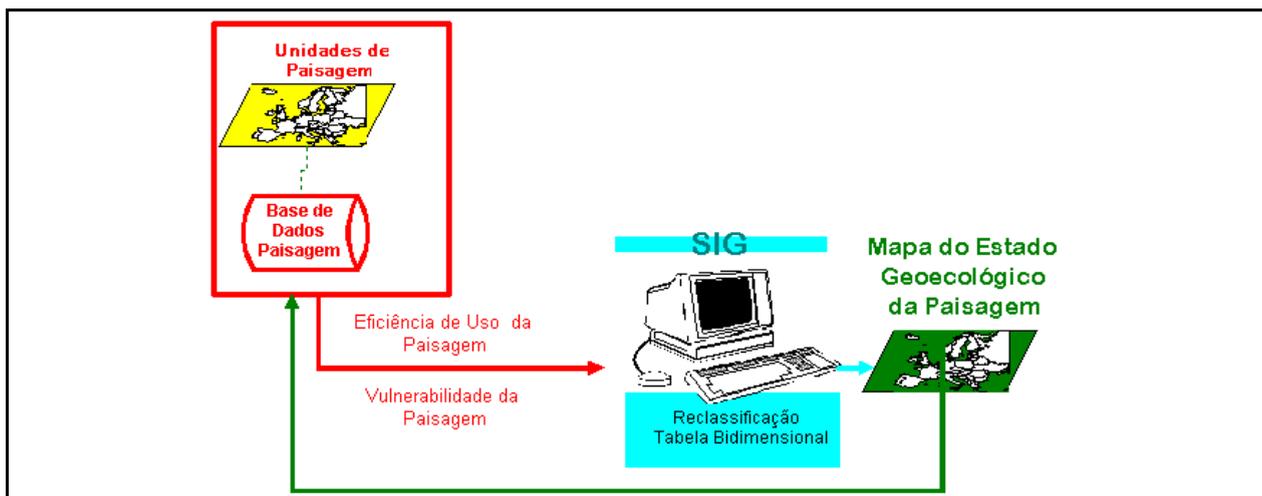


Figura 6.7.3.2.1 - Esquema adotado para o estudo do Estado Geocológico das Paisagens da Bacia da Baía de Sepetiba.

A forma de se tratar esta relação em um Sistema de Informação Geográfica é muito parecida ao esquema utilizado no item anterior. Deve-se inicialmente definir uma tabela bidimensional de classificação (*efic-vul.tb2*), ou seja:

Tabela 6.7.3.2.1 - Relação entre Eficiência de Uso x Vulnerabilidade.

Eficiência da Paisagem	Vulnerabilidade da Paisagem			
	Pouco Vulnerável	Moderadam. Vulnerável	Vulnerável	Muito Vulnerável
Sobre-Ututilizada	3	3	3	3
De Acordo com Pot.	1	2	2	3
Sub-Utilizada	1	1	2	2

- Relação Eficiência x Vulnerabilidade, consideradas para a classificação do Estado Geocológico foi:

Tabela 6.7.3.2.2 - Classificação do Estado Geocológico.

Classe	Estado Geocológico da Paisagem
1	Pouca Tendência à Alteração
2	Moderada Tendência à Alteração
3	Muita Tendência à Alteração

De acordo com QUINTELA (1995), as paisagens consideradas com:

- Pouca Tendência a Degradação - são aquelas que estão sendo utilizadas de acordo com seu potencial e que ao mesmo tempo são pouco ou moderadamente sensíveis (vulneráveis). Também se incluem as sub-utilizadas e que são pouco ou moderadamente sensíveis.
- Moderada Tendência a Degradação - são aquelas que estão sendo utilizadas de acordo com o seu potencial, porém são sensíveis ou muito sensíveis. Incluem-se, também, as paisagens sub-utilizadas e sensíveis ou muito sensíveis.

- Muita Tendência a Degradação - são paisagens sobre-utilizadas e vulneráveis, pouco vulneráveis ou moderadamente vulneráveis.

Para a superposição dos Mapas de Eficiência e Vulnerabilidade, em função da tabela (*efic-vul.tb2*), no ILWIS vs. 1.4, a seguinte expressão deve ser criada no módulo de modelagem (*Raster/Spatial/Modelling/Calculations*):

**Estado:= Efic-Vul [ eficienc, vulnerab]**

Desta forma, gera-se o Mapa de Estado Geocológico da Paisagem através da aplicação da tabela (*Efic-Vul*) sobre os mapas de Eficiência e de Vulnerabilidade da Paisagem. A título ilustrativo dois cenários foram gerados:

- a partir da utilização de um mapa de vulnerabilidade mais rígido, ou seja, obtido com  $\gamma = 0.70$  (Mapa Derivado MD8);
- a partir da utilização de um mapa de vulnerabilidade menos rígido, ou seja, obtido com  $\gamma = 0.60$  (Mapa Derivado MD9):

### 6.7.3.3. Mapa Síntese

O Mapa Síntese das Paisagens pode se basear na utilização dos indicadores: Eficiência das Paisagens, Grau de Vulnerabilidade das Paisagens e Sustentabilidade da Paisagem (se esta informação estiver disponível).

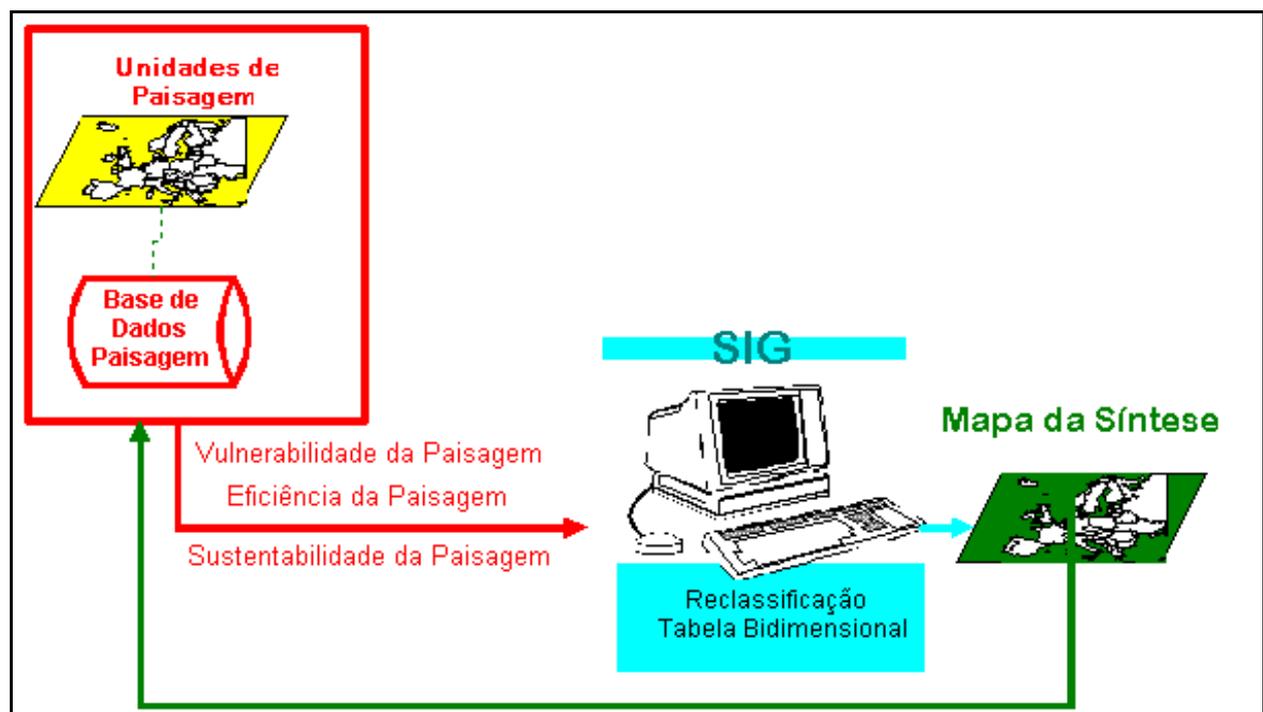


Figura 6.7.3.3.1 - Geração do Mapa Síntese.

A forma de se tratar esta relação em um Sistema de Informação Geográfica é muito parecida ao esquema utilizado no item anterior. Deve-se inicialmente definir uma tabela bidimensional de classificação (*sint.tb2*), ou seja:

Tabela 6.7.3.3.1 - Relação entre Eficiência de Uso x Vulnerabilidade (Síntese).

Eficiência da Paisagem	Vulnerabilidade da Paisagem			
	Muito Vulnerável	Vulnerável	Moderad. Vulnerável	Pouco Vulnerável
Sobre-Utilizada	3	3	3	3
De acordo com Pot.	3	3	1	1
Sub-Utilizada	3	2	2	2

- Relação Eficiência x Vulnerabilidade, consideradas para a classificação do Mapa Síntese foi:

Tabela 6.7.3.3.2 - Classes para a Síntese.

Classe	Síntese
1	Área de Consolidação
2	Área de Expansão
3	Área de Recuperação

Para a superposição dos Mapas de Eficiência e Vulnerabilidade, em função da tabela (*sint.tb2*), no ILWIS vs. 1.4, a seguinte expressão deve ser criada no módulo de modelagem (*Raster/Spatial/Modelling/Calculations*):

**Síntese: = Sint [ eficienc, vulnerab]**

Desta forma, gera-se o Mapa Síntese através da aplicação da tabela (*Sint*) sobre os mapas de Eficiência e de Vulnerabilidade da Paisagem.

#### 6.7.3.4. Mapa Derivado De Zoneamento

Para a obtenção de um mapa de zoneamento da região, deve-se incluir no mapa Síntese, as área de conservação, obtidas a partir da legislação vigente.

Para a Bacia da Baía de Sepetiba, o Mapa de Conservação Ambiental foi elaborado pela equipe do LAGET/UFRJ e encontra-se disponível no Relatório do Diagnóstico Ambiental (ZEE, 1996).

Num ambiente SIG, após a geração do Mapa de Conservação na forma digital, deve-se criar uma equação de classificação.

No ILWIS vs. 1.4, a seguinte expressão deve ser criada no módulo de modelagem (*Raster/Spatial/Modelling/Calculations*):

**Zoneamento:= if (conserva = 1, 4, síntese)**

Desta forma, obtém-se um mapa de Zoneamento (Mapa Derivado D5) com a seguinte classificação:

---

Tabela 6.7.3.4.1 - Classes para o Zoneamento.

<b>Classe</b>	<b>Zonas</b>
1	Consolidação
2	Expansão
3	Recuperação
4	Conservação

A título ilustrativo dois cenários foram gerados:

- a partir da utilização de um mapa de vulnerabilidade mais rígido, ou seja, obtido com  $\gamma=0.70$  (Mapa Derivado MD10);

- a partir da utilização de um mapa de vulnerabilidade menos rígido, ou seja, obtido com  $\gamma=0.60$  (Mapa Derivado MD11):

Os mapas obtidos na fase de Análise (Potencial e Vulnerabilidade da Paisagem), bem como os obtidos na fase de Diagnóstico (Eficiência e Estado Geoecológico), contribuíram para alimentar a base de dados da Paisagem que pode ser utilizada para a geração de novas análises/diagnósticos, utilizando-se as informações já disponíveis para a geração de novas informações, conforme ilustrado na Figura 6.7.3.4.1.

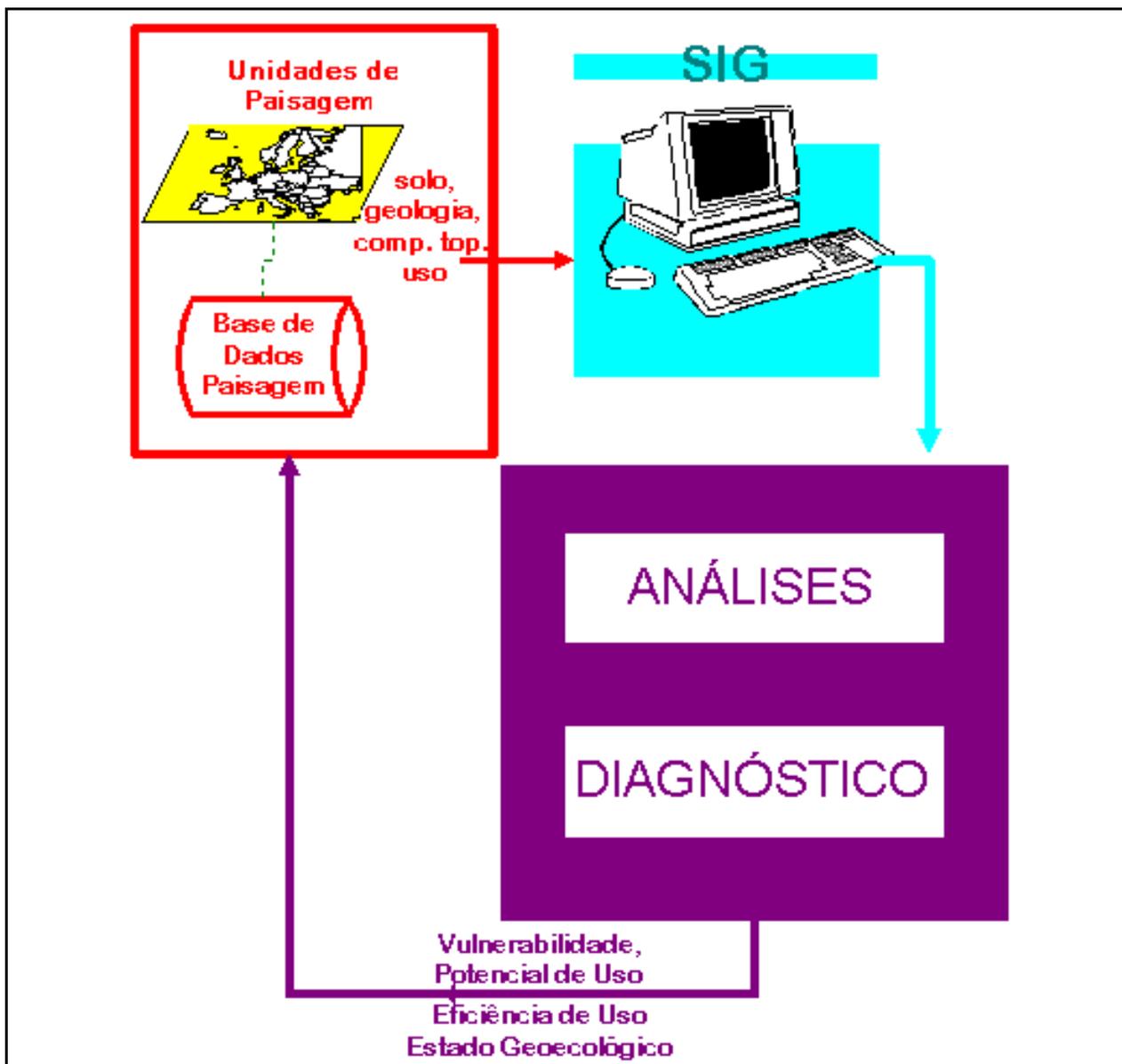


Figura 6.7.3.4.1- Realimentação da Base de Dados da Paisagem

A título ilustrativo, a Tabela 6.7.3.4.2 apresenta os quatro primeiros registros da base de dados da paisagem contendo as informações obtidas pelas análises e diagnósticos realizados no estudo de caso da Bacia da Baía de Sepetiba:

Tabela 6.7.3.4.2 - Registros da Base de Dados da Paisagem.

