

Universidade Federal da Paraíba - Campus II  
Centro de Ciências e Tecnologia - CCT  
Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

**Validação com Proposta de Extensão do  
Modelo de Dados Geográficos MGeo+**

Iana Daya Cavalcante Facundo Passos

P. 17/19/00  
Campina Grande, dezembro de 1996

**Validação com Proposta de Extensão do  
Modelo de Dados Geográficos MGeo+**

Iana Daya Cavalcante Facundo Passos



P289v Passos, Iana Daya Cavalcante Facundo.  
Validação com proposta de extensão do modelo de dados geográficos MGeo+ / Iana Daya Cavalcante Facundo Passos. - Campina Grande, 1996.  
115 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1996.  
Referências.  
"Orientação : Profa. Dra. Maria de Fátima Queiroz Vieira Turnell".

1. Sistemas Operacionais - Engenharia Elétrica. 2. Solos - Características. 3. TMGeo. 4. Dissertação - Engenharia Elétrica. I. Turnell, Maria de Fátima Queiroz Vieira. II. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). III. Título

CDU 621.3:004.415.5(043)

**VALIDAÇÃO COM PROPOSTA DE EXTENSÃO DO MODELO DE DADOS  
GEOGRÁFICOS MGEO**

**IANA DAYA CAVALCANTE FACUNDO**

Dissertação Aprovada em 20.12.1996

**PROF. MARIA DE FATIMA QUEIROZ VIEIRA TURNELL, Ph.D., UFPB**  
**Orientadora**



**PROF. ULRICH SCHIEL, Dr.ver.nat., UFPB**  
**Componente da Banca**



**PROF. MARCELO ALVES DE BARROS, Dr., UFPB**  
**Componente da Banca**



**PROF. ANA CAROLINA SALGADO, Dra., UFPE**  
**Componente da Banca**

**CAMPINA GRANDE - PB**  
**Dezembro - 1996**

# **Validação com Proposta de Extensão do Modelo de Dados Geográficos MGeo+**

Trabalho apresentado à Coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, em cumprimento ao requisito parcial para obtenção do grau de mestre em engenharia elétrica.

Orientadora: Maria de Fátima de Queiroz Vieira Turnell

Campina Grande, dezembro de 1996

*Ao meu esposo, Paulo Márcio,  
que fez seu, o meu ideal  
de ser mestra.*

# Agradecimentos

Hoje é um dia especial... é o dia da apresentação da minha dissertação

É também dia de agradecimentos.

É preciso dizer bem alto **muito obrigada**.

A Deus pela graça que me concedeu. Glória a vós, Senhor!

Aos meus pais, sogros e familiares, pelas orações, grande estímulo e apoio.

A minha orientadora, Maria de Fátima Q. V. Turnell, pela presteza com que sempre me atendeu. As suas sugestões, palavras de força e incentivo me valeram um trabalho gratificante.

Aos membros da banca examinadora, Ana Carolina Salgado, Marcelo Alves de Barros e Ulrich Schiel pelo crédito, pela análise crítica e sugestões que certamente enriquecerão este trabalho.

Ao amigo Flávio Leal Pimentel, pela significativa ajuda durante todo o processo de desenvolvimento deste trabalho.

A Maria de Fátima Fernandes, pela gentileza em ceder os dados necessários ao estudo de caso e revisão do capítulo referente a este estudo.

A Ricardo da Cunha Correia Lima que de boa vontade me permitiu dividir o tempo de trabalho com os estudos, sem o qual esta conclusão não seria possível em tempo hábil.

A José Eustáquio Rangel de Queiroz, pela participação ativa como agente de relevantes opiniões nesta dissertação, bem como na revisão da redação deste trabalho.

À professora Maria José dos Santos e ao engenheiro cartógrafo Miguel José da Silva, pela disponibilidade em solucionar todas as minhas dúvidas relacionadas a pedologia e cartografia, respectivamente.

Aos companheiros de trabalho Milcíades Alves Almeida e Vladimir Alencar, pela apresentação do conteúdo de Sistemas de Informação Geográfica, o que motivou fortemente a escolha deste tema.

A toda equipe do Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto da Paraíba - LMRS/PB, que não mediram esforços para me auxiliar durante todo este período como bons colegas que o são.

A Neucimar Leite, pela contribuição com artigos valiosos.

Aos funcionários da COPELE Ângela, Pedro e José Roberto e da COPIN Aninha e Manuella, por suas colaborações.

Experimento um sentimento de grande alegria pelo dever cumprido e levo a todos aqueles que, direta ou indiretamente, me ajudaram e a cada um, em particular, o meu abraço e minha profunda gratidão.

## Resumo

Este trabalho teve como principal objetivo a validação do Modelo Conceitual de Dados Geográficos MGeo+, a partir de um estudo de caso real e relativamente complexo. O estudo de caso desenvolveu-se no contexto da pesquisa da aptidão agrícola dos solos do setor leste da bacia do Rio Seridó (PB). A validação consistiu no mapeamento das características dos solos (propriedades físicas, químicas, morfológicas, climáticas e pedológicas) nas classes do modelo. Como resultado, concluiu-se pela extensão do modelo de modo a incluir os aspectos temporais dos dados. Para tanto, o trabalho apresenta os principais conceitos relativos à modelagem de dados espaço-temporais e conclui com uma análise do modelo estendido, TMGeo, com base no seu potencial para responder a um conjunto abrangente de consultas espaço-temporais.