Paisag.	Comp. Topog.	Geolog	Solos	Uso	Vulner.	Efic. Uso	Estado Geoec.	Zoneamento
1	100-200m	R.Meta sedim.	Lato solo	matas	baixa	de acordo	mod. tendência a degrad.	consolidação
2	100-200m	R.Meta sedim.	Lato solo	Grami-neas	moderada	sub utilizada	alta tendência degrad.	recuperação
3	200-600m	R.Meta igneas.	Cambi-solo	matas	baixa	de acordo	alta tendência a degrad.	conservação
4	200-600m	Granito	Cambi solo	matas	baixa	de acordo	mod. tendência a degrad.	conservação

Caso novas análises sejam realizadas, novas colunas serão adicionadas automaticamente à base de dados no SIG. Desta forma, tem-se uma descrição completa das características das paisagens, à medida em que novas análises são realizadas.

O SIG permite também que *análises espaciais* sejam realizadas nesta base de dados, fazendo novas seleções, agregações, *Queries* e generalizações, gerando novos mapas derivados destas informações.

## 6.8. EM TEMPO

Os procedimentos especificados no processo de análise/diagnóstico da paisagem, servem apenas, como exemplificação de possíveis análises espaciais que podem ser realizadas através de um SIG a partir das informações disponíveis na base de dados, tendo a unidade da paisagem como unidade acesso e que, de alguma forma poderá contribuir como uma informação a mais para auxiliar o processo de tomada de decisão.

Os mapas básicos utilizados (advindos do Relatório do Diagnóstico Ambiental da Bacia da Baía de Sepetiba - ZEE, 1996) são bastante simplificados, possuindo classes muitas vezes genéricas, o que eventualmente pode ter tornado o produto desta análise um tanto pobre em termos de qualidade do resultado final ou até mesmo de sua significação. Solicita-se ao leitor, que se abstraia do conteúdo da informação ou dos resultados obtidos e se concentre apenas no objetivo deste Estudo de Caso: possibilitar uma exemplificação dos métodos desenvolvidos e sugeridos por este trabalho.

Os mapas gerados para a simulação deste estudo de caso são, portanto, bastante genéricos. Não houve uma preocupação com o rigor da sua confecção, uma vez que seria usado apenas como exercício, a título de exemplificação e ilustração do método desenvolvido.

Deve-se ter em mente que o objetivo deste trabalho não é estudar em detalhes a Bacia da Baía de Sepetiba, mas sim, procedimentos metodológicos para auxiliar projetos de Tomada de Decisão a nível de Planejamento Regional, baseados na Análise Integrativa e em Novas Técnicas de Modelagem Espacial em Geoprocessamento (através do uso da lógica *fuzzy*).

---

---

---

## CAPÍTULO 7

### CONCLUSÕES

***Deus fez a natureza de forma tão perfeita que, dificilmente, um algoritmo ou método de análise conseguirá reproduzi-la na sua plenitude. Por outro lado, o homem tem atuado sobre o ambiente, de tal forma e com tamanha dinâmica, que equacionar e modelar o que já parecia impossível tornou-se um árduo desafio, senão uma missão quase impossível...***

#### 7.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Ao se analisar informações ecológicas e econômicas como subsídio a tomada de decisão no processo de planejamento regional, a seguinte matriz pode ser utilizada para distinguir procedimentos metodológicos que combinam duas formas de lidar com unidades territoriais: integrada e não integrada, e duas formas de gerar informações derivadas num processo de classificação por sobreposição ou *overlay* de variáveis temáticas : *fuzzy* e não *fuzzy*. O seguinte quadro resume estas combinações metodológicas:

Unidade Territorial	Overlay Não <i>Fuzzy</i>	Overlay <i>Fuzzy</i>
Não Integrada	ZEE1	ZEE2
Integrada	ZEE3	ZEE4

O uso de unidades territoriais não integradas e overlay não *fuzzy* (ZEE1) pode ser encontrado em abundância na literatura, sendo considerado, o método convencional de realização deste tipo de análise. O uso de unidades territoriais não integradas e overlay *fuzzy* (ZEE2) começa a surgir na literatura, como uma forma alternativa e um pouco mais precisa de se modelar a realidade, devido aos fatores citados ao longo do capítulo 4, quando foi apresentada classificação *fuzzy* e suas vantagens. A análise integrada com overlay não *fuzzy* (ZEE3), também pode ser encontrada em alguns trabalhos onde se procura melhorar a modelagem da realidade através do uso de *Landscape Ecology*, ou seja, modelando o ambiente de forma integrada, amplamente discutido no capítulo 3.

Este trabalho se propôs a estudar o conjunto de métodos que combinam o uso de unidades territoriais integradas e overlay *fuzzy* (ZEE4).

#### 7.2. CONSIDERAÇÕES SOBRE O MÉTODO DE ANÁLISE INTEGRADA

O Planejamento a nível regional permite uma visualização e conscientização global do que está ocorrendo numa região, considerando-se as dinâmicas das áreas vizinhas, ou seja, a topologia, a conexão das áreas e a influência de umas sobre as outras.

O uso da terra relaciona-se a fatores econômicos e provoca transformações nos fatores naturais, que se transformam e provocam conseqüências nas características naturais (erosão,

---

enchentes, inundações, secas, perdas de moradias, mortes, etc.), interferindo, portanto, nos fatores sociais.

O planejamento é possível através de um estudo integrado dos fatores sócio-econômicos e geo-biofísicos e de um estudo que privilegie a interligação espacial das dinâmicas de cada região, mantendo-se também a visão holística espacial, ou seja, levando-se em consideração as ações, as características naturais e sociais e sua localização. Portanto:

➡ a análise tem que ser efetuada considerando-se não só indicadores geobiofísicos, mas também os sócio-econômicos

➡ a análise deve considerar não somente os indicadores locais, mas também os que caracterizam a dinâmica e a conectividade com a sua vizinhança

O uso da abordagem integrada baseada nos conceitos da Ecologia da Paisagem, Geoecologia ou *Landscape Ecology*, foi eleita como a forma de se representar e modelar o ambiente de maneira mais realística, tentando-se analisar a paisagem como uma agregação de fatores geobiofísicos e sócio-econômicos, considerando-se a interligação espacial das dinâmicas da área estudada.

Para a geração destas unidades de paisagem, todo um processo analítico-integrativo deve ser realizado até se chegar a uma unidade capaz de representar uma porção integrada do ambiente. Existem duas formas de se realizar este procedimento:

➡ **Caso 1: Cruzamento de dois temas de cada vez:**

- observa-se a geração de unidades com características incoerentes, ou seja, sem interpretação geográfica, tais como: solos de baixada em áreas de declive acentuado ou vice-versa. Isto se deve aos seguintes motivos:

i) o nível de generalização dado a um determinado tema (por exemplo solo) é diferente do nível de generalização dado na criação do outro tema (compartimentos topográficos). Isto é muito comum, já que os mapas advêm de fontes diferentes.

ii) os limites demarcados na confecção de um tema não coincidem com os limites fornecidos na confecção do outro tema.

iii) os limites digitalizados podem sofrer pequenas modificações - erro de digitalização

iv) o fornecimento das classes dos temas dentro do ambiente SIG pode sofrer alguma alteração - erro de fornecimento de atributos SIG

➡ **Caso 2: Cruzamento (*cross operation*) de todos os temas ao mesmo tempo:**

- gera-se um mapa extremamente fragmentário: no estudo de caso ao se cruzar três temas simultaneamente, foram obtidos 227 domínios, enquanto o cruzamento dois a dois forneceu 54 domínios para análise

- dificulta a interpretação e integração de unidades, pois está-se trabalhando com legendas de três ou mais níveis de informação

- está sujeito a todos os erros expostos no caso 1, porém em proporções ainda maiores, pois está-se trabalhando com diversos mapas simultaneamente, todos passíveis de erros.

- fica difícil concluir se o erro advém de incoerências no cruzamento dos dois primeiros temas (por exemplo: mapa de solos em relação ao mapa de comp. topográfico) ou do segundo com o terceiro e assim por diante, como conseqüência, torna-se difícil a identificação do tema a ser alterado para minimizar os erros que surgirão com o cruzamento

- cruzando-se todos os temas simultaneamente, a ordem em que se considera estes temas não traz alterações ao resultado final .

Os Sistemas de Informação Geográfica devem ser utilizados como ferramenta para a elaboração dos cruzamentos que deverão sofrer a análise e intervenção do especialista e nunca como uma ferramenta de geração automática de domínios geoecológicos ou de Mapas de Paisagem. Os SIGs servem também para a geração de uma base de dados tendo os domínios geoecológicos ou paisagens como unidade de acesso e que poderão sofrer análises para a geração de informações derivadas e de interesse a nível de planeamento regional.

A unidade de paisagem é, portanto, a base do processo de Análise e Diagnóstico da Paisagem, definidos através de análises espaciais num ambiente SIG e que auxiliarão o processo de tomada de decisão, servindo de ferramenta ao Planeamento Regional.

Todos os procedimentos realizados, através do uso de um Sistema de Informação Geográfica, na fase de Análise e Diagnóstico da Paisagem, contribuem para a re-alimentação da base de dados georeferenciada, cuja unidade de referência é a paisagem, ou seja, áreas consideradas como células o mais homogêneas possíveis e que compõe, como um mosaico interligado, o ambiente.

A paisagem foi escolhida como unidade de estudo e referência por representar e modelar o carácter dinâmico dos componentes geobiofísicos e sócio-econômicos. Acredita-se que o uso de unidades de paisagem seja, portanto, uma forma mais próxima de se modelar a realidade tal como esta se apresenta no ambiente em que se vive.

### 7.3. CONSIDERAÇÕES SOBRE CLASSIFICAÇÃO E OVERLAY FUZZY

Para a manipulação espacial dos diversos temas definidos como indicadores de fenômenos no processo de Análise da Paisagem, num ambiente SIG, faz-se necessária a sobreposição ou análise destes diversos temas através de um processo de classificação ou modelagem espacial. As seguintes considerações podem ser traçadas ao se eleger o processo de classificação *fuzzy* como o mais apropriado à modelagem e *overlay* dos temas representativos da paisagem, numa visão integrada:

➤ A classificação por média ponderada dos pesos possui como limitação o fato destes *pesos serem considerados constantes ao longo de um Plano de Informação, o que muitas vezes não ocorre ao se considerar o ambiente de forma integrada*. Muitas vezes, a conjunção de parâmetros numa dada localização faz com que um determinado parâmetro, representado no Plano de Informação (PI), passe a ter menos importância numa dada localização e, portanto, seria necessário que houvesse um dispositivo que permitisse flexibilizar os valores dos pesos dos Planos de Informação de acordo com as características conjuntas da área estudada, o que não é possível quando se utiliza a classificação por média ponderada.

A classificação *fuzzy* soluciona este problema, pois não se fornece peso e nota aos temas, mas sim um *valor único que reflete o peso que Plano de Informação (PI) deve ter e a nota que melhor representa a classe estudada*, o que significa que desta forma, numa análise integrada é possível se compensar as diferenças de peso possivelmente existentes internamente em um mesmo PI.

➤ Além da flexibilidade relativa à ponderação da importância das características vigentes na área estudada, existe também a flexibilidade ao se escolher operadores distintos para sobrepor os diversos temas ou Planos de Informação eleitos como indicadores do fenômeno estudado. No caso do Estudo de Caso descrito no capítulo 6, este fenômeno era vulnerabilidade da paisagem.

No estudo de caso, constatou-se que a vulnerabilidade ficaria melhor modelada se os indicadores sócio-econômicos fossem sobrepostos (*overlay* de PIs), utilizando-se a função de

---

overlay OR, ou seja, tomando-se para cada localização o *máximo* valor *fuzzy* encontrado entre todos os mapas temáticos ou PIs participantes. Este procedimento forneceu um resultado mais condizente do que o obtido ao se modelar todos os PIs sócio-econômicos e geobiofísicos simultaneamente utilizando-se a mesma função de sobreposição: *fuzzy gamma function*.

Isto se deve ao fato dos Planos de Informação sócio-econômicos serem um tanto genéricos, possuindo apenas, em geral, classes *booleanas*, como por exemplo: áreas com infra-estrutura e áreas sem infra-estrutura. Ao se utilizar a sobreposição ou *overlay OR*, está-se tomando para cada localização o valor *fuzzy* máximo, o que significa que, se algumas das classes temáticas sobrepostas naquela região denotar que a área é vulnerável, tomar-se-á este valor, mesmo que para outras classes não seja vulnerável. Por exemplo: se uma dada localização não é uma área onde ocorre interseção de canais com vias de acesso, teoricamente, neste quesito, esta área não é tão vulnerável, porém se for uma área sem infra-estrutura, ela terá um valor *fuzzy* neste quesito um pouco mais alto. Com a sobreposição OR, a área receberá o valor *fuzzy* fornecido pelo indicador infra-estrutura.

Esta diferença, no que se pode chamar de escala de classificação, entre informações geobiofísicas e sócio-econômicas, estava interferindo no resultado final (se todos os indicadores ou temas fossem tratados como um *overlay* único), já que os PIs geobiofísicos possuem um grau de detalhamento categórico maior (por exemplo: para cada classe de paisagem, de acordo com suas características, atribuiu-se um valor *fuzzy*).

A possibilidade de se modelar determinado conjunto de temas, como por exemplo dados sócio-econômicos, com uma função de sobreposição específica, por exemplo OR, e, seu resultado ser utilizado como um Plano de Informação a ser sobreposto, através do uso de outra função de sobreposição, com os demais temas geobiofísicos, introduz, sem dúvida, uma grande flexibilidade à modelagem, permitindo uma aproximação ainda maior com a realidade.

➡ Flexibilidade oferecida pelo processo de sobreposição ou *overlay fuzzy* através da função *gamma*.

Conforme visto no Estudo de Caso apresentado no capítulo 6, a lógica *fuzzy* permite explorar o *overlay* dos Planos de Informação, ou seja, dos temas utilizados como indicadores, através da análise de uma distribuição (*gamma function*) entre uma função que maximiza os resultados (FAS - Fuzzy Algebraic Sum) e uma função que minimiza os resultados (FAP - Fuzzy Algebraic Product), os resultados trabalhados entre estes valores, ou seja, nesta distribuição, permitem modelar de forma mais flexível a realidade, já que está-se trabalhando com dados sócio-econômicos e geobiofísicos, informações que por si só não são precisas e não possuem limites rígidos entre uma classe e outra.

Em outras palavras, pode-se dizer que, não se pode garantir, por exemplo, que haverá mudança de tipo de solo exatamente no limite demarcado no mapa de solos. Esta mesma imprecisão ocorre para os demais temas utilizados como indicadores: geologia, topografia, paisagem, balanço hídrico, infra-estrutura etc.

Os mapas temático, são formas de se expressar ou representar classes que, por si só não possuem limites rígidos e sofrem inevitavelmente dois tipos de imprecisão:

- a imprecisão temática em si - no estudo de caso apresentado no capítulo 6, por exemplo, foram utilizados como mapas básicos, os mapas gerados no Diagnóstico Ambiental da Bacia da Baía de Sepetiba (ZEE, 1996), que por si só já são mapas generalizados, provenientes de diversas fontes, trazendo consigo um certo grau de incerteza quanto a sua confiabilidade.
- A imprecisão devido ao fato da classificação temática, ainda que detalhada, bem produzida e não generalizada, considerar limites rígidos, quando na verdade dados geobiofísicos e sócio-econômicos não podem ser representados desta forma: contido/não-contido, pertence/não-

---

pertence, pois são fenômenos espacialmente variáveis, apresentando um certo grau de imprecisão nas bordas ou fronteiras delimitadoras das classes (SIMÕES, 1996a; SIMÕES, 1997).

A modelagem *fuzzy* permite trabalhar esta imprecisão através da variação do *gamma*, durante o processo de *overlay* ou sobreposição dos temas. Ao se variar *gamma*, está-se trabalhando no intervalo entre o resultado maximizado e minimizado. As seguintes conclusões podem ser observadas:

- existe uma área de incerteza entre as zonas consideradas moderadamente vulneráveis e vulneráveis e as zonas vulneráveis e muito vulneráveis etc.