# Abstract

This dissertation's main objective was to validate the conceptual geographical data model MGeo+, based upon a real and relatively complex case study. This case study was developed in the context of the study "land agricultural potential of the Seridó river basin" in the Northeast region of Brazil. The validation strategy consisted in mapping the soil characteristics such as chemical, physical, morphological, and pedological, into the model classes. As a result of this study the conclusion lead into extending the MGeo+ in order to include temporal aspects. The text presents a review with the main concepts related to spatial-temporal modelling in order to give the basis for the model temporal extension. Finally, the work concludes with an analysis of the extended model under the viewpoint of spatial-temporal queries.

# Sumário

<b>Lista de Figuras</b> .....	iv
<b>Lista de Tabelas</b> .....	v
<b>1 Introdução</b> .....	1
1.1 Dados Geo-referenciados .....	2
1.1.1 Formatos de Dados Geo-referenciados .....	4
1.2 Modelagem de Dados Espaciais .....	6
1.2.1 Tendências da Modelagem .....	8
1.3 Modelos de Dados .....	9
1.3.1 Modelos Vetoriais .....	11
1.3.2 Modelos <i>Raster</i> .....	12
1.3.3 Modelos Híbridos .....	14
1.4 Motivação Para o Trabalho .....	16
1.5 Objetivos a Serem Alcançados .....	16
1.6 Descrição Geral dos Capítulos .....	17
<b>2 O Modelo MGeo+</b> .....	19
2.1 Características do MGeo+ .....	19
2.2 Representação do Modelo .....	20
2.3 Descrição Informal .....	22

---

<b>3</b>	<b>Validação do MGeo+</b> .....	33
3.1	Apresentação do Estudo de Caso .....	33
3.1.1	Características Gerais da Área de Estudo Considerada .....	34
3.1.2	Fases do Projeto para a Obtenção da Aptidão Agrícola .....	37
3.1.2.1	Mapeamento dos Solos a Partir de Imagens de Satélite ..	37
3.1.2.2	Trabalho ou Levantamento de Campo .....	40
3.1.2.3	Identificação da Aptidão Agrícola das Terras .....	49
3.2	Instanciação no MGeo+ do Estudo de Caso .....	51
3.3	Avaliação do MGeo+ .....	58
<b>4</b>	<b>Modelagem Espaço-Temporal</b> .....	61
4.1	Modelagem Temporal em SIG .....	62
4.2	Modelos Espaço-Temporais .....	63
4.3	Síntese dos Modelos .....	75
<b>5</b>	<b>Temporalização do MGeo+, uma Proposta de Extensão</b> .....	77
5.1	A Modelagem do Tempo .....	78
5.1.1	Nível de Incorporação do Tempo .....	79
5.1.2	Representação Temporal Explícita e Implícita .....	80
5.1.3	Granularidade .....	81
5.1.4	Ordem no Tempo .....	81
5.1.5	Dimensão de Tempo .....	82
5.1.6	Densidade Temporal .....	84
5.1.7	Interpolação Temporal .....	85
5.1.8	Expressão Temporal .....	86
5.1.9	Indeterminância e Modalidade Temporal .....	86
5.1.10	Processos e Eventos .....	87
		88

---

5.2	Incorporando o Tempo no MGeo+ .....	
5.2.1	Os Modelos Temporais TOM e TOODM .....	88
5.2.2	Temporalização do MGeo+ .....	90
5.3	Consultas Espaço-Temporais e o TMGeo .....	97
<b>6</b>	<b>Conclusões</b> .....	<b>102</b>
6.1	Reverendo os Objetivos do Trabalho .....	102
6.1.1	Validação do MGeo+ .....	102
6.1.2	Temporalização do MGeo+ .....	104
6.2	Considerações Finais .....	104
6.3	Trabalhos Futuros .....	106
	<b>Referências Bibliográficas</b> .....	<b>107</b>

# Lista de Figuras

1.1	Representação Cartográfica Vetorial .....	4
1.2	Representação Cartográfica <i>Raster</i> .....	5
2.1	Estrutura Distribuída do Espaço .....	20
2.2	Estrutura de <i>Overlays</i> .....	20
2.3	Modelo Conceitual de Dados Geográficos MGeo+.....	21
3.1	Localização da Área de Estudo .....	35
3.2	Mapa Temático de Classificação dos Solos da Área Piloto .....	43
4.1	Extensão Temporal do SIG Convencional .....	63
4.2	Modelos de Dados de Registros Instantâneos .....	64
4.3	Exemplo de um STC a Partir da Urbanização de uma Região .....	66
4.4	Exemplo do Modelo Objeto Espaço-Temporal .....	68
4.5	Elementos Primários e Estrutura de Apontadores do ESTDM .....	69
4.6	O Modelo <i>Oogeomorph</i> .....	70
4.7	Representação Conceitual do Modelo de Três Domínios .....	72
4.8	Modelo Integrado de Dados .....	74
5.1	Tipos de Tempo em SIG Temporais .....	84
5.2	Evolução da Salinidade ao Longo do Tempo .....	95
5.3	Tipos de Consultas Temporais .....	98

# Lista de Tabelas

1.1	Quadro Sinopse dos Modelos de Dados .....	15
3.1	Síntese do Estudo de Caso .....	52
5.1	Síntese das Principais Características do TOM e TOODM .....	89
5.2	Classificação dos Objetos do TMGeo .....	93
6.1	Modelos de Dados .....	105

# Capítulo 1

## Introdução

A complexidade do mundo real dificulta sua compreensão imediata, exigindo a criação de “modelos” da realidade que apresentem alguma similaridade com aspectos de interesse do mundo real. A partir destes modelos, o homem aprendeu a descrever com precisão uma grande categoria de observações e a estabelecer relações entre elas que resultaram em proveito para o seu bem-estar econômico e social.