A delimitação destas zonas de incerteza (Mapa Derivado MD5) pode auxiliar a tomada de decisão, por exemplo:

- Se o tomador de decisão desejar investir imediatamente na área estudada, será de boa prática fazê-lo na zona de interseção da variação dos *gammas* estudados, ou seja, a área **fora** destas zonas de imprecisão, área onde para todas as situações é classificada como *pouco vulnerável* ou *moderadamente vulnerável*, por exemplo. Isto se deve ao fato de na zona de transição ou imprecisão (de *moderadamente vulnerável para vulnerável*), não se ter a certeza se é realmente moderadamente vulnerável ou se é vulnerável, devido às imprecisões das informações de entrada citadas anteriormente.
- Se o tomador de decisão quiser investir na melhoria da vulnerabilidade da área, da mesma forma, deve fazê-lo, na área de interseção, onde após o *overlay* com variação de *gamma*, sempre está classificado como *muito vulnerável*. Da mesma forma que no caso anterior, nas zonas de incertezas (entre muito vulnerável e vulnerável) não se pode garantir que seja muito vulnerável.

Desta forma a lógica *fuzzy* permite uma maior exploração das informações disponíveis, uma melhor modelagem e uma melhor análise, já que se pode modelar as áreas consideradas de maior possibilidade de certeza e as áreas de incerteza.

O que se obtém ao final, portanto, não é um mapa estático, cujo resultado possui um erro inerente ao processo de modelagem da realidade, mas sim, uma fonte de informação, onde diversos resultados podem ser extraídos, avaliados e eleitos para serem utilizados, dependendo do trabalho a ser realizado e do grau de precisão em que se deseja trabalhar.

Esta flexibilidade de resultado é fundamental nas avaliações para tomada de decisão e na geração de cenários. Sabe-se, por exemplo, que um Zoneamento, não possui um resultado estático, pois não existem limites estáticos no meio ambiente e nas áreas de atuação humana sobre este ambiente. Consequentemente, as ações a serem tomadas não podem ser estáticas, mas devem ter uma gama de possibilidades em função de combinações de alternativas e objetivos.

No processo de propagação de erros, verifica-se que, a vulnerabilidade, no nosso estudo de caso, é utilizada subsequente nas demais fases de Análise e Diagnóstico. Portanto, explorar e concluir com mais precisão e mais próxima a realidade contribuirá para uma melhor análise das fases subsequentes e para uma menor propagação de erros.

No processo de tomada de decisão, pode-se utilizar uma visão mais crítica, ou seja, o mapa de vulnerabilidade mais crítico (gerado através da utilização de um *gamma* mais alto), ou uma visão mais otimista, ou seja, mapa de vulnerabilidade menos crítico (gerado através da utilização de um *gamma* mais baixo) e desta forma ter-se cenários distintos no processo de análise/diagnóstico da paisagem.

---

No estudo de caso apresentado no capítulo 6, o mapa de vulnerabilidade através do uso do  $\gamma=0.65$  foi utilizado, por ser considerado o mais próximo da realidade atual<sup>22</sup>, entretanto, poder-se-ia repetir o processo de análise/diagnóstico realizado, considerando-se o mapa de vulnerabilidade obtido com o uso do  $\gamma=0.50$  (menos crítico) e depois utilizando-se o mapa de vulnerabilidade obtido com o uso do  $\gamma=0.70$  (mais crítico).

Novamente ter-se-ia uma gama de informações mais abundantes e novos cenários poderiam ser criados, enriquecendo e contribuindo no processo de tomada de decisão.

#### 7.4. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

A lógica *fuzzy*, pode não ser o instrumento perfeito para a representação da realidade e do ambiente em que se vive, uma vez que, um modelo, sempre representará a realidade de forma simplificada. No entanto, o uso de classificação *fuzzy* pode, indubitavelmente, contribuir para a melhoria desta representação.

Após o exposto, pode-se concluir que o uso de lógica *fuzzy* pode ser uma avanço, portanto, na modelagem da paisagem e no processo de tomada de decisão, sendo um primeiro passo ao desenvolvimento de um Sistema de Suporte à Decisão.

Sugere-se, neste trabalho, que se estenda e se explore o uso de lógica *fuzzy* na geração de diversas análises e que se crie um Sistema de Suporte a Decisão (SSD) ou *Decision Support System (DSS)* para auxiliar o processo de tomada de decisão a nível de Planejamento Regional.

O uso de Geocologia ou Ecologia da Paisagem e da abordagem analítico-integrativa para a geração de unidades territoriais homogêneas ou unidades de paisagem, juntamente com o uso de novas técnicas de Geoprocessamento, tais como a classificação *fuzzy*, além do uso de modelagens espaciais nos Sistemas de Informação Geográfica e de uma constante alimentação da base de dados georeferenciada, tal como sugerido ao longo deste trabalho, poderia ser complementado com o suporte ao raciocínio lógico e à análise de múltiplas hipóteses de um Sistema de Suporte à Decisão.

Isto seria um grande avanço no casamento de técnicas e ferramentas de análise com a base de conhecimento dos especialistas (*Landscape Ecologist, expert knowledge*), na geração de base de dados e modelagem da realidade, complementada através da simulação das diversas hipóteses encontradas, estabelecendo-se um suporte a tomada de decisão.

Finalmente, para um maior aprofundamento sobre Sistemas de Suporte à Decisão e Técnicas de Avaliação ou Análise Multicritério aplicado a Projetos de Planejamento Regional remeto o leitor a: (HOANH, 1996), (HUIZING e Bronsveld, 1994) e (SHARIFI, 1995a; SHARIFI, 1995b).

---

<sup>22</sup>Guardadas as devidas limitações de precisão, devido a qualidade dos mapas utilizados como base.

Ressalta-se, novamente que, o objetivo deste trabalho não é estudar em detalhes a Bacia da Baía de Sepetiba, mas sim, procedimentos metodológicos para auxiliar projetos de Tomada de Decisão a nível de Planejamento Regional, baseados na Análise Integrativa e em Novas Técnicas de Modelagem Espacial em Geoprocessamento (através do uso da lógica *fuzzy*).

---

## ANEXO

*Neste anexo encontram-se as tabelas resultantes do cruzamento dos temas para a formação do mapa de paisagem, os mapas básicos utilizados como base para a realização do Inventário, Análises e Diagnósticos da Paisagem, bem como os mapas derivados destas análises e produzidos de acordo com a metodologia descrita ao longo deste trabalho.*

### *Cruzamento dos Mapas: Solos x Comp.Topográfico*

Solo	Comp. Top.	Num. Pixel	Área
latossolo verme	100-200m	10443	6526875.0000
latossolo verme	200-400m	81940	51212500.000
latossolo verme	400-600m	100846	63028750.000
latossolo verme	600-800m	11613	7258125.0000
latossolo verme	baixada	626	391250.00000
planossolo	100-200m	263	164375.00000
planossolo	400-600m	1762	1101250.0000
planossolo	600-800m	5177	3235625.0000
planossolo	>800m	723	451875.00000
planossolo	baixada	351533	219708125.00
planossolo	colinas	41742	26088750.000
planossolo	fundo	651	406875.00000
podzolico verme	100-200m	67425	42140625.000
podzolico verme	200-400m	82096	51310000.000
podzolico verme	400-600m	50166	31353750.000
podzolico verme	600-800m	15110	9443750.0000
podzolico verme	>800m	20857	13035625.000
podzolico verme	baixada	267570	167231250.00
podzolico verme	colinas	192796	120497500.00
podzolico verme	fundo	2861	1788125.0000
solos aluviais	200-400m	2055	1284375.0000
solos aluviais	400-600m	405	253125.00000
solos aluviais	600-800m	2953	1845625.0000
solos aluviais	>800m	31	19375.000000
solos aluviais	baixada	41133	25708125.000
solos aluviais	colinas	184	115000.00000
Fundo	200-400m	21	13125.000000
Fundo	baixada	4486	2803750.0000
Fundo	colinas	3569	2230625.0000

Solo	Comp. Top.	Num. Pixel	Área
area urbana	100-200m	9008	5630000.0000
area urbana	200-400m	6445	4028125.0000
area urbana	400-600m	2799	1749375.0000
area urbana	baixada	195657	122285625.00
area urbana	colinas	18201	11375625.000
area urbana	fundo	1353	845625.000000
areia quartzosa	400-600m	58	36250.000000
areia quartzosa	baixada	76814	48008750.000
areia quartzosa	fundo	32	20000.000000
cambissolo	100-200m	25881	16175625.000
cambissolo	200-400m	340090	212556250.00
cambissolo	400-600m	359630	224768750.00
cambissolo	600-800m	275263	172039375.00
cambissolo	>800m	128582	80363750.000
cambissolo	baixada	73657	46035625.000
cambissolo	colinas	15786	9866250.0000
cambissolo	fundo	2324	1452500.0000
gley	100-200m	1708	1067500.0000
gley	200-400m	3403	2126875.0000
gley	400-600m	2032	1270000.0000
gley	baixada	353841	221150625.00
gley	colinas	9949	6218125.0000
gley	fundo	895	559375.00000
gley tiomorfico	100-200m	1323	826875.00000
gley tiomorfico	200-400m	2400	1500000.0000
gley tiomorfico	400-600m	376	235000.00000
gley tiomorfico	600-800m	455	284375.00000
gley tiomorfico	baixada	159360	99600000.000
gley tiomorfico	fundo	225	140625.00000

## Cruzamento dos Mapas: Solos x Litologia x Comp. Topográficos

Solo x Litologia	Comp. Top.	Num. pixel	Área
latossolo verme*Rochas Metassed	100-200m	8836	5522500.0000
latossolo verme*Rochas Metassed	200-400m	22087	13804375.0000
latossolo verme*Rochas Metassed	400-600m	12361	7725625.0000
latossolo verme*Rochas Metassed	600-800m	4325	2703125.0000
latossolo verme*Rochas Metassed	baixada	29312	18320000.0000
latossolo verme*Rochas Metassed	colinas	203	126875.00000
latossolo verme*Rochas Metassed	fundo	196	122500.00000
latossolo verme*Granitoide Rio	100-200m	1373	858125.00000
latossolo verme*Granitoide Rio	200-400m	54488	34055000.0000
latossolo verme*Granitoide Rio	400-600m	48393	30245624.0000
latossolo verme*Granitoide Rio	600-800m	4521	2825625.0000
latossolo verme*Granitoide Rio	baixada	705	440625.00000
latossolo verme*Granitoide Rio	fundo	1	?
cambissolo*Rochas Metaigne	100-200m	4290	2681250.0000
cambissolo*Rochas Metaigne	200-400m	171226	107016248.00
cambissolo*Rochas Metaigne	400-600m	214605	134128128.00
cambissolo*Rochas Metaigne	600-800m	188961	118100624.00
cambissolo*Rochas Metaigne	>800m	74845	46778124.0000
cambissolo*Rochas Metaigne	baixada	29651	18531876.0000
cambissolo*Rochas Metaigne	colinas	8149	5093125.0000
cambissolo*Rochas Metaigne	fundo	2010	1256250.0000
cambissolo*Granodioritos	100-200m	3663	2289375.0000
cambissolo*Granodioritos	200-400m	22747	14216875.0000
cambissolo*Granodioritos	400-600m	23830	14893750.0000
cambissolo*Granodioritos	600-800m	15143	9464375.0000
cambissolo*Granodioritos	>800m	22381	13988125.0000
cambissolo*Granodioritos	baixada	3012	1882500.0000
cambissolo*Granodioritos	colinas	637	398125.00000
cambissolo*Granodioritos	fundo	5	?
latossolo verme*Rochas Metaigne	100-200m	234	146250.00000
latossolo verme*Rochas Metaigne	200-400m	7615	4759375.0000
latossolo verme*Rochas Metaigne	400-600m	37497	23435624.0000
latossolo verme*Rochas Metaigne	600-800m	7101	4438125.0000
latossolo verme*Granodioritos	200-400m	370	231250.00000
latossolo verme*Granodioritos	400-600m	4610	2881250.0000
cambissolo*Granitoide Rio	100-200m	10058	6286250.0000
cambissolo*Granitoide Rio	200-400m	85767	53604376.0000
cambissolo*Granitoide Rio	400-600m	84389	52743124.0000
cambissolo*Granitoide Rio	600-800m	22242	13901250.0000
cambissolo*Granitoide Rio	baixada	18152	11345000.0000
cambissolo*Granitoide Rio	colinas	6534	4083750.0000
cambissolo*Rochas Metassed	100-200m	7648	4780000.0000
cambissolo*Rochas Metassed	200-400m	38309	23943124.0000
cambissolo*Rochas Metassed	400-600m	6875	4296875.0000
cambissolo*Rochas Metassed	colinas	273	170625.00000
latossolo verme*Granitos	400-600m	885	553125.00000
solos aluviais*Granitoide Rio	200-400m	2055	1284375.0000
solos aluviais*Granitoide Rio	400-600m	238	148750.00000
solos aluviais*Granitoide Rio	600-800m	1054	658750.00000
solos aluviais*Granitoide Rio	baixada	11520	7200000.0000
cambissolo*Fundo	200-400m	740	462500.00000
cambissolo*Fundo	400-600m	222	138750.00000
cambissolo*Fundo	600-800m	28	?
cambissolo*Fundo	>800m	4	?
cambissolo*Fundo	baixada	2682	1676250.0000
latossolo verme*Fundo	200-400m	355	221875.00000
solos aluviais*Rochas Metaigne	400-600m	151	94375.000000
solos aluviais*Rochas Metaigne	600-800m	1698	1061250.0000

Solo x Litologia	Comp. Top.	Num. pixel	Área
solos aluviais*Rochas Metaigne	>800m	9	?
solos aluviais*Rochas Metaigne	baixada	4423	2764375.0000
solos aluviais*Fundo	baixada	554	346250.00000
cambissolo*Rochas Alcalina	200-400m	5718	3573750.0000
cambissolo*Rochas Alcalina	400-600m	18278	11423750.0000
cambissolo*Rochas Alcalina	600-800m	26413	16508125.0000
cambissolo*Rochas Alcalina	>800m	31013	19383124.0000
cambissolo*Rochas Alcalina	colinas	40	25000.000000
podzolico verme*Granitoide Rio	100-200m	31884	19927500.0000
podzolico verme*Granitoide Rio	200-400m	13121	8200625.0000
podzolico verme*Granitoide Rio	400-600m	5288	3305000.0000
podzolico verme*Granitoide Rio	baixada	47032	29395000.0000
podzolico verme*Granitoide Rio	colinas	43606	27253750.0000
podzolico verme*Granitoide Rio	fundo	573	358125.00000
podzolico verme*Granodioritos	100-200m	3579	2236875.0000
podzolico verme*Granodioritos	200-400m	5624	3515000.0000
podzolico verme*Granodioritos	400-600m	3907	2441875.0000
podzolico verme*Granodioritos	600-800m	3553	2220625.0000
podzolico verme*Granodioritos	>800m	2509	1568125.0000
podzolico verme*Granodioritos	baixada	50435	31521876.0000
podzolico verme*Granodioritos	colinas	79275	49546876.0000
podzolico verme*Granodioritos	fundo	828	517500.00000
podzolico verme*Rochas Metaigne	100-200m	17212	10757500.0000
podzolico verme*Rochas Metaigne	200-400m	21071	13169375.0000
podzolico verme*Rochas Metaigne	400-600m	2868	1792500.0000
podzolico verme*Rochas Metaigne	600-800m	3410	2131250.0000
podzolico verme*Rochas Metaigne	>800m	581	363125.00000
podzolico verme*Rochas Metaigne	baixada	125797	78623128.0000
podzolico verme*Rochas Metaigne	colinas	55488	34680000.0000
podzolico verme*Rochas Metaigne	fundo	1436	897500.00000
cambissolo*Sedimentos Fluv	100-200m	222	138750.00000
cambissolo*Sedimentos Fluv	200-400m	508	317500.00000
cambissolo*Sedimentos Fluv	400-600m	720	450000.00000
cambissolo*Sedimentos Fluv	600-800m	1656	1035000.0000
cambissolo*Sedimentos Fluv	>800m	328	205000.00000
cambissolo*Sedimentos Fluv	baixada	12814	8008750.0000
cambissolo*Sedimentos Fluv	colinas	153	95625.000000
podzolico verme*Rochas Alcalina	100-200m	3163	1976875.0000
podzolico verme*Rochas Alcalina	400-600m	310	193750.00000
podzolico verme*Rochas Alcalina	600-800m	4638	2898750.0000
podzolico verme*Rochas Alcalina	>800m	2496	1560000.0000
podzolico verme*Rochas Alcalina	baixada	1088	680000.00000
podzolico verme*Rochas Alcalina	colinas	2070	1293750.0000
podzolico verme*Sedimentos Fluv	100-200m	325	203125.00000
podzolico verme*Sedimentos Fluv	200-400m	1143	714375.00000
podzolico verme*Sedimentos Fluv	400-600m	433	270625.00000
podzolico verme*Sedimentos Fluv	600-800m	35	21875.000000
podzolico verme*Sedimentos Fluv	>800m	41	25625.000000
podzolico verme*Sedimentos Fluv	baixada	30275	18921876.0000
podzolico verme*Sedimentos Fluv	colinas	4050	2531250.0000
podzolico verme*Sedimentos Fluv	fundo	24	?
podzolico verme*Fundo	baixada	10	?
gley*Rochas Metaigne	100-200m	1603	1001875.0000
gley*Rochas Metaigne	200-400m	1927	1204375.0000
gley*Rochas Metaigne	baixada	42032	26270000.0000
gley*Rochas Metaigne	colinas	4095	2559375.0000
gley*Rochas Metaigne	fundo	554	346250.00000
gley*Sedimentos Fluv	100-200m	105	65625.000000

Solo x Litologia	Comp. Top.	Num. pixel	Área
gley*Sedimentos Fluv	200-400m	534	333750.00000
gley*Sedimentos Fluv	400-600m	375	234375.00000
gley*Sedimentos Fluv	baixada	288983	180614368.00
gley*Sedimentos Fluv	colinas	1253	783125.00000
gley*Sedimentos Fluv	fundo	224	140000.00000
planossolo*Rochas Metaigne	100-200m	263	164375.00000
planossolo*Rochas Metaigne	400-600m	1560	975000.00000
planossolo*Rochas Metaigne	600-800m	4066	2541250.0000
planossolo*Rochas Metaigne	>800m	723	451875.00000
planossolo*Rochas Metaigne	baixada	161334	100833752.00
planossolo*Rochas Metaigne	colinas	37871	23669376.000
planossolo*Rochas Metaigne	fundo	301	188125.00000
planossolo*Sedimentos Fluv	400-600m	202	126250.00000
planossolo*Sedimentos Fluv	600-800m	1111	694375.00000
planossolo*Sedimentos Fluv	baixada	166568	104105000.00
planossolo*Sedimentos Fluv	colinas	1091	681875.00000
planossolo*Sedimentos Fluv	fundo	13	?
podzolico verme*Rochas Metassed	100-200m	4080	2550000.0000
podzolico verme*Rochas Metassed	200-400m	8574	5358750.0000
podzolico verme*Rochas Metassed	400-600m	1682	1051250.0000
podzolico verme*Rochas Metassed	colinas	8266	5166250.0000
solos aluviais*Sedimentos Fluv	400-600m	16	?
solos aluviais*Sedimentos Fluv	600-800m	201	125625.00000
solos aluviais*Sedimentos Fluv	>800m	22	?
solos aluviais*Sedimentos Fluv	baixada	24636	15397500.000
solos aluviais*Sedimentos Fluv	colinas	184	115000.00000
planossolo*Fundo	baixada	1028	642500.00000
gley*Granodioritos	baixada	1087	679375.00000
gley*Granodioritos	colinas	1199	749375.00000
gley*Fundo	200-400m	6	?
gley*Fundo	baixada	1395	871875.00000
podzolico verme*Granitos	100-200m	7182	4488750.0000
podzolico verme*Granitos	200-400m	26487	16554375.000
podzolico verme*Granitos	400-600m	29410	18381250.000
podzolico verme*Granitos	600-800m	3474	2171250.0000
podzolico verme*Granitos	>800m	15228	9517500.0000
podzolico verme*Granitos	baixada	10946	6841250.0000
podzolico verme*Granitos	colinas	32	?
area urbana*Rochas Metaigne	100-200m	5554	3471250.0000
area urbana*Rochas Metaigne	200-400m	524	327500.00000
area urbana*Rochas Metaigne	400-600m	24	?
area urbana*Rochas Metaigne	baixada	33700	21062500.000
area urbana*Rochas Metaigne	colinas	2883	1801875.0000
area urbana*Rochas Metaigne	fundo	404	252500.00000
gley*Kinzigitos	baixada	7141	4463125.0000
gley*Kinzigitos	colinas	670	418750.00000
gley*Kinzigitos	fundo	117	73125.000000
area urbana*Sedimentos Fluv	100-200m	324	202500.00000
area urbana*Sedimentos Fluv	200-400m	292	182500.00000
area urbana*Sedimentos Fluv	400-600m	506	316250.00000
area urbana*Sedimentos Fluv	baixada	121123	75701872.000
area urbana*Sedimentos Fluv	colinas	374	233750.00000
area urbana*Sedimentos Fluv	fundo	18	?
gley*Granitos	200-400m	935	584375.00000
gley*Granitos	400-600m	1401	875625.00000
gley*Granitos	baixada	5212	3257500.0000
gley*Granitos	colinas	1161	725625.00000
area urbana*Fundo	baixada	860	537500.00000

Solo x Litologia	Comp. Top.	Num. pixel	Área
planossolo*Kinzigitos	baixada	6207	3879375.0000
planossolo*Kinzigitos	colinas	1654	1033750.0000
area urbana*Granitos	100-200m	1976	1235000.0000
area urbana*Granitos	200-400m	5629	3518125.0000
area urbana*Granitos	400-600m	2269	1418125.0000
area urbana*Granitos	baixada	19898	12436250.0000
area urbana*Granitos	colinas	4576	2860000.0000
area urbana*Granitos	fundo	483	301875.000000
gley*Leptinitos	baixada	7181	4488125.0000
gley*Leptinitos	colinas	1571	981875.000000
area urbana*Granodioritos	100-200m	1154	721250.000000
area urbana*Granodioritos	baixada	48	30000.000000
planossolo*Leptinitos	baixada	14415	9009375.0000
planossolo*Leptinitos	colinas	1126	703750.000000
planossolo*Leptinitos	fundo	35	21875.000000
area urbana*Kinzigitos	baixada	365	228125.000000
area urbana*Kinzigitos	colinas	245	153125.000000
area urbana*Leptinitos	baixada	19663	12289375.0000
area urbana*Leptinitos	colinas	10123	6326875.0000
area urbana*Leptinitos	fundo	448	280000.000000
gley tiomorfico*Sedimentos Fluv	100-200m	75	46875.000000
gley tiomorfico*Sedimentos Fluv	600-800m	288	180000.000000
gley tiomorfico*Sedimentos Fluv	baixada	100304	62690000.0000
gley tiomorfico*Sedimentos Fluv	fundo	21	?
gley tiomorfico*Fundo	baixada	2173	1358125.0000
gley tiomorfico*Rochas Metaigne	100-200m	47	29375.000000
gley tiomorfico*Rochas Metaigne	600-800m	167	104375.000000
gley tiomorfico*Rochas Metaigne	baixada	598	373750.000000
cambissolo*Granitos	200-400m	9845	6153125.0000

***Cruzamento dos Mapas: (Solos x Litologia x Comp. Topográficos) x Uso do Solo = Mapa de Paisagem***

• **DOMÍNIOS INSERIDOS NA ZONA DE BAIXADA:**

Descrição Geobiofísica	Uso	Paisagem
baixada, sedimentos quaternários e solos glei	Oc. Agrícola	62
baixada, sedimentos quaternários e solos glei	Ter. Alagados	88
baixada, sedimentos quaternários e solos glei	Gramíneas	51
baixada, sedimentos quaternários e solos glei	Mangue	95
baixada, sedimentos quaternários e solos glei	Matas	64
baixada, sedimentos quaternários e solos glei	Oc. Urbana	57
baixada, sedimentos quaternários e solo glei tiomórfico	Oc. Agrícola	99
baixada, sedimentos quaternários e solo glei tiomórfico	Ter. Alagados	78
baixada, sedimentos quaternários e solo glei tiomórfico	Gramíneas	85
baixada, sedimentos quaternários e solo glei tiomórfico	Mangue	89
baixada, sedimentos quaternários e solo glei tiomórfico	Matas	81
baixada, sedimentos quaternários e solo glei tiomórfico	Oc. Urbana	84
baixada, sedimentos quaternários e planossolos + gleis	Oc. Agrícola	33
baixada, sedimentos quaternários e planossolos + gleis	Ter. Alagados	72
baixada, sedimentos quaternários e planossolos + gleis	Gramíneas	17
baixada, sedimentos quaternários e planossolos + gleis	Mangue	86
baixada, sedimentos quaternários e planossolos + gleis	Matas	29
baixada, sedimentos quaternários e planossolos + gleis	Oc. Urbana	37
baixada, sedim. quaternários e solos em areias quartzosas marinhas	Mangue	105
baixada, sedim. quaternários e solos em areias quartzosas marinhas	Matas	106
baixada, sedim. quaternários e solos em areias quartzosas marinhas	Restinga	103
Descrição Geobiofísica	Uso	Paisagem
colinas, granitos e solos podzólicos	Gramíneas	35
colinas, granitos e solos podzólicos	Matas	41

---

colinas, granitos e solos podzólicos	Oc. Urbana	52
colinas, rochas metassedimentares e solos podzólicos	Gramíneas	40
colinas, rochas metassedimentares e solos podzólicos	Matas	47
colinas, rochas metassedimentares e solos podzólicos	Oc. Urbana	74
colinas, rochas metassedimentares e cambissolos	Gramíneas	32
colinas, rochas metassedimentares e cambissolos	Oc. Urbana	36
colinas, rochas metaígneas e solos podzólicos	Gramíneas	46
colinas, rochas metaígneas e solos podzólicos	Oc. Urbana	53
colinas, rochas metaígneas e cambissolos	Matas	101

• **DOMÍNIOS INSERIDOS NA ZONA SERRANA:**

Descrição Geobiofísica	Uso	Paisagem
desnívelamento de 100 a 200m, rochas alcalinas e cambissolos	Matas	58
desnívelamento de 100 a 200m, granitos e podzólicos	Oc. Agríc.	67
desnívelamento de 100 a 200m, granitos e podzólicos	Gramíneas	82
desnívelamento de 100 a 200m, granitos e podzólicos	Mangue	104
desnívelamento de 100 a 200m, granitos e podzólicos	Matas	61
desnívelamento de 100 a 200m, granitos e podzólicos	Oc. Urbana	75
desnívelamento de 100 a 200m, granitos e cambissolos	Gramíneas	22
desnívelamento de 100 a 200m, granitos e cambissolos	Mangue	19
desnívelamento de 100 a 200m, rochas metassedimentares e latossolos	Oc. Agrícola	7
desnívelamento de 100 a 200m, rochas metassedimentares e latossolos	Matas	1
desnívelamento de 100 a 200m, rochas metassedimentares e latossolos	Gramíneas	2
desnívelamento de 100 a 200m, rochas metassedimentares e podzólicos	Matas	43
desnívelamento de 100 a 200m, rochas metassedimentares e podzólicos	Gramíneas	42
desnívelamento de 100 a 200m, rochas metassedimentares e cambissolos	Matas	23
desnívelamento de 100 a 200m, rochas metassedimentares e cambissolos	Gramíneas	24
desnívelamento de 100 a 200m, rochas metaígneas e latossolos	Matas	15
desnívelamento de 100 a 200m, rochas metaígneas e latossolos	Gramíneas	18
desnívelamento de 100 a 200m, rochas metaígneas e podzólicos	Oc.Agrícola	66
desniv.de 100 a 200m, rochas metaígneas e podzólicos	Gramíneas	49
Descrição Geobiofísica	Uso	Paisagem

desnívelamento de 100 a 200m, rochas metaígneas e podzólicos	Matas	54
desnívelamento de 100 a 200m, rochas metaígneas e podzólicos	Oc.Urbana	70
desnívelamento de 100 a 200m, rochas metaígneas e cambissolos	Gramíneas	11
desnívelamento de 100 a 200m, rochas metaígneas e cambissolos	Matas	9
desnívelamento de 200 a 600m, rochas alcalinas e podzólicos	Matas	45
desnívelamento de 200 a 600m, rochas alcalinas e cambissolos	Gramíneas	59
desnívelamento de 200 a 600m, rochas alcalinas e cambissolos	Matas	27
desnívelamento de 200 a 600m, rochas alcalinas e cambissolos	Oc.Urbana	63
desnívelamento de 200 a 600m, granitos e latossolos	Matas	20
desnívelamento de 200 a 600m, granitos e podzólicos	Gramíneas	100
desnívelamento de 200 a 600m, granitos e podzólicos	Mangue	102
desnívelamento de 200 a 600m, granitos e podzólicos	Matas	87
desnívelamento de 200 a 600m, granitos e podzólicos	Oc.Urbana	90
desnívelamento de 200 a 600m, granitos e cambissolos	Oc.Agrícola	34
desnívelamento de 200 a 600m, granitos e cambissolos	Gramíneas	6
desnívelamento de 200 a 600m, granitos e cambissolos	Matas	4
desnívelamento de 200 a 600m, rochas metassedimentares e latossolos	Gramíneas	25
desnívelamento de 200 a 600m, rochas metassedimentares e latossolos	Matas	21
desnívelamento de 200 a 600m, rochas metassedimentares e podzólicos	Gramíneas	38
desnívelamento de 200 a 600m, rochas metassedimentares e podzólicos	Matas	39
Descrição Geobiofísica	Uso	Paisagem
desnívelamento de 200 a 600m, rochas metassedimentares e cambissolos	Gramíneas	10
desnívelamento de 200 a 600m, rochas metassedimentares	Matas	8

e cambissolos		
desnivelamento de 200 a 600m, rochas metaígneas e latossolos	Gramíneas	12
desnivelamento de 200 a 600m, rochas metaígneas e latossolos	Matas	13
desnivelamento de 200 a 600m, rochas metaígneas e podzólicos	Matas	83
desnivelamento de 200 a 600m, rochas metaígneas e podzólicos	Oc. Urbana	79
desnivelamento de 200 a 600m, rochas metaígneas e cambissolos	Matas	3
desnivelamento de 200 a 600m, rochas metaígneas e cambissolos	Oc.Agríc.	71
desnivelamento de 200 a 600m, rochas metaígneas e cambissolos	Ter.Alagados	77
desnivelamento de 200 a 600m, rochas metaígneas e cambissolos	Gramíneas	5
desnivelamento de 200 a 600m, rochas metaígneas e cambissolos	Oc.Urbana	44
desnivelamento maior que 600m, rochas alcalinas e cambissolos	Matas	26
desnivelamento maior que 600m, granitos e podzólicos.	Oc.Urbana	98
desnivelamento maior que 600m, granitos e podzólicos.	Matas	94
desnivelamento maior que 600m, granitos e cambissolos.	Oc.Agríc.	31
desnivelamento maior que 600m, granitos e cambissolos.	Matas	30
desnivelamento maior que 600m, rochas metaígneas e cambissolos	Oc.Agríc.	68
desnivelamento maior que 600m, rochas metaígneas e cambissolos	Matas	16
desnivelamento maior que 600m, rochas metaígneas e cambissolos	Gramíneas	14

## APÊNDICE

*Neste apêndice será apresentada de forma sucinta a descrição dos componentes, da estrutura e das funções de um Sistema de Informação Geográfica, visando auxiliar àqueles que não possuem o domínio sobre este tema, a terem um maior entendimento dos métodos que foram adotados ao longo deste trabalho.*

### 8.1. SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

A informação Geográfica pode ser compreendida como sendo um conjunto de dados representativos de fenômenos físicos ou sociais, os quais possuem uma relação direta de **localização** com um ponto ou porção da superfície da Terra. Esta informação geográfica é normalmente obtida através de duas fontes, conforme apresentada na Figura A.2.