Para atuar sobre o mundo real, o homem precisou aperfeiçoar tecnologias e conhecimentos que pudessem tratar as entidades ambientais não somente do ponto de vista de suas origens e funções, mas também de suas localizações, formas, distribuições, escalas e limites [AS93]. Este tipo de tratamento requer sistemas capazes de lidar de forma flexível com volumes consideráveis de dados e recuperá-los de forma eficiente. Dentre as estratégias mais eficazes disponíveis, destaca-se o uso de Sistemas de Informações Geográficas - SIG [CHM92], [Cam93], [MP93] e [AS93].

Um SIG pode ser definido como um sistema automatizado capaz de adquirir dados geográficos das mais diversas fontes, gerenciar tais informações, analisá-las com o objetivo de gerar novas informações a partir dos dados existentes e apresentar resultados de fácil interpretação ao

usuário, otimizando desta forma, o processo de tomada de decisões por um usuário ou uma comunidade usuária.

A característica principal de um SIG é sua capacidade de integrar camadas de informações espacialmente, também conhecidas na literatura como temas, camadas (*layers*) ou planos de informação [FM91], [SE90] e [SGI92]. Estas camadas têm origem de diversas fontes de dados, tais como mapas, imagens de satélite e cadastros, dentre outras. Em um contexto mais amplo, os SIG incluem-se no domínio tecnológico que se convencionou chamar de Geoprocessamento. Em geral um SIG pode assistir o usuário nas cinco etapas essenciais do Geoprocessamento: aquisição, processamento, gerenciamento, manipulação e análise de dados, além da geração de produtos [SE90].

Os dados utilizados pelos SIG pertencem a uma classe especial, conhecida como dados geo-referenciados.

De uma forma geral, Geoprocessamento pode ser entendido como um conjunto de estratégias de aquisição e processamento de dados geo-referenciados e, cuja área de atuação envolve a coleta e o tratamento da informação espacial, assim como o desenvolvimento e uso de sistemas e aplicações referenciadas geograficamente.

## 1.1 Dados Geo-referenciados

Este termo se refere a dados que descrevem entidades do mundo real associadas à sua localização sobre a superfície terrestre, tais como: rede elétrica, tipos de solo ou tipos de cobertura vegetal de uma dada região. Além do aspecto de geo-referenciamento, os dados utilizados em SIG caracterizam-se pelo seu grande volume, sua heterogeneidade e pelo fato de

estarem potencialmente distribuídos em diversos locais da superfície da Terra [Goo91].

As informações sobre a localização física de dados geo-referenciados são armazenadas sob a forma de **dados espaciais**, nome genérico dado ao conjunto de estruturas de dados e técnicas de armazenamento para a representação de entidades multidimensionais e de sua distribuição no espaço.

Os dados geográficos descrevem um determinado fenômeno em uma dada localização em um determinado momento, sendo comumente caracterizados por três componentes fundamentais: descrição, localização e tempo.

O componente **descrição**, também chamado de **atributo convencional** ou **atributo não espacial** descreve as propriedades temáticas de uma entidade geográfica. Pode ser de dois tipos. O tipo **descritivo**, associado a informações alfanuméricas que caracterizam quantitativa e qualitativamente as feições geométricas utilizadas nas bases cartográficas e descrevem as propriedades de entidades geo-referenciadas, tais como: tipo de solos, pluviosidade, vazão de poços, população de uma determinada região, tipo de cobertura vegetal, etc. E o tipo **pictórico**, relativo a informações gráficas, tais como: dados de imagens orbitais, fotos publicitárias e representações gráficas em geral.

O componente **localização** contém a descrição das características espaciais de uma entidade geográfica. Este componente possui duas propriedades distintas: propriedades **geométricas**, por exemplo, localização, tamanho e forma de objetos espaciais e, propriedades **topológicas**, como conectividade, adjacência, inclusão e continência, que representam o relacionamento entre dados geométricos.

O componente **tempo** descreve os períodos em que os valores daqueles dados geográficos são válidos. A coleta de dados ao longo do tempo (por exemplo, séries históricas) é fundamental para aplicações voltadas ao planejamento e à tomada de decisões.

### 1.1.1 Formato de Dados Geo-referenciados

Basicamente, dois formatos de dados são manipulados pelo SIG: o formato **vetorial** e o formato de **tesselações** ou *raster* [Peu84], [RM92] e [SE90].

No formato vetorial, as fronteiras das feições geográficas são definidas por uma série de pontos que, concatenados, compõem as representações gráficas daquelas feições. Conforme Queiroz [Que96], tal representação, que em geral resulta do processo de digitalização da informação original, consiste normalmente de listas de coordenadas bidimensionais que delimitam regiões temáticas (manchas de solos, aglomerados urbanos e cursos d'água) ou representam redes pontuais (redes de infra-estrutura), podendo ter associada uma terceira grandeza. Os dados geográficos no formato vetorial são reduzidos aos conceitos topológicos de ponto, linha e área. A Figura 1.1, adaptada do IDRISI User's Guide, ilustra entidades cartográficas vetoriais.