- fontes primárias - correspondem as informações obtidas diretamente em trabalhos de campo, prospecção e informações provenientes de fotografias aéreas, imagens de satélites etc.;
- fontes secundárias - corresponde as informações levantadas por meio de mapas, estudos estatísticos (tabelas e gráficos) etc.

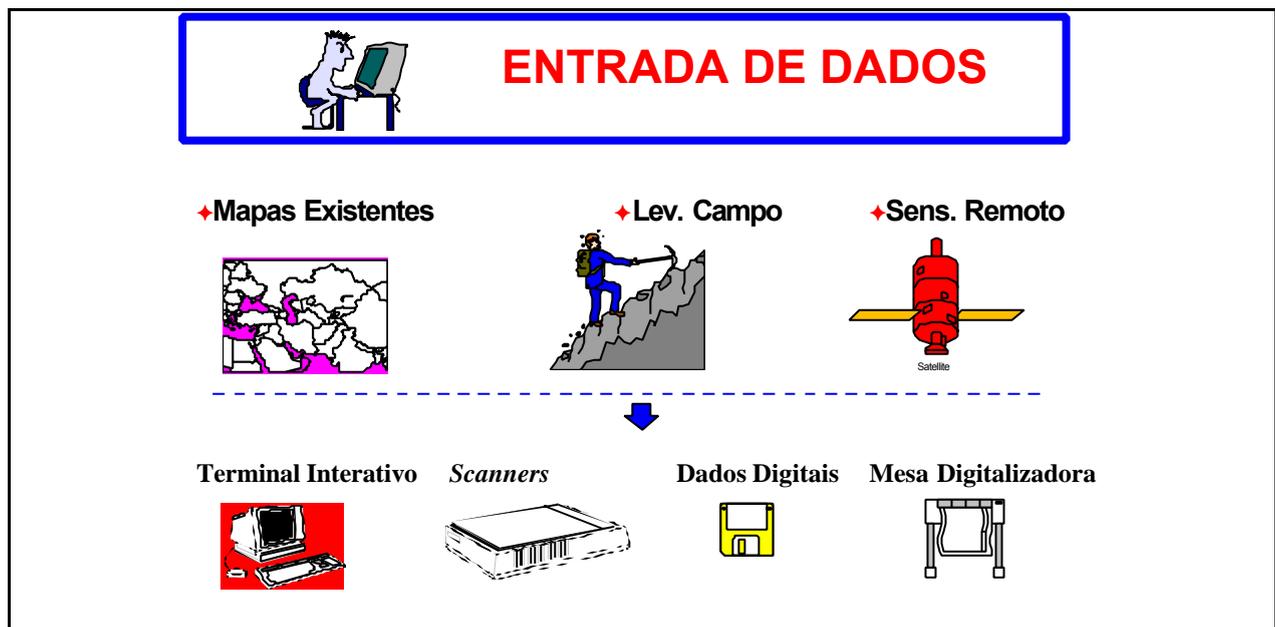


Figura A.1 - Entrada de Dados num SIG

Segundo PARENTE (1988): *Um Sistema de Informação Geográfica (SIG) é um sistema que contém dados referenciados espacialmente que podem ser analisados e convertidos em informação para um objetivo ou aplicação específica.*

Um Sistema de Informação Geográfica é, portanto, um sistema para gerenciamento de informações que permite a entrada, transformação e saída de informações geográficas ou geo-referenciadas. A Figura A.3 apresenta o Ciclo de um SIG e a Figura A.4 ilustra algumas formas de utilização do SIG como ferramenta num processo de tomada de decisão. A Figura A.5

apresenta como um SIG deve ser projetado para atender as necessidades e questões dos tomadores de decisão (ou gerentes) que devem ter a informação disponibilizada pelo sistema.

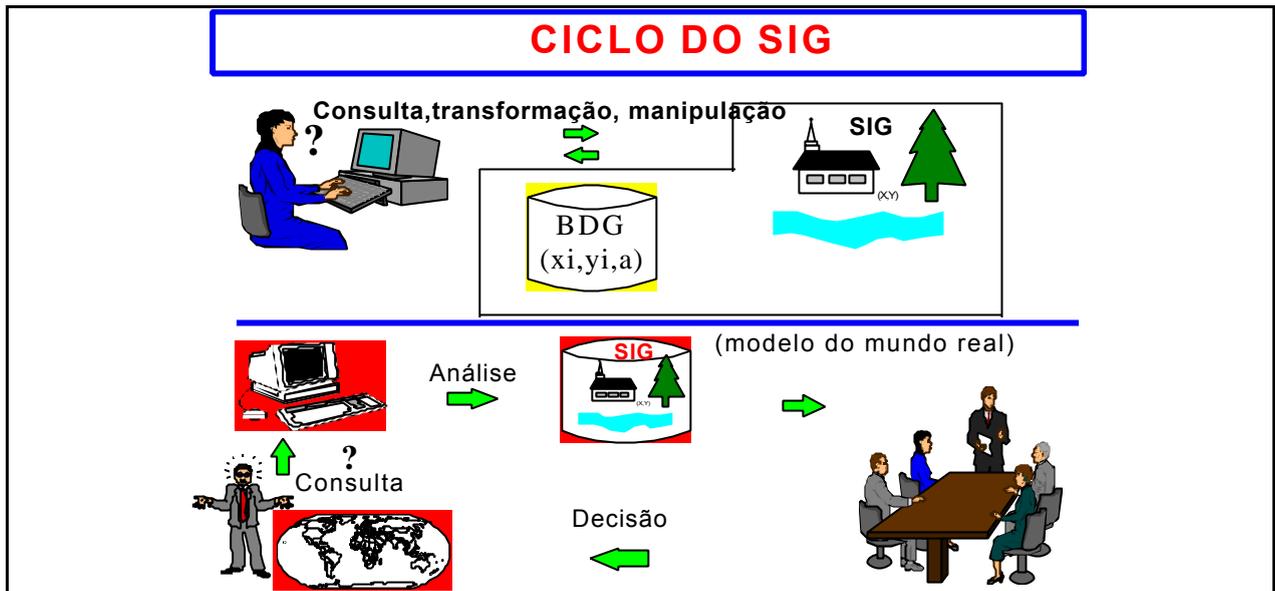


Figura A.2 - Ciclo de um Sistema de Informação Geográfica

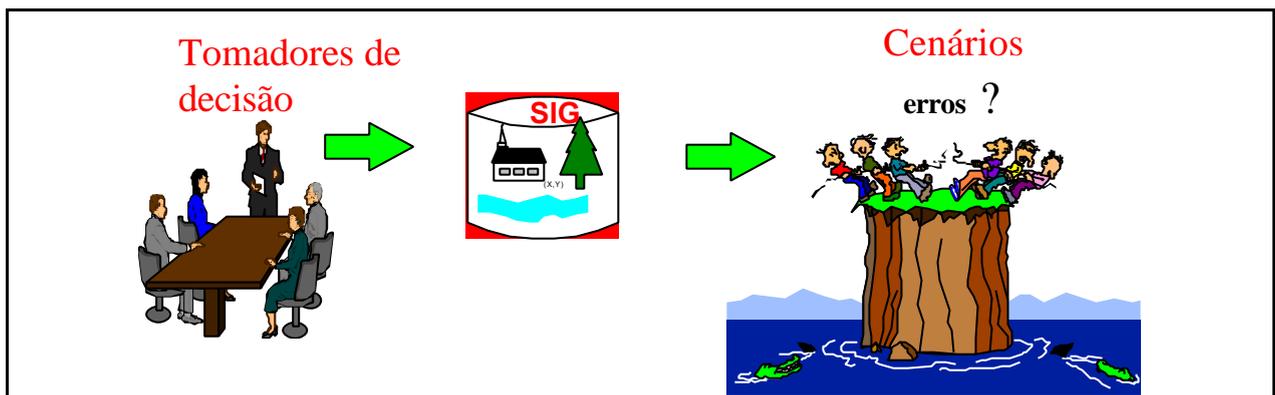


Figura A.3 - Utilização de um SIG na Tomada de Decisão



Figura A.4 - Aspectos Organizacionais

Um SIG é composto de: entrada de dados, armazenamento e gerenciamento da base de dados geográfica (BDG), transformação (conversão, manipulação e análise) e saída. A Figura A.6, abaixo, apresenta um esquema representativo dos componentes de um SIG.



Figura A.5 - Componentes de um SIG

As Figuras A.6 e A.7 apresentam alguns exemplos de consultas e transformações que podem ser realizadas através de um SIG.

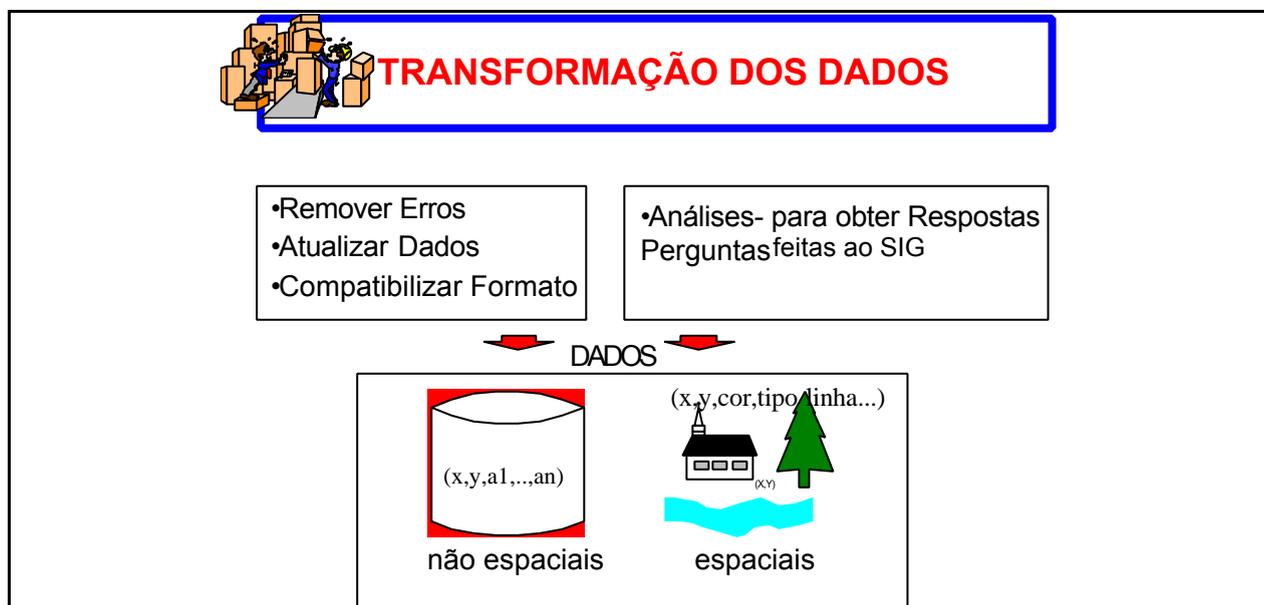


Figura A.6 - O processo de Transformação de Dados num SIG



## TRANSFORMAÇÃO DOS DADOS

- ◆ Onde está o objeto A?
- ◆ Qual o caminho de menor dist., resistência, custo para ir de X para Y?
- ◆ Onde está A em relação a B?
- ◆ Quantas ocorrências de A existem a uma distância D de B?
- ◆ Qual o valor da função Z na posição (x,y)?
- ◆ Qual a área, perímetro de B?
- ◆ Qual o resultado do objeto A (inter) B (inter) C ?
- ◆ O que existe no ponto X1 ?
- ◆ Que objetos estão próximos do objeto A tendo atributo C?
- ◆ Utilizando a base de dados digital como modelo do mundo real, simule o efeito do processo P ao longo de T anos.

Figura A.7 - Exemplos de Transformação de Dados num SIG

Um SIG, no entanto, deve ser visto como sendo mais do que a codificação, o armazenamento e a recuperação de dados sobre os aspectos físicos e sociais que se desenvolvem na superfície da Terra. Na realidade, os dados em um SIG representam um *modelo do mundo real*. Este modelo é criado através da geração de um Banco de Dados Espaciais ou Geográfico (BDG). A Figura A.8 apresenta um esquema ilustrativo desta representação.

## Projeto de um Banco de Dados Espaciais

- ◆ **BDG = coleção de dados geo-referenciados que atuam como um *modelo da realidade***
- ◆ **organização → objetivos → ajudam a definir e identificar *entidades* de interesse → visão do mundo**

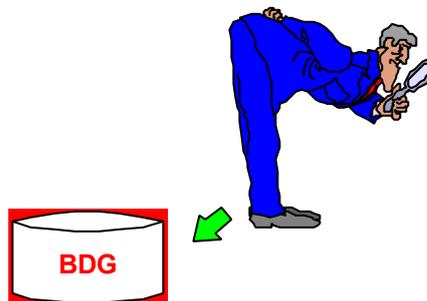


Figura A.8 - O SIG deve fornecer uma *visão* do mundo, tal como o usuário o vê

Devido ao fato dos dados poderem ser acessados, transformados e manipulados interativamente em um SIG, estes servem de simuladores para estudos relativos ao meio ambiente e possibilitam a antecipação dos possíveis resultados de tomadas de decisão. Os planejadores ou tomadores de decisão podem utilizar um SIG como uma ferramenta para explorar uma gama de possíveis cenários e obter uma idéia das conseqüências de uma ação, antevendo um erro que poderia ser irreversível à paisagem ou à sociedade.

### 8.1.1. Modelos de Dados para SIG

Na maioria das bases de dados de recursos naturais, o dado terá que ser analisado e apresentado na forma de mapas. Existem duas maneiras de se armazenar dados espaciais a partir de mapas. A primeira, pela representação de todas as entidades espaciais através de uma grade ou matriz. Esta forma é conhecida como forma *raster*. As entidades são separadas em *layers* ou Planos de Informação (PIs) que caracterizam uma determinada classe, tais como: hidrografia, vegetação, solo etc. O modelo de dados *raster* permite uma grande flexibilidade na análise e modelagem de dados espaciais. A Figura A.9 abaixo apresenta a representação de um PI vetorial e de um PI *Raster* e a Figura A.10 mostra a forma como um Plano de Informação *Raster* é criado.