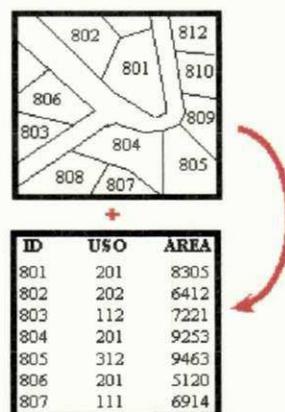


Figura 1.1 - Representação Cartográfica Vetorial

Por outro lado, no formato *raster* as feições e os atributos estão contidos em arquivos de dados unificados. A área de estudo é subdividida em reticulados, armazenados como células de matrizes bidimensionais, onde cada célula (também denominada elemento de imagem ou, mais comumente, *pixel*, do inglês *picture element*) é referenciada por índices de linha e coluna e contém um número representando o tipo ou valor do atributo mapeado. Cada célula está associada a um único valor dentre uma gama de valores possíveis (em geral, de 0 a 255) [Que96]. A Figura 1.2 ilustra a representação no formato raster.

0	0	0	0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1
0	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1
0	0	0	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1
0	0	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1
0	1	1	1	1	1	3	3	3	2	2	2	2	2	2	1
1	1	1	1	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	0
1	1	1	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	2	2	2
1	1	1	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	1	2	2
1	2	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	2	2	2
1	1	2	3	3	3	3	3	2	2	2	1	2	2	1	1
1	2	2	2	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	1
2	2	2	2	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
0	0	0	2	2	2	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3
0	0	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3
0	2	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	0
0	0	1	1	1	3	3	3	3	3	2	2	2	0	0	0

Figura 1.2. Representação Cartográfica *Raster*

Para o processamento conjunto dos dois tipos de dados, é usual transformar dados do tipo *raster* em vetorial ou vice-versa, assim a cada célula é associado um ponto cujas coordenadas correspondem à posição da célula no espaço. Contudo, conforme [Peu84] e [SE90], as conversões dessas estruturas de dados podem representar uma perda de informações significativa e uma sobrecarga do sistema, principalmente quando o volume de dados e a frequência de uso do sistema aumentam.

Os tipos de dados usados em uma aplicação dependem do domínio e dos requisitos de uso, bem como da escala na qual o problema é analisado.

Gerenciamento de infra-estrutura (planejamento de expansão telefônica ou elétrica) e cartografia usam, em princípio, dados vetoriais. Por outro lado, as aplicações de gerenciamento ambiental e monitoramento de recursos naturais usam, na maioria das vezes, dados *raster*. Entretanto, não existe nenhuma definição de qual o tipo ou formato de dados é mais adequado para uma dada aplicação [MJ93].

## 1.2 Modelagem de Dados Espaciais

A modelagem de dados espaciais apresenta-se, hoje, como uma área de grande interesse. Ela diferencia-se do processo de modelagem convencional por necessitar da caracterização do domínio espacial dos entes e relacionamentos a serem analisados pelo sistema. Um SIG objetiva processar, gerenciar e analisar dados geo-referenciados. Todavia, a capacidade de um sistema de informações está diretamente relacionada ao projeto de seu modelo de dados. Segundo Yuan [Yua?], se um SIG não dispõe de um bom modelo de dados, seu suporte para consultas e análise será ineficaz.

A escolha de uma representação apropriada da estrutura de um problema é, talvez, o componente mais importante de sua solução [WHM90].

Todavia, diferentes problemas exigem diferentes formas de representação. No caso dos SIG, cada um deles implementa um modelo de dados próprio e, em geral, distante da terminologia adotada e do entendimento do mundo real pelos seus usuários [PM96]. Um exemplo bastante comum é um mesmo conceito do mundo real ser denominado, de acordo com o SIG que se utiliza, de várias maneiras distintas como: temas, categorias, camadas, planos de informação, coberturas e mapas. O projetista de uma aplicação precisa, portanto, interpretar as necessidades do usuário e

mapear o mundo real em dados de entrada que serão transformados segundo o modelo implementado pelo SIG.

Existe no mercado uma grande variedade de ferramentas para a modelagem das informações espacialmente distribuídas mas, infelizmente, não existe ainda um modelo de dados geográficos amplamente aceito que possibilite uma visão conceitual completa da aplicação geográfica com todos os fenômenos geográficos envolvidos. O motivo, conforme Times [Tim94], é a falta de uma teoria uniforme sobre banco de dados espaciais e de uma metodologia para o desenvolvimento de suas aplicações, o que constitui o maior obstáculo para os trabalhos nesta área.

Técnicas tradicionais de modelagem de dados não são adequadas para o tratamento de dados geográficos. Segundo Romam [Rom90], a dificuldade reside no fato de que a maioria desses dados tem seu processamento ligado à localização para a qual são válidos, ao tempo em que foram coletados e à sua confiabilidade (do ponto de vista de coleta de dados). As complexas definições espaciais tornam difícil a modelagem de dados espaciais, uma vez que ela é dirigida não apenas pelas necessidades do usuário, mas também pela disponibilidade dos dados e suas fontes de captação, sem contar as restrições impostas pelos SIG adotados. Alguns SIG não permitem a definição de áreas que se sobreponham, outros não permitem a existência de versões de representação e outros ainda, só manipulam dados bidimensionais.

Os problemas neste sentido envolvem todos os níveis de um banco de dados, indo desde a necessidade de interfaces e de linguagens adequadas para consulta e entrada de dados, passando pela manipulação de dados até questões de arquitetura, implementação de operadores, otimização e a escolha do modelo.