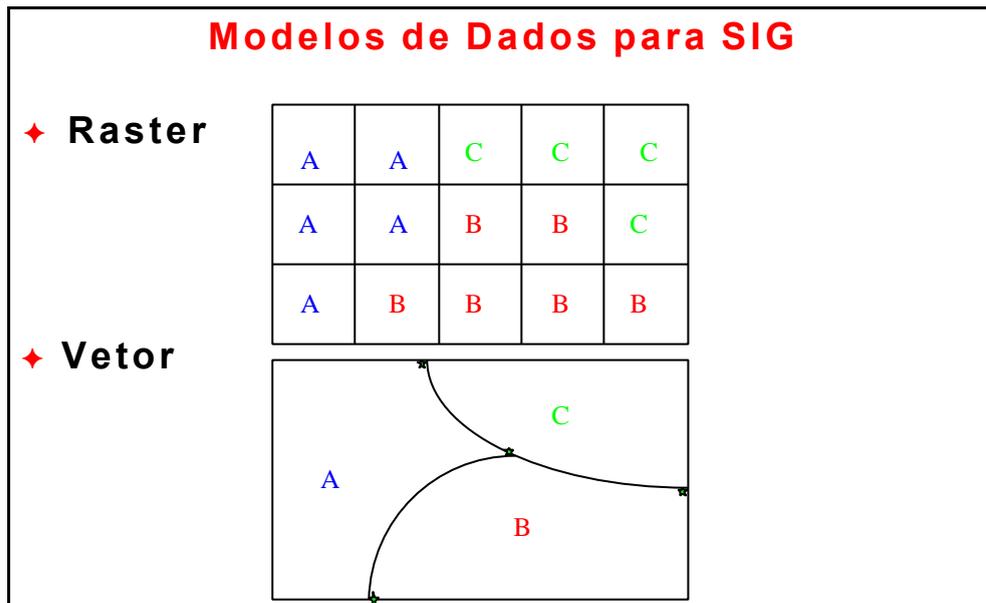


Figura A.9 - PI Vetor e PI *Raster*

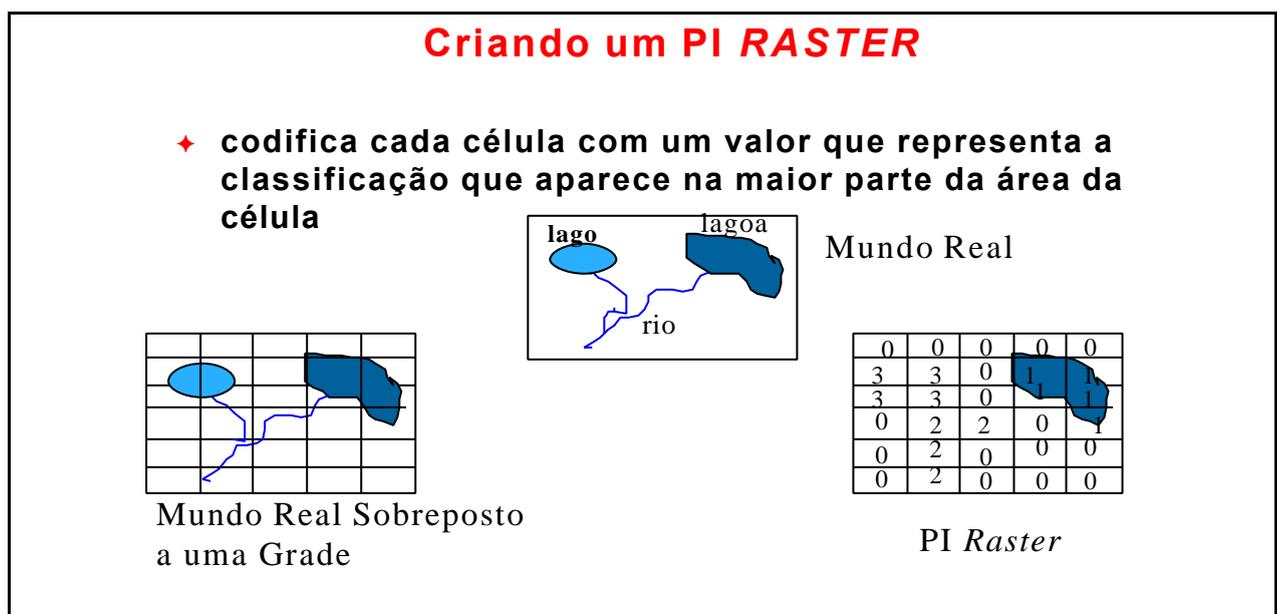


Figura A.10 - Criando um PI *Raster*

O outro método de se modelar dados gráficos é através da estrutura vetorial, que possui como objetos: pontos, linhas e polígonos. Os dois modelos podem sofrer conversões: *Raster* x Vetor

---

ou Vetor X *Raster*, podendo ser utilizados conjuntamente. Uma discussão mais abrangente sobre modelos de dados para SIG pode ser encontrada em BURROUGH (1986); PARENTE (1988), dentre outros.

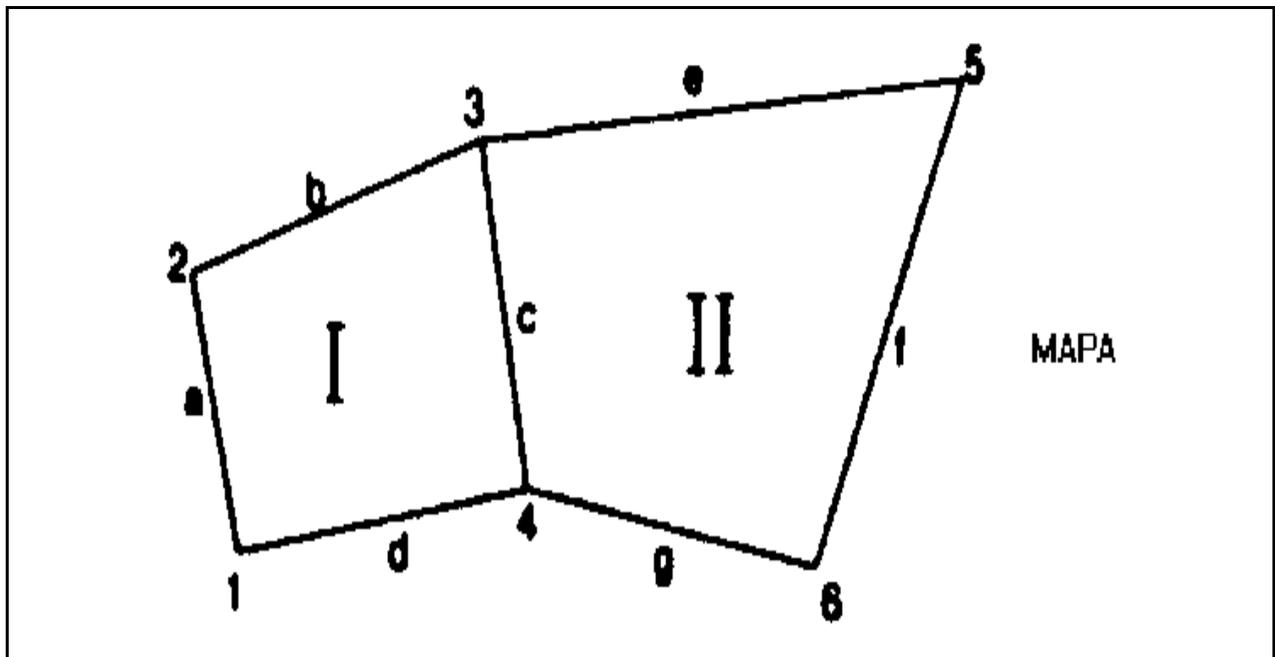
### 8.1.2. Base de Dados Relacional

Existem três estruturas básicas que podem ser consideradas para organizar as informações de recursos naturais: a estrutura hierárquica, a de rede e a relacional. A estrutura (ou modelo) relacional é a mais utilizada no tratamento automatizado da informação espacial através dos Sistemas de Informação Geográfica.

Numa Base de Dados Relacional os dados são armazenados em registros, contendo um conjunto ordenado de atributos que são grupados em tabelas bi-dimensionais, conhecidas como relacionamento. Os dados podem ser extraídos de uma base de dados relacional através de uma linguagem de consulta. O programa gerenciador da base de dados utiliza álgebra relacional (ou lógica *booleana*) para construir novas tabelas contendo o resultado desejado.

As bases de dados relacionais possuem a vantagem de serem muito flexíveis e poderem responder às demandas de todas as consultas que podem ser formuladas utilizando-se as regras da lógica *Booleana* e operações matemáticas. Elas permitem que diferentes tipos de dados possam ser recuperados, procurados e comparados. A adição e remoção de dados são operações simples de serem realizadas, porque envolvem apenas a adição ou retirada de um registro ou a modificação de um valor de um registro.

A título ilustrativo, Figura A.11 apresenta como um mapa simples consistindo de dois polígonos, cada um contendo quatro linhas formadas por dois pontos pode ser representado numa estrutura relacional.



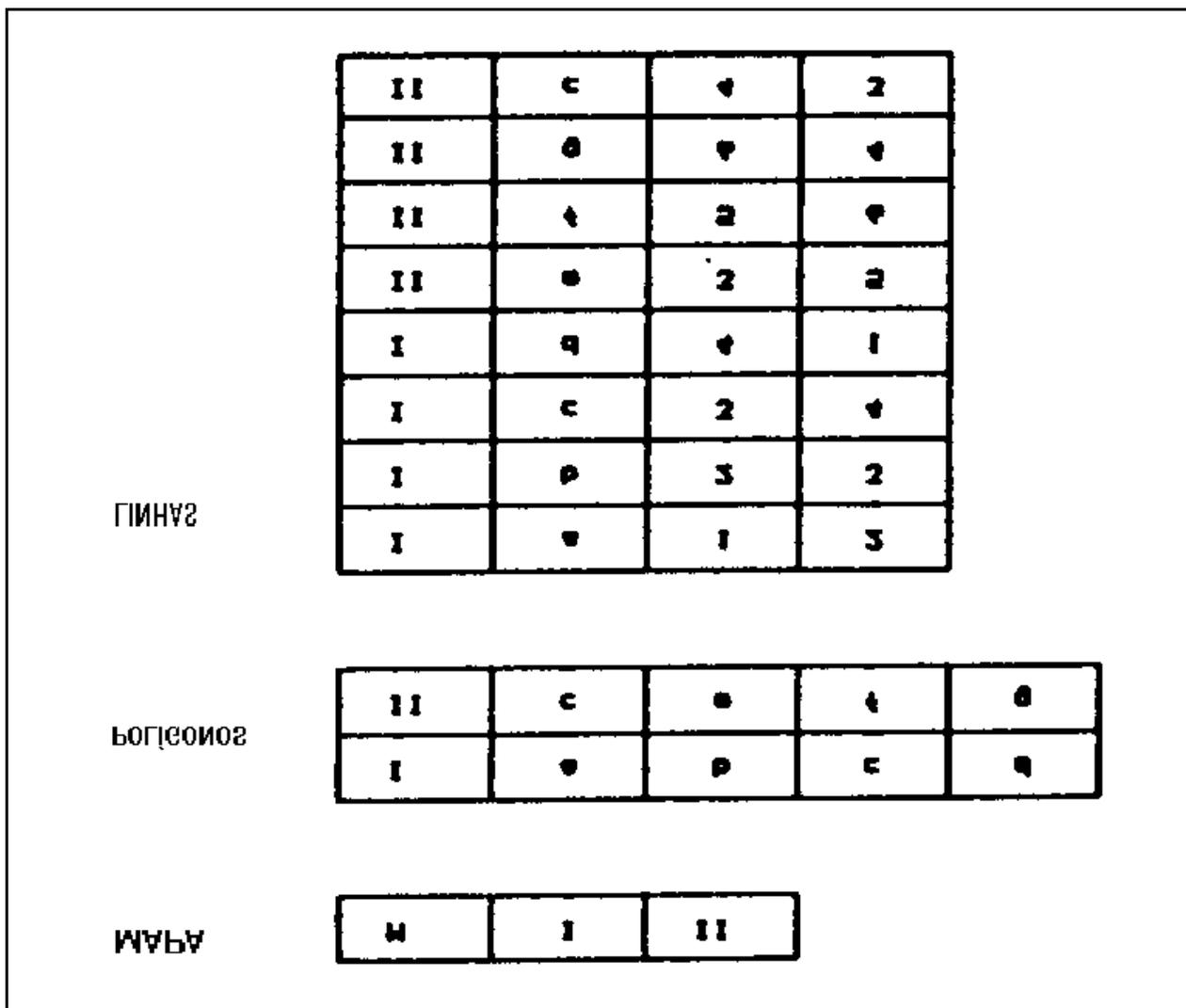


Figura A.11 - Uma forma de representação de um mapa na estrutura relacional, adaptada de BURROUGH - 1987

### 8.1.3. Manipulação da Informação em um SIG

Qualquer SIG deve propiciar a recuperação de informações segundo critérios de natureza espacial e não-espacial. Deve fornecer informações sobre os objetos, seus atributos gráficos e atributos não-espaciais, conjunta ou separadamente. Desta maneira, os resultados das análises ou simulações podem ser visualizados dinamicamente, de forma espacial, ou seja, em forma de “imagens” no monitor, ou de mapas no traçador gráfico, ou serem gerados em forma não-espacial, isto é, em forma de listagens impressas. A manipulação de atributos não-espaciais segundo critérios de natureza não-espacial, são mais facilmente realizadas no próprio SGBD (Sistema Gerenciador de Banco de Dados) interligado ao SIG.

Face à estrutura topológica característica dos SIGs, pode-se especificar os parâmetros dos entornos geométricos a pesquisar ou, ao contrário, estabelecer a pesquisa, gerando o sistema à abrangência geográfica resultante (PARENTE, 1988). Pelos recursos de análise, o sistema gera novos modelos espaciais. O novo modelo é extraído dos elementos geométricos do original, com base nos parâmetros estabelecidos na pesquisa, como no seguinte exemplo: “Quais as zonas, numa faixa de 100 m da Avenida Brasil que possuem declividades entre 10% e 30% ? A resposta não seria o preenchimento de lotes (objetos individuais), mas a geração de novos objetos (polígonos).

Um SIG, portanto, deve oferecer recursos próprios para executar operações sobre e entre os PIs, ao nível de objetos e seus respectivos atributos gráficos; sendo capaz de executar operações sobre os objetos, armazenando informações espaciais segundo critérios de proximidade, pertinência a uma região, interseção entre elementos, etc.

As operações sobre os objetos ou entidades gráficas podem ser distinguidas em operações que envolvam os domínios *raster*, vetorial e atributos não-espaciais. Mais recentemente, através da álgebra de campos geográficos podem ser realizadas operações que envolvam todos estes domínios de forma integrada e transparente para o usuário (CÂMARA et al., 1994).

#### 8.1.4. Manipulações no Domínio *Raster*

##### 8.1.4.1. Cálculo de Área

Esta função calcula a área de um objeto (polígono ou região) através da contagem dos *pixels* ou células de um determinado valor, ou seja, de uma mesma classe em um determinado PI. A função analisa a imagem e calcula o número de pixels de cada classe presente na imagem. Após isto, o valor encontrado é multiplicado pela área que cada pixel representa no terreno e o programa emite um relatório da área total das classes presentes no Plano de Informação.

##### 8.1.4.2. Reclassificação de Temas

Esta função associa um mesmo valor para células de categorias distintas. Em outras palavras, define um novo PI, com N-1 classes a partir de um PI na base de dados.

##### 8.1.4.3. Sobreposição e Cruzamento

Estas funções permitem realizar cruzamentos entre dois ou mais PIs para a geração de um novo PI, conforme esquematizado na Figura A.12. A Figura A.13 apresenta as operações *booleanas* normalmente realizadas num SIG no processo de cruzamento de PIs.