### 1.2.1 Tendências da Modelagem

Uma outra dificuldade comum a aplicações geográficas é a grande distância entre as sofisticadas estruturas de informação, demandada por algumas aplicações, além da relativa simplicidade dos modelos de dados em que essas estruturas podem ser expressas e manipuladas.

Técnicas usuais de modelagem de dados, tais como modelos de dados entidade-relacionamento, rapidamente demonstram suas limitações quando expostas às necessidades de gerenciamento de dados espaciais [DB94]. Conforme Worboys, Hearnshaw e Maguire [WHM90], modelos de dados orientados a objetos possuem a facilidade de expressar a estrutura de informação da aplicação original, em contraste com a modelagem relacional tradicional. Por outro lado, a criação de um modelo de dados para SIG orientado a objetos é, até o momento, um território relativamente pouco explorado.

Outro aspecto observado na modelagem de dados espaciais é uma tendência em considerar modelos de dados estendidos ou orientados a objetos como mais adequados para expressar o domínio do conhecimento de muitas aplicações geográficas, auxiliando dessa forma a solucionar alguns problemas de modelagem e implementação existentes no SIG relacional. De acordo com Davis [Dav94], quando se utiliza um SGBD relacional para gerenciar dados espaciais, os usuários são forçados a adaptar o modelo de dados idealizado para que este se encaixe nas exigências da modelagem relacional, como a normalização, por exemplo. Devido a estas transformações o desempenho do sistema é degradado, tornando-se inaceitável quando se utiliza um grande volume de dados. Diante dessas necessidades, as técnicas de modelagem convencionais mostram-se bastante limitadas.

Todavia, faz-se necessário salientar que os SGBD relacionais são abrangentes no tratamento da segurança dos dados, recuperação dos erros, geração de relatórios e controle de transações. Isto acontece não apenas porque estes tipos de operações são mais naturais em um ambiente computacional, mas também por causa da longa tradição e maior tempo de desenvolvimento dos SGBD relacionais [Dav94]. Conclui-se, dessa forma, que somente com mais pesquisa, combinada com experiência de uso, será possível demonstrar qual o melhor enfoque.

### 1.3 Modelos de Dados

O propósito de qualquer modelo de dados é fornecer meios para a especificação e manipulação das propriedades estruturais e comportamentais de um banco de dados [Tim94]. O modelo precisa ser claro e prover um modo natural e eficiente de conversão para as estruturas computacionais internas, incluindo condições de compactação e velocidade de uso.

Modelo, no contexto de SIG, significa uma combinação de expressões lógicas, procedimentos analíticos e critérios que são aplicados a um conjunto de dados geográficos, com o propósito de simular um processo, provocar um evento ou caracterizar um fenômeno [Fra92].

Duas categorias distintas de modelos de dados geográficos podem ser identificadas de acordo com a abordagem usada: **modelos baseados em campos** e **modelos baseados em objetos** [Goo92]. Ambas as teorias abordam os aspectos comportamentais e representativos das variáveis geométricas [FSC+94]. A diferença entre elas é o enfoque dado à forma como as variáveis geográficas estão distribuídas no espaço e à forma como elas podem ser definidas por tais características.

A teoria de campos, segundo Câmara [Cam93], “enxerga” o mundo como uma superfície contínua, sobre a qual fenômenos geográficos a serem observados variam segundo diferentes distribuições. Esta teoria é caracterizada pela representação das variáveis espaciais a partir da associação de pontos do espaço a atributos. Esta associação pode ser feita através de funções matemáticas (*Piecewise*), ou por atribuições (contorno e amostragem) [Goo92]. Um campo definindo a cobertura vegetal de uma região poderia ser modelado como um função cujo domínio é uma abstração da região e cujo contradomínio é conjunto de tipos de cobertura vegetal, ou seja, a cada região a função associa o tipo de vegetação nele predominante.

No caso da teoria baseada em objetos, o mundo é representado por uma superfície ocupada por objetos identificáveis, com geometria e características próprias [Cam94]. Tais objetos não são necessariamente associados a qualquer fenômeno geográfico específico e podem inclusive ocupar a mesma localização geográfica. São exemplos típicos de elementos modelados como objetos as edificações e as redes viárias.

De acordo com Câmara [Cam93], a distinção entre campos e objetos pode ser feita a partir da aplicação do princípio de **restrição de preenchimento do plano** - *Planar Enforcement*. Este princípio postula que uma superfície descrita por um campo está particionada em regiões disjuntas, onde a cada região está associado apenas um valor do fenômeno geográfico representado. Este valor pode ser simples ou composto, dependendo da escala, dispositivo de coleta e fenômeno geográfico considerado. A restrição de preenchimento planar não precisa ser garantida no caso do modelo de objetos, uma vez que eles podem tanto ser disjuntos quanto compartilhar o mesmo espaço. Um exemplo bastante característico são os casos de mapas de vegetação e planta de um loteamento. No mapa de vegetação, cada ponto está associado a um tipo específico de vegetação (caatinga) ao passo que, na planta, objetos distintos podem conviver em uma mesma localização (um lote e uma edificação) [Cam93].

### 1.3.1 Modelos Vetoriais

O Modelo de Dados Vetoriais POLYVRT (POLYgon conVeRTer), desenvolvido por Peucker e Chrisman e implementado pelo Laboratório de Computação Gráfica de Harvard no final dos anos 70 [Peu84, in Tim94], tem uma cadeia como elemento base. Uma cadeia é definida como uma seqüência de segmentos de reta que começam e terminam em um nó. Cada cadeia contém informações topológicas e de direção armazenadas explicitamente. Esta facilidade, contudo, envolve um custo adicional e de maior esforço de desenvolvimento de um banco de dados geográfico.

Os pontos de coordenadas definindo cada cadeia não são armazenados como parte dos registros de dados da cadeia. Ao invés disso, um ponteiro para o início dessa informação armazenada em uma tabela separada de pontos é registrado. Similarmente, existem ponteiros dentro da tabela de polígonos para as cadeias individuais que os envolvem.

Uma das vantagens proporcionadas pelo modelo POLYVRT, conforme ressaltado em [Peu84], é que a sua estrutura hierárquica permite a recuperação seletiva de apenas uma classe de dados específica por vez. Outra vantagem é a versatilidade oferecida pelo modelo, ou seja, ele pode ser estendido para representações de dados mais complexas.

A separação física das entidades lógicas implementadas no computador possibilita uma maior eficiência, contudo causa a necessidade de utilização de uma estrutura de ponteiros. Além do volume de dados extra, esta estrutura gera um *overhead* significativo, principalmente usando aplicações que envolvem um grande número de entidades conceituais [Tim94]. Um outro aspecto negativo do modelo POLYVRT, é que ponteiros incorretos são extremamente difíceis de serem detectados e corrigidos. A geração de tal estrutura pode ser confusa e consumir uma grande quantidade de tempo. Detalhes do modelo acham-se descritos em [Peu84].

O Modelo de Dados Geográficos IFO (*Is-a relationships, Functional relationships, complex Objects*), introduzido por Abiteboul e Hull em 1984 [WHM90], incorpora construtores orientados a objetos para representar os elementos espaciais básicos (ponto, linha, polígono) [Tim94].

Apesar de apresentar um nível de abstração mais elevado que o citado anteriormente, o modelo IFO não é suficientemente claro, pois apresenta muitos níveis de especialização e representa apenas algumas propriedades geométricas dos objetos geográficos, além de não ter suas operações bem definidas [Tim94]. Este modelo é descrito detalhadamente em [WHM90].

O Modelo de Objetos Genéricos proposto por Worboys [Wor92], conforme [Tim94], possibilita a representação dos objetos geométricos e a definição do conjunto de operações que são necessárias às aplicações geográficas. Porém, as informações descritivas e cada um dos diferentes tipos de dados de superfície terrestre não são tratados.

### 1.3.2 Modelos *Raster*

Em organizações do tipo *raster* ou varredura, a unidade lógica base é uma única célula ou uma unidade do espaço em malha. Os três tipos básicos de modelos de dados *raster* regular são: quadrático, triangular e hexagonal, diferenciando-se por características funcionais que se baseiam nas diferenças geométricas do polígono. ...

Apesar do modelo quadrático ser o mais usado, conforme Peuquet [Peu84], os modelos com organização hexagonal tem uma grande vantagem sobre os demais: todas as células vizinhas de uma dada célula estão equidistantes do ponto central daquela célula, o que facilita a construção de funções de recuperação aplicadas sobre a estrutura *raster*.

A organização em malha triangular, regular ou irregular, possui a característica única de que todos os triângulos têm orientação diferentes. Isto faz com que a organização triangular seja a mais adequada para a representação de terrenos e de outros tipos de dados de superfície.

A diferença básica entre os três modelos de dados *raster* é que apenas a malha quadrática sobre o plano pode ser recursivamente subdividida em áreas do mesmo formato e orientação.

O modelo *Quadtree* é o mais conhecido e estudado modelo *raster* [Peu84], [Ooi90] e [Sam90]. Ele apresenta, conforme [Tim94], os seguintes benefícios para aplicações geográficas:

- ✓ uso de uma estrutura em árvore balanceada de grau 4, que é um dos tópicos de pesquisa mais estudados e documentados na Ciência da Computação;

- ✓ compatibilidade com o sistema de coordenadas cartesianas;

- ✓ representação de um esquema de escala variável baseado na potência de 2. Isto significa que, apesar do aumento de volume, dados em múltiplas escalas podem ser armazenados e quando mudanças na escala ocorrerem, apenas será necessário recuperar os dados em outro nível da árvore;

- ✓ facilidade na distribuição física dos dados armazenados e a realização de importantes operações, como *browsing* e *windowing* [Peu84].

A desvantagem deste modelo é a definição voltada para suas estruturas internas.

Duas extensões para este modelo foram propostas: *point Quadtree* e *region Quadtree* [Ooi90],[Sam90]. Uma descrição para estes modelos pode ser encontrada em [Tim94].

Estudos realizados mostram que a maioria dos modelos propostos são voltados para uma área de aplicação específica [Her92], [Kub84], [KT92] e, [Peu84] ou são projetados para utilizar exclusivamente operações em um dos formatos (*raster* ou *vetorial*), limitando desta forma o uso e a extensão do sistema [Tim94].

### 1.3.3 Modelos Híbridos

Um modelo de dados é dito híbrido quando aborda as teorias de campo e objeto. São ditos híbridos o modelo Alves [Alv90] e o VASTER [Peu84], além do Spring [CS91][CC92][CP93], bastante utilizado em nível nacional.