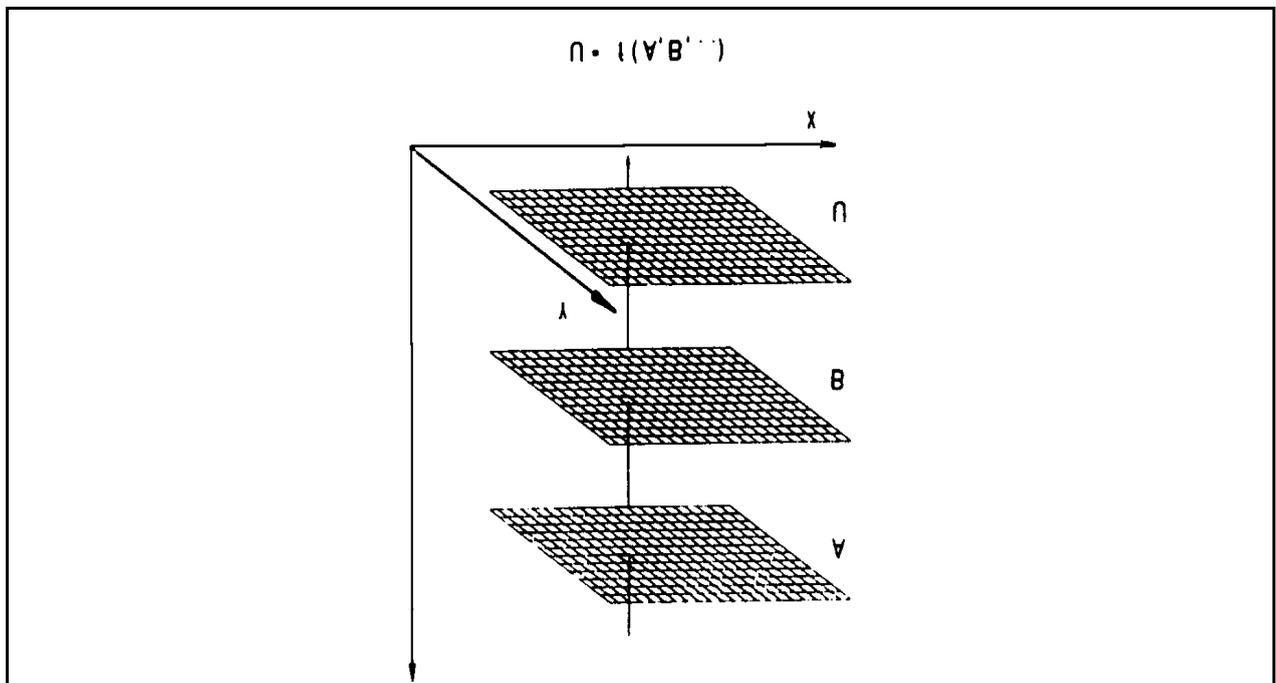


Figura A.12 - Esquema representativo do cruzamento de Planos de Informação num SIG

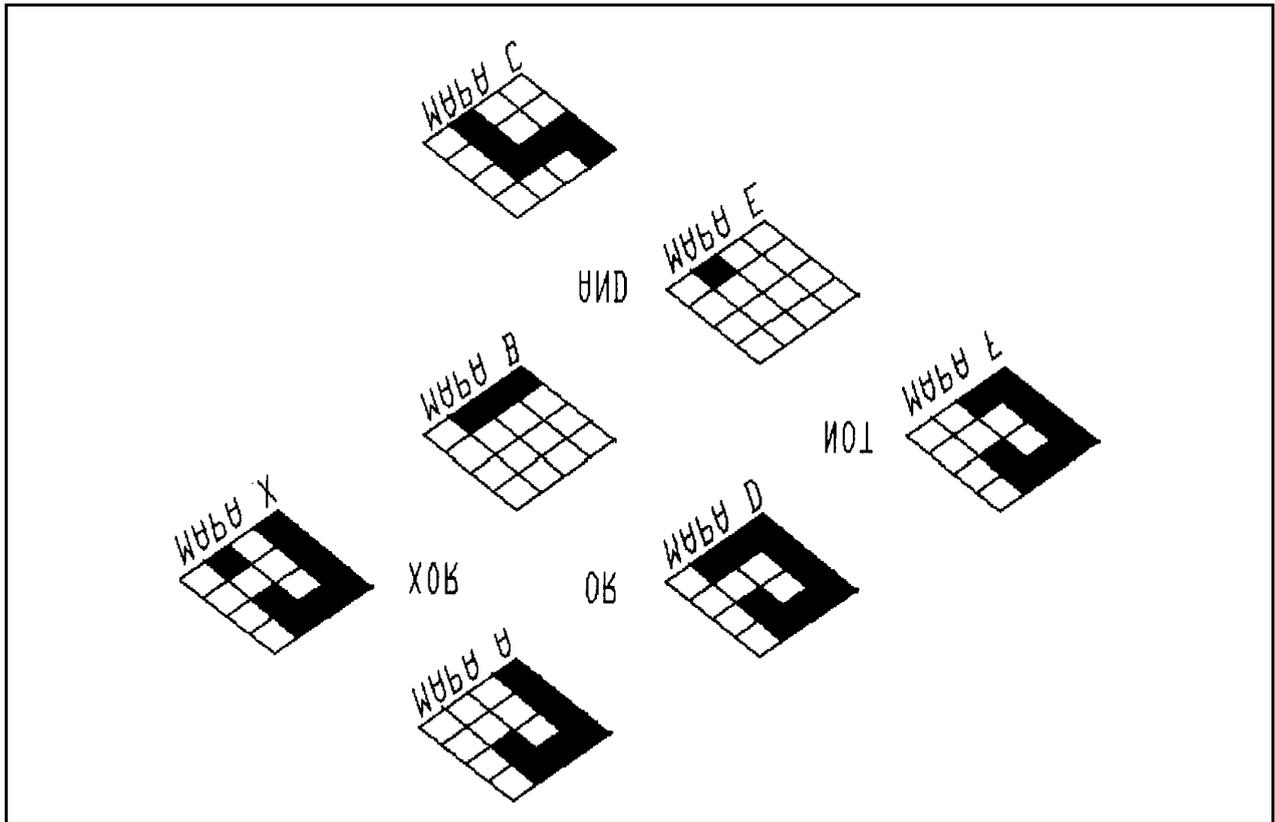


Figura A.13 - Operações *booleanas* normalmente disponíveis nos processos de cruzamento de PIs nos SIGs

## 8.1.5. Manipulações no Domínio Vetorial

### 8.1.5.1. União de Regiões ou Áreas

Esta operação é empregada para transformar áreas contíguas numa única área, com por exemplo, áreas contíguas com atributos iguais (objetos da mesma classe), ou simplificar mapas submetidos a uma redução de escala.

### 8.1.5.2. Interseção

Esta função é empregada para gerar novos objetos a partir da interseção de elementos de um ou mais PIs.

### 8.1.5.3. Cálculo de Áreas e Distâncias

Esta operação possibilita calcular a área de objetos e/ou a distância entre dois objetos em um PI.

### 8.1.5.4. Análise de Conexões ente Nós

Esta operação permite resolver questões de como calcular custos de deslocamento entre dois nós e definir caminhos mínimos em uma rede de linhas.

---

## **BIBLIOGRAFIA**

- AALDERS, H.J.G.L., 1994, Landinformation Systems: Data and Theory: Delft, ITC.
- ANDRADE, A., 1985, Landscape Ecological Planning -- A Case in Part of the Llanos Orientales, Colombia [M.Sc. thesis]: Enschede, ITC.
- ASPEREN, P.C.M.v., and MEHLBREUER, A., 1993, Introduction to Land Surveying for Mapping Purposes: Enschede, 27 p.
- BATISDAS, M.G., 1995, Environmental Fragility and Vulnerability Assessment of a Mangrove Area in the Lower San Juan River Basin, Venezuela [Master of Sciences in soil Survey thesis]: Enschede, International Institute for aerospace Survey and Earth Sciences.
- BECKER, B.K., and EGLER, C.A.G., 1996, Detalhamento da Metodologia Para Execução do Zoneamento Ecológico-Econômico Pelos Estados da Amazônia Legal: Brasília, SAE-MMA.
- BEEK, K.J., BURROUGH, P.A., and McCORMACK, D.E., 1986, Quantified Land Evaluation Procedures: Encshede, 165 p.
- BENNEMA, J., and GELENS, H.F., 1994, Aerial Photo-Interpretation for Soil Surveys: Enschede, 66 p.
- BERTRAND, R.J.M.J., 1987, Physical Environment Mapping: Enschede, ITC, 34 p.
- BIE, C.A.d., van LEEUWEN, J.A., and ZUIDEMA, P.A., 1995, The Land Use Database - A Knowledge-Based Software Program Storage and Retrieval of User-Defined Land Use Sets: Enschede, ITC, 90 p.
- BISWAS, A.K., and GEPING, Q., 1987, Environmental Impact Assessment for Developing Countries: London, Tycooly International, p. 229.
- BONHAM-CARTER, G.F., 1994, Geographic Information Systems for Geoscientists - Modelling with GIS: Kidlington, Pergamon, 391 p.
- BOS, E.S., 1973, Cartogrphic Principles in Thematic Mapping: Enschede, ITC, 110 p.
- BRAGA, L.P.V., and D., D.S., 1995, Analysis and Classification of Soil Properties by Geostatistical and Fuzzy Methods: Mathematical Geology.
- BRAGA, L.P.V., and DRUCK, S., 1994, Analysis and Classification of Soil Properties by Geostatistical and Fuzzy Methods: Mathematical Geology.
- BRAGA, M.J.F., BARRETO, J.M., and MACHADO, M.A.S., 1995, Conceitos da Matemática Nebulosa na Análise de Risco, 95 p.
- BRONSVELD, K., and Dhruva, S., 1995, Tutorial for Image Processing Using Ilwis Version 1.4: Enschede, ITC, 55 p.
- BROWN, A., 1989, Photo and Image Mapping: Enschede, ITC, 59 p.
- BROWN, A., KOCK, W., SCHOLTEN, H., STEEN, S.v.d., and McGRATH, G., 1986, Mapping Techniques and the Presentation of Information: Enschede, ITC, 42 p.

- 
- BURROUGH, P.A., 1989, Fuzzy Mathematical Methods for Soil Survey and Land Evaluation: of Science, v. 40, p. 477-492.
- BURROUGH, P.A., McMILLAN, R.A., and DEURSEN, W., 1992, Fuzzy Classification Methods for Determining Land Suitability from Soil Profile Observation and Topography: Journal of Soil Science, v. 43, p. 193-200.
- CANTERS, K.J., den HERDER, C.P., and der VEER, A., 1991, Landscape- Ecology Mapping of the Netherlands: Landscape Ecology, v. 5, p. 145-162.
- CERNEA, M.M., 1993, The Sociologist's Approach to Sustainable Development: Finance & Development, p. 11-13.
- COELHO NETTO, A.L., SILVA, A.L.M., and ROSAS, R.O., 1992, Linhas de Transmissão na Amazônia (LT's), Efeitos de Borda e Fatores Controladores: Subsídios a Implantação de LT's, Eletrobras.
- CREPANI, E., MEDEIROS, J.S., AZEVEDO, L.G., HERNANDEZ, P., FLORENZANO, T.G., and DUARTE, V., 1996, Curso de Sensoriamento Remoto Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico: São José dos Campos, 18 p.
- CURRAN, P., 1985, Principles of Remote Sensing: New York, Longman, 282 p.
- DAVIDSON, D.A., 1992, The Evaluation of Land Resources: New York, John Wiley & Sons, 198 p.
- DAVIS, J.C., and McCULLAGH, M.J., 1975, Display and Analysis of Spatial Data, Nato Advanced Study Institute: Nottingham, John Wiley & Sons, p. 95.
- de la TORRE, Q.G., 1988, Ordenamiento Ecológico del Territorio LLave Para Una Gestión Integral del Medio Ambiente: SEDUE, p. 57.
- DJAJONO, A., and WEIR, M.J.C., 1994, Assessing the Accuracy of Natural Resources Data for Forest Land Assessment in Indonesia, Symposium on the Spatial Accuracy of Natural Resource Data Bases: Williamsburg, Virginia, p. 160-168.
- DOPHEIDE, E., 1996, Introduction to Cost-Benefit Analysis: Enschede, ITC, 20 p.
- DOPHEIDE, E., 1996, NRM, Development and Sustainability: Enschede, ITC.
- DRIESSEN, P.M., 1986, The Q.L.E. Primer - A First Introduction to Quantified Land Evaluation Procedures: Wageningen, Agricultural University Wageningen, 111 p.
- DRIESSEN, P.M., 1996, Land-Use Systems Analysis, Wageningen University, 223 p.
- DRUMOND, J., 1988, Introduction to Generalization: Enschede, ITC, 21 p.
- DRUMOND, J., 1991, Technical and Cadastral Maps: Enschede, ITC, 20 p.
- DRUMOND, J., 1992, Georeferencing for Integrated Map Production: Enschede, ITC, 135 p.
- DRUMOND, J., and STEFANOVIC, P., 1992, A Course in Geographic Information Systems for Cartographers: Enschede, ITC, 60 p.
- ELLIS, M.C., 1988, Spatial Database Structures and Organization: Enschede, 32 p.

- 
- ESTMAN, J.R., KYEM, P.A.K., TOLEDANO, J., and JIN, W., 1993, GIS and Decision Making: Geneva, United Nations Institute for Training and Research, 111 p.
- FAO, 1976, A Framework for Land Evaluation, FAO Soils Bulletin No 32: Rome, FAO, p. 87.
- FAO, 1990, Land Evaluation for Development, FAO, p. 35.
- FAO, 1993, FESLM: An International Framework for Land Evaluation Sustainable Land Management: Rome, FAO, 74 p.
- FAO, 1993, Guidelines for Land-Use Planning, FAO Development Series 1: Rome, FAO, p. 96.
- FAO, 1994, Land Evaluation and Farming Systems Analysis for Land Use Planning: Rome, FAO, p. 209.
- FAO, 1994, Land Evaluation and Farming Systems Analysis for Land Use Planning, p. 209.
- FAO, 1995, Planning for Sustainable Use of Land Resources - Towards a New Approach: Rome.
- FAO(SOIL), 1983, Guidelines: Land Evaluation for Rainfed Agriculture, *in* 52, F.S.B., ed., Soil Resources Management and Conservation Service, Rome, FAO, p. 237.
- FAO-SOIL, 1993, FESLM: An International Framework for Evaluating Sustainable Land Management, World Soil Resources Report: Rome, FAO, p. 74.
- FARSHAD, A., 1995, Some Notes and Exercises on "ALES": Enschede, ITC, 20 p.
- FORMAN, R.T.T., 1995, Some General Principles of Landscape and Regional Ecology: Landscape Ecology, v. 10, p. 133-142.
- FORMAN, R.T.T., and GODRON, M., 1986, Landscape Ecology: New York, John Wiley.
- FREESE, F., 1990, Statistics for Land Management: Edinburgh, Paeony Press, 177 p.
- FRESCO, L.O., and KROONENBERG, S.B., 1992, Time and Spatial in Ecological Sustainability, Butterworth-Heinemann.
- FRESCO, L.O., STROOSNIJDER, L., BOUMA, J., and van KEULEN, H., 1994, The Future of the Land - Mobilising and Integrating Knowledge for Land Use Options: Wagenigen, John Wiley & Sons, p. 409.
- GELENS, H.F., 1990, Introduction to Soil Science: Enschede, 30 p.
- GIGON, A., 1983, Typology and Principles of Ecological Stability and Instability, Mountain Research and Development, Volume 3, p. 81-94.
- GONZALEZ, R.C., and WINTZ, P., 1987, Digital Image Processing: MA, Addison-Wesley, 503 p.
- GOODLAND, R., and DALY, H.H., 1992, Three Steps Towards Global Environmental Sustainability (Part 1): Journal of SID, v. 2, p. 35-41.