O modelo VASTER, conforme Times [Tim94], apesar de incorporar características de ambos os formatos de representação externa, ainda continua muito próximo às estruturas de implementação, não permitindo que os usuários discutam convenientemente sobre os objetos geográficos do mundo real. O modelo Alves, por sua vez, tem como principal característica a separação entre os objetos do mundo real e suas representações geométricas. Todavia, neste modelo as classes de geometria foram definidas para uma dada aplicação, o que o torna um modelo específico.

Um outro modelo de dados híbrido é o do SPRING. De acordo com [Pim95], o modelo de dados do sistema de geoprocessamento SPRING é baseado na idéia de utilização de modelos multi-níveis na estrutura do modelo. Baseado nisso, o modelo adota a filosofia de modelo de dados conceituais, formado por estruturas em níveis de abstração mais elevados e próximas da realidade geográfica, e modelos de representação formados de

entidades básicas. O detalhamento dos modelos conceituais e de representação do SPRING encontram-se em [Pim95].

Apesar de integrar as duas abordagens, campo e objeto, os modelos de dados híbridos impõem as seguintes limitações segundo Pimentel [Pim95]:

✓carência de diretrizes para suportar o entendimento do comportamento da realidade geográfica, no que se refere à forma como as informações são estruturadas;

✓carência de uniformização de uma metodologia de visualização do espaço geográfico.

Com o propósito de superar estas limitações, Pimentel propôs o **Modelo Conceitual para Dados Geográficos MGeo+**. Este modelo híbrido orientado a objetos é descrito no próximo capítulo.

Com o propósito de comparar as características dos modelos acima citados, apresenta-se a seguir o seguinte quadro sinopse:

Modelos de Dados	Orientado a Objeto	Vetorial	Raster	Temporal	Hierárquico	Multiníveis
<i>POLYVTR</i>		●			●	
<i>IFO</i>	●	●				
<i>Mod. de Obj. Genéricos</i>	●	●				
<i>Quadtree</i>			●		●	
<i>Alves</i>	●	●	●			
<i>Vaster</i>		●	●			
<i>SPRING</i>		●	●			●
<i>Mgeo</i>	●	●				
<i>MGeo+</i>	●	●	●			

Tabela 1.1 - Quadro Sinopse dos Modelos de Dados

## 1.4 Motivação para o Trabalho

Segundo Casanova e Tocantins [CT95], diversos estudos têm sido desenvolvidos com o intuito de melhorar o desempenho dos SIG. Eles abrangem áreas tais como a definição de arquiteturas e modelos de dados, o uso de novos métodos de acesso espacial e a síntese de algoritmos eficientes para a resolução de consultas espaciais.

Neste contexto, o Modelo Conceitual para Dados Geográficos - MGeo+ [Pim95], foi desenvolvido com o objetivo de suprir as lacunas existentes na modelagem de informações geo-referenciadas, abordando não apenas a forma como as informações são estruturadas, mas também seus aspectos comportamentais.

Este trabalho foi motivado pela necessidade de validar os conceitos necessários ao processo de modelagem de dados no MGeo+ enquanto utilizado para a modelagem de uma aplicação específica do mundo real. Esta validação será feita a partir de um estudo de caso na área de recursos naturais.

## 1.5 Objetivos a Serem Alcançados

Este trabalho tem como objetivos básicos:

- ✓ A verificação da adequação do MGeo+ a partir de uma aplicação real na área de recursos naturais;

- ✓ Estender o MGeo+ de modo a suprir as lacunas encontradas durante o estudo de caso, tais como o tratamento temporal para os dados espaciais.

## **1.6 Descrição Geral dos Capítulos**

Além deste capítulo, este trabalho é composto de mais cinco capítulos, os quais são descritos a seguir.

### **Capítulo 2: O Modelo MGeo+**

Objetiva a apresentação do MGeo+, a partir de suas principais características e da descrição informal de suas classes e métodos.

### **Capítulo 3: Validação do MGeo+**

Apresenta inicialmente um estudo de caso com o propósito de mostrar a validade dos conceitos teóricos necessários ao processo de modelagem de dados. Numa segunda parte do capítulo, será mostrada a validação propriamente dita do modelo, que consiste da instanciação de cada uma das classes do MGeo+, a partir da utilização dos dados coletados no estudo de caso.

### **Capítulo 4: Modelagem Espaço-Temporal**

Os SIG convencionais encontram dificuldades para manipular os aspectos temporais dos dados espaciais modelados. Discute-se, neste capítulo, as dificuldades em implementar o conceito de tempo nos SIG convencionais, e faz-se um resumo dos principais modelos de dados espaço-temporais existentes na literatura enfatizando o desenvolvimento observado recentemente nesta área.

**Capítulo 5: Temporalização do MGeo+ , uma Proposta de Extensão**

Este capítulo trata da introdução dos aspectos temporais no modelo de dados geográficos MGeo+. Para tanto, trata a conceituação do tempo. Com o propósito de esclarecer a modelagem do tempo, descreve-se brevemente dois modelos conceituais de dados temporais orientados a objetos, o TOM - *Temporal Object Model* e o TOODM - *Temporal Object Oriented Data Model*. Em seguida, é proposta uma extensão do MGeo+ para incorporar o tempo. Finalmente, faz-se uma análise do modelo estendido com base nos diferentes tipos de consultas espaço-temporais encontrados na literatura.

**Capítulo 6: Conclusões**

Neste capítulo serão retomados aspectos discutidos ao longo do texto, de modo a possibilitar uma avaliação da relevância deste trabalho no contexto de modelos espaço-temporais, e apresentar algumas sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

# Capítulo 2

## O Modelo MGeo+

Este capítulo tem como objetivo a caracterização do MGeo+ e a descrição informal das principais classes que o constituem. Esta descrição servirá de subsídio para o próximo capítulo, no qual será feita a validação deste modelo, a partir de um estudo de caso.