- 
- GOODLAND, R., and DALY, H.H., 1992, Three Steps Towards Global Environmental Sustainability (Part 2): *Journal of SID*, v. 3, p. 64-71.
- GOODLAND, R.J.A., ASIBEY, E.O.A., POST, J.C., and DYSON, M.B., 1993, Tropical Moist Forest Management: The Urgency of Transition to Sustainability: *Ecological Economics*, p. 486-515.
- GORTE, B., 1994, Tools for Advanced Image Processing and GIS Using Ilwis: Enschede, ITC, 57 p.
- GREEN, W.B., 1983, Digital Image Processing: New York, 192 p.
- GROTEN, S.M.E., 1994, Land Ecology and Land Use Survey, ITC Publication RUS 10: Enschede, ITC, p. 149.
- HAASE, G., 1986, Medium Scale Landscape Classification in GDR, *in* Halle-Wittenberg, ed., Landscape Synthesis, p. 5-25.
- HAINES-YOUNG, R., GREEN, D.R., and COUSINS, S.H., 1993, Landscape-Ecology and Geographic Information Systems: London, Taylor and Francis, p. 281.
- HOANH, C.T., 1996, Development of a Computerized Aid to Integrated Land Use Planning (CAILUP) at Regional Level in Irrigated Areas - A Case Study for the Quan Lo Phung Hiep Region in the Mekong Delta, Vietnam: Enschede, ITC, 297 p.
- HONADLE, G., and VanSant, J., 1993, Implementation for Sustainability, Kumarian Press, 101 p.
- HONADLE, G., and VANSANT, J., 1993, Implementation for Sustainability - Lessons from Integrated Rural Development, KUMARIAN PRESS, 101 p.
- HOWE, D.R., 1994, Data Analysis for Data Base Design: Bristol, Edward Arnold, 317 p.
- HUIZING, H., and Bronsveld, K., 1994, Interactive Multiple-Goal Analysis for Land Use Planning: *ITC Journal*, p. 336-373.
- Huizing, H., FARSHAD, A., and BIE, K., 1995, Land Evaluation (Land Use System Evaluation): Enschede, ITC, 82 p.
- HUSSIN, Y.A., 1995, Introduction to Remote Sensing Lectures Notes: Enschede, ITC, 92 p.
- IALE, 1984, Proceedings of the First International Seminar on Methodology in Landscape Ecological Research and Planning, Volume V: Roskilde, Denmark, Roskilde Universitetsforlag, GeoRuc, p. 210.
- IALE, 1984, Proceedings of the First International Seminar on Methodology in Landscape Ecological Research and Planning, Volume IV: Roskilde, Denmark, Roskilde Universitetsforlag, GeoRuc, p. 132.
- IALE, 1991, Proceedings of the European IALE - Seminar on Practical Landscape Ecology, Volume 1: Roskilde, Denmark, Forlaget GeoRuc, p. 153.
- IALE, 1991, Proceedings of The European IALE-Seminar on Practical Landscape Ecology, Volume 3: Roskilde, Denmark, Forlaget GeoRuc, p. 139.

---

IALE, 1984, Proceedings of the First International Seminar on Methodology in Landscape Ecological Research and Planning: Landscape Ecological Concepts, Volume I: Roskilde, Denmark, Roskilde Universitetsforlag, GeoRuc, p. 120.

ILRI, 1976, A Framework for Land Evaluation, *in* 22, I.P., ed., ILRI, p. 79.

Institute, R.T.P., 1992, Geographic Information Systems (GIS) - A Planner's Guide Prepared by Institute's GIS Panel: London, The Royal Town Planning Institute, p. 36.

ITC, 1993, ILWIS 1.4 - The Land Integrated Water Information System, Ilwis - User's Manual: Enschede, ITC, p. 360.

ITC, 1994, NRM, Development and Sustainability: Enschede, ITC, 50 p.

ITC, 1995, GIS Basic Principles: Enschede, ITC.

ITC, 1995, ILWIS 1.41 - The Integrated Land and Water Information System: Enschede, p. 87.

ITC, 1995, Scale Calculations, Scale Lines: Enschede, ITC, 31 p.

JENSEN, J.R., 1986, Introductory Digital Image Processing - A Remote Perspective: New Jersey, Prentice-Hall, 379 p.

JIANG, B., 1996, Fuzzy Overlay Analysis and Visualization in Geographic Information Systems: Enschede, ITC, 163 p.

KLAVERBLAD, A., 1982, Landscape-Ecological Survey of Purwakarta, West-Java, Indonesia, Including Land Evaluation for Urban Related Land Uses in Relation to the Regional Physical Planning of West-Java: Amsterdam, University of Amsterdam, 276 p.

KRUIJF, H.A.M., and SCHOUTEN, A.J., 1987, On Problem of Measuring Vulnerability of Soil Ecosystems, *in* W. van Duijvenbooden, H.G.v.W., ed., Vulnerability of Soil and Groundwater Pollutants: The Hague, p. 97-109.

KRUSEMAN, G., HENGSDIJK, H., and RUBEN, R., 1992, Disentangling the Concept of Sustainability: Conceptual definitions, Analytical Framework and Operational Techniques in Sustainable Land Use: Wageningen, Wageningen Agricultural University, 60 p.

KRUSEMAN, G., HENGSDIJK, H., and RUBEN, R., 1994, Disentangling the Concept of Sustainability: Conceptual Definitions, Analytical Framework and Operational Techniques in Sustainable Land Use, WAU, 60 p.

KWAKERNAAK, C., 1982, Landscape Ecology of a Prealpine Area

A Contribution to the Development of a Unifying Concept in Landscape Ecology, based on Investigations in the La Berra-Schwarzsee Area (Fribourg, Switzerland): Amsterdam, Publ. Fys. Geogr. Bodemk. Lab. Univ. Amsterdam, nr. 33, 165 p.

LÉLÉ, S.M., 1991, Sustainable Development: a Critical Review, World Development, 14 p.

LUNING, H.A., 1992, An Introduction to Resource and Environmental Economics: Enschede, 25 p.

---

MATEO, J., and MAURO, A., 1994, Análise da Paisagem como Base para una Estrategia de organização Geoambiental, *in* UNESP, ed.: Rio Claro, Brazil, p. 29.

MATEO, J.M.R., 1991, Geoecologia de los Paisajes: , p. 64.

McCALL, M., 1996, Environmental Impact Statements - Applying EIA Methodology: Enschede, ITC, 12 p.

McNEELY, J.A., 1980, Conserving the World's Biological Diversity: Washington, D.C., International Union for Conservation of Nature and Natural Resources.

MOHRMANN, J.C.J., 1973, Planning and Management of Integrated Surveys for Rural Development: Enschede, ITC, 67 p.

MURAI, S., 1991, Applications of Remote Sensing in Asia and Oceania - Environmental Changes Monitoring: Hong Kong, Asian Association on Remote Sensing, p. 372.

NAVEH, Z., and LIEBERMAN, A.S., 1983, Landscape Ecology, Theory an Application: New York, Berlin, Heidelberg, Tokyo, Springer-Verlag.

ORIAN, H.G., 1974, Diversity, Stability and Maturity in Natural Ecosystems. Unifying Concepts in Ecology, *in* W. H. van Dobben, R.H.L.-M., ed.: Wageningen, Centre for Agricultural Publishing and Documentation.

ORMELING, F.J., 1993, Editing Socio-Economic Maps: Enschede, ITC, 54 p.

PARUCCINI, M., 1993, Applying Multiple Criteria Aid for Decision to Environmental Management: Dordrecht, Kluwer Academic Publisher, p. 359.

PATRONO, A., 1995, An Introduction to Methods for Environmental Impact Assessment (EIA): Enschede, ITC, 34 p.

PATRONO, A., 1995, A Study in Environmental Impact Assessment (EIA) - Theory and Practice in Spatial Data Processing and Decision Making: Enschede, ITC, 104 p.

PATRONO, A., 1995, Theory and Practice in Landscape Analysis for Environmental Impact Assessment (EIA): Enschede, ITC, 144 p.

QUINTELA, J., 1984, Determinación de las Potencialidades Naturales en un Sector del Municipio San Antonio de Cabezas: Cuba, Universidad de La Habana.

QUINTELA, J.A., 1995, El Inventario, El Analisis y El Diagnostico Geoecologico de Los Paisajes Mediante El Uso de Los Sistemas de Informacion Geografica [Ph.D. Thesis thesis]: La Habana, Universidad de La Habana.

REES, C., 1993, The Ecologist's Approach to Sustainable Development: Finance & Development, p. 14-15.

RHIND, D., and HUDSON, R., 1980, Land Use: New York, Methuen & Co., 271 p.

RIPPLE, W.J., 1994, The GIS Applications Book - Examples in Natural Resources: A Compendium, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, p. 365.

SABINS, F., 1987, Remote Sensing: Principles and Interpretation: New York, W.H. Freeman & Co., 449 p.

---

SAE-CCZEE, 1991, Diretrizes Metodológicas e Patamar Mínimo Para o Zoneamento Ecológico-Econômico do Território Nacional: Brasília, SAE/PR.

SALINAS, E., 1991, Análisis y Evaluación de los Paisajes en la Planificación Regional en Cuba [Ph.D. thesis]: L a Habana, de la Habana.

SAOUMA, E., 1985, Land Evaluation for Development: Rome, FAO, 35 p.

SERAGELDIN, I., 1993, Making Development Sustainable: Finance & Development, p. 6-10.

SHARIFI, M.A., 1995, Introduction to Decision Support Systems and Multicriteria Evaluation Techniques (Part 1): Enschede, ITC, 119 p.

SHARIFI, M.A., 1995, Introduction to Decision Support Systems and Multicriteria Evaluation Techniques (Part 2): Enschede, ITC, 164 p.

SHRESTHA, D.P., 1994, Remote Sensing Techniques and Digital Image Processing: Enschede, ITC, 90 p.

SIDERIUS, W., 1992, Soil - An Introduction to their development, description, classification and mapping: Enschede, 43 p.

SILVA, E.F., SIMÕES, M.G., and FUKS, S.D., 1995, Utilização de Técnicas de Geoestatística e Classificação Contínua no Mapeamento de Fertilidade de Solos, Anais do XXV Congresso Brasileiro de Ciência do Solo: Viçosa, Minas Gerais.

SIMÕES, M.G., and SANTOS, U.P., 1994a, Zoneamento Ecológico-Econômico: Uma Visão Integrada Através do Geoprocessamento, Anais do Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário: Florianópolis.

SIMÕES, M.G., SANTOS, U.P., and JÁCOMO, A., 1994b, Análise Integrativa do Ambiente Para o Projeto de Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) do Território Nacional Através de Sistemas de Informação Geográfica, Anais do GIS BRASIL 94: Curitiba.

SIMÕES, M.G., and FUKS, S.D., 1995a, Novas Técnicas de Mapeamento em Sistemas de Informação Geográfica, XVII Congresso Brasileiro de Cartografia: Salvador, Brazil.

SIMÕES, M.G., and SANTOS, U.P., 1995b, Integrative Data Analysis For the Ecological-Economic Zoning of the Brazilian Territory Using GIS, Joint European Conference and Exhibition on Geographical Information: The Hague, Holland.

SIMÕES, M.G., and FUKS, S.D., 1995c, Análise de Precisão dos Modelos Temáticos Gerados Pelos Sistemas de Informação Geográfica, Anais do XVII Congresso Brasileiro de Cartografia: Salvador, Bahia.

SIMÕES, M.G., 1996a, A Cartografia Temática e o Problema dos Limites entre Classes - Soluções Através de Geoprocessamento e da Classificação Contínua, Revista Brasileira de Cartografia, p. 1-13.

SIMÕES, M.G., 1996b, Geoecologia e Geoprocessamento: Limitações dos Processos Convencionais e Soluções Através de Novas Técnicas Automatizadas, GIS BRASIL 96: Curitiba, Paraná.

- 
- SIMÕES, M.G., 1997, A Utilização de Classificação Fuzzy em Imagens de Satélite como Subsídio à Cartografia Ambiental, Revista Brasileira de Cartografia.
- SLATER, P.N., 1980, Remote Sensing - Optical Systems: Massachusetts, 575 p.
- SMITH, M., 1992, Cropwat - A Computer Program for Irrigation Planning and Management: Rome, FAO, 126 p.
- SMITH, P.G.R., and THEBERGE, J.B., 1986, A Review of Criteria for Evaluating Natural Areas, Environmental Management, Volume 10, p. 715-734.
- STEFANOVIC, P., 1990, An Overview of Photogrammetry for Cartographers: Enschede, 36 p.
- STEIN, A., 1995, Spatial Statistics for Soil and the Environment: Enschede, 72 p.
- TOMLIN, C.D., 1990, Geographic Information Systems and Cartographic Modelling: New Jersey, Prentice Hall, Englewood Cliffs, 249 p.
- TRICART, J., 1977, Ecodinâmica: Rio de Janeiro, 91 p.
- TRICART, J., 1982, Paisagem e Ecologia: São José do Rio Preto, IBILCE-UNESP, 55 p.
- TRICART, J.K., C., 1992, Ecogeography and Rural Management: London, Longman Scientific & Technical.
- TULADHAR, A.M., 1988, Photogrammetric Digital Data Acquisition and Its Quality for Digital Mapping: Enschede, ITC, 26 p.
- VALENZUELA, C.R., 1992, Introduction to Geographic Information Systems, ITC Publication LIS 22: Enschede, ITC, p. 221.
- van ASPEREN, P.C.M., STEFANOVIC, P., and van der WORM, J.P.R., 1994, General Introduction to Cartography: Enschede, ITC, 32 p.
- van der MOHR, H., 1994, Camera and Multispectral Scanning Systems in Remote Sensing as Applied to Geology. Part 1: Data Collection: Enschede, 60 p.
- van der STEEN, J.F.M., 1991, Managerial Aspects in Map Production Organisations: Enschede, 22 p.
- van der ZEE, D., 1992, Recreation Studied From Above - airphoto Interpretation as Input Into Land Evaluation For Recreation: Enschede, ITC, 244 p.
- van der ZEE, D., 1995, GIS a Tool For Problem Solving Landscape Ecology, *in* Ecology, I.A.f.L., ed., IALE 95: Toulouse, France.
- van der ZEE, D., 1996, GIS and the Land Unit in Land Evaluation: Ecology - Journal for Ecological Problems of the Biosphere, v. 15, p. 129-138.
- van GILS, H., 1989, Legends of Landscape Ecology Maps: ITC Journal, p. 41-47.
- van HAAERINGEN, R.P.F., and Wiersum, K.F., 1988, Local Level Planning for Sustainable Land Use, Wageningen University, p. 72.

- 
- van HAERINGEN, R.P.F., and Wiersum, K.F., 1988, Local Level Planning for Sustainable Land Use, *in* University, W.A., ed.: Wageningen, p. 72.
- van LIESHOUT, A.M., 1992, Data Bases: Enschede, ITC, 49 p.
- van WESTEN, C.J., 1994, Introduction to Geographic Information Systems With Special Emphasis on the ILWIS Systems (Integrated Land and Water Information System): Enschede, ITC, 94 p.
- van WESTEN, C.J., 1996, Geographic Information System: GIS Modelling: Enschede, ITC, 92 p.
- VELÁSQUEZ, A., 1993, Landscape Ecology of Tláloc and Pelado Volcanoes, Mexico: Enschede, ITC, 152 p.
- VOSKUIL, R.P.G.A., 1994, Aerial Photography, Photogrammetry and Remote Sensing as Sources for Mapping: Enschede, 32 p.
- VOSKUIL, R.P.G.A., 1995, Selected Chapters on Terrain Analysis for Rural Survey Course: Enschede, ITC, 50 p.
- VRIES- BAAYENS, A.E., CAR 5.01, Statistics for Cartographers: Enschede, ITC, 93 p.
- WEIR, M.J.C., 1993, Introduction to Aerospace Surveys for Natural Resource Management: Enschede, 28 p.
- WEIR, M.J.C., 1993, Introduction to Aerospace Surveys for Natural Resource Management: Enschede, ITC, 82 p.
- WENZHONG, S., 1994, Modelling Positional and Thematic Uncertainties in Integration of Remote Sensing and Geographic Information Systems: Enschede, ITC, 147 p.
- ZIMMERMANN, H.J., 1985, Fuzzy Set Theory - and Its Applications: Boston-Dordrecht-Lancaster, Kluwer-Nijhoff, 363 p.
- ZINCK, J.A., 1987, Physiography and Soils: Enschede, 66 p.
- ZINCK, J.A., 1989, Physiography and Soil: Enschede, 156 p.
- ZONNEVELD, I.S., 1989, The Land Unit - a Fundamental Concept in Landscape Ecology and Its Applications: Landscape Ecology, v. 3, p. 67-86.
- ZONNEVELD, I.S., 1995, Land Ecology: Amsterdam, Academic Publishing, 190 p.