O modelo conceitual para dados geográficos MGeo+ propõe uma nova estruturação e incorporação de características semânticas e funcionais inerentes às entidades geográficas.

### 2.1 Características do MGeo+

O modelo MGeo+ tem como característica marcante o estabelecimento de uma estrutura distribuída do espaço em nível de planos de informação, possibilitando o aparecimento de uma entidade geográfica em diversos planos de informação de um mesmo modelo. Neste sentido, o conceito de *overlay* ou camadas, conforme descrito em [FM91] e [SE90], característica comum à maioria dos modelos conceituais de dados geográficos, passa a não mais existir. A Figura 2.1 ilustra esta característica e torna evidente a sua diferença em relação ao esquema de *overlays*, representado pela Figura 2.2.

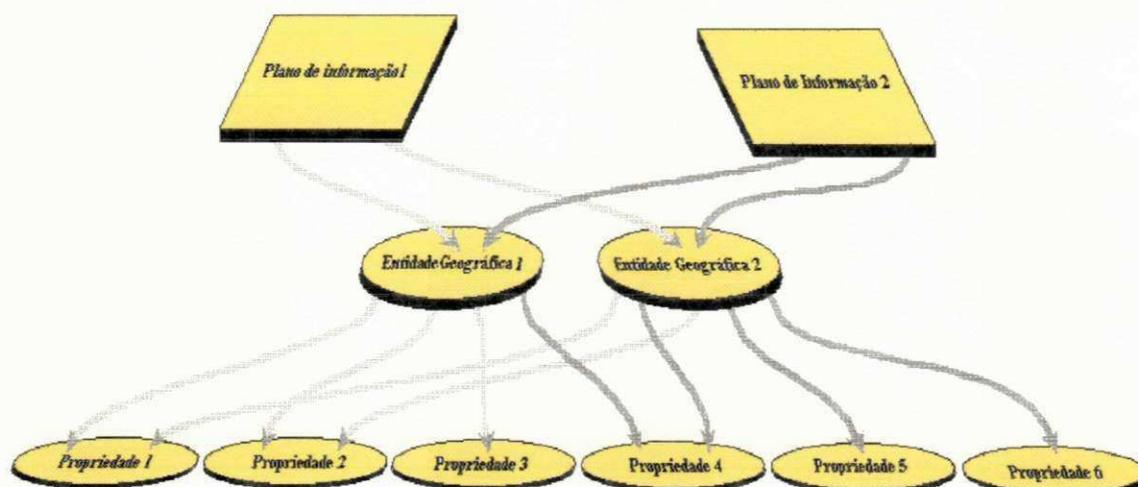
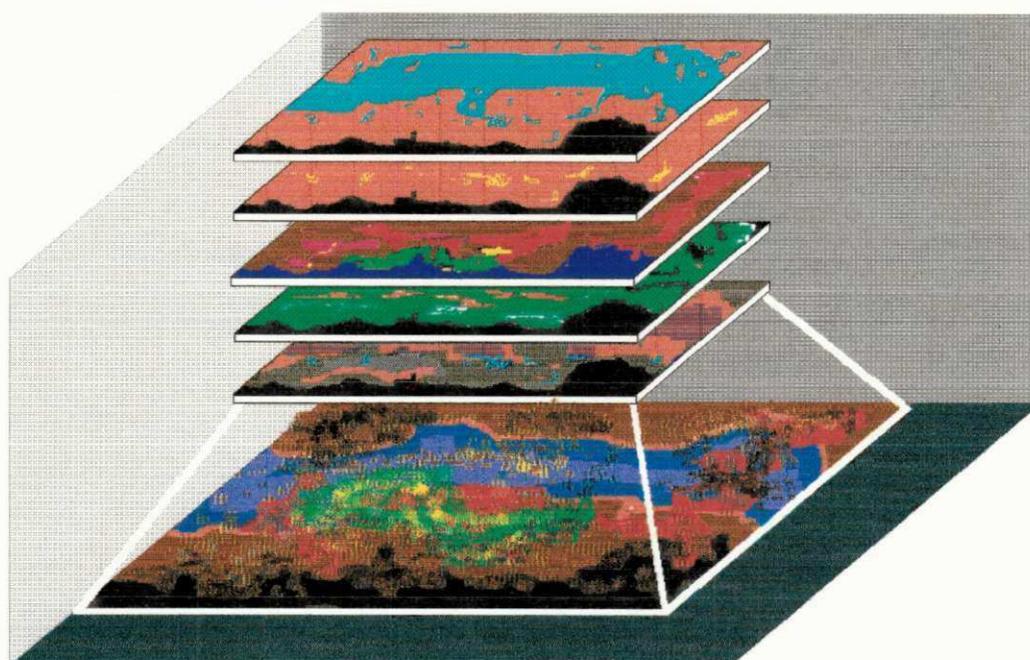


Figura 2.1 - Estrutura Distribuída do Espaço

Figura 2.2 - Estrutura de *Overlays*

## 2.2 Representação do Modelo

Para a formalização do modelo, Pimentel em [Pim95], utilizou a técnica OMT (*Object Modeling Technique*), apresentada em [RBP+91]. Esta representação encontra-se ilustrada na Figura 2.3.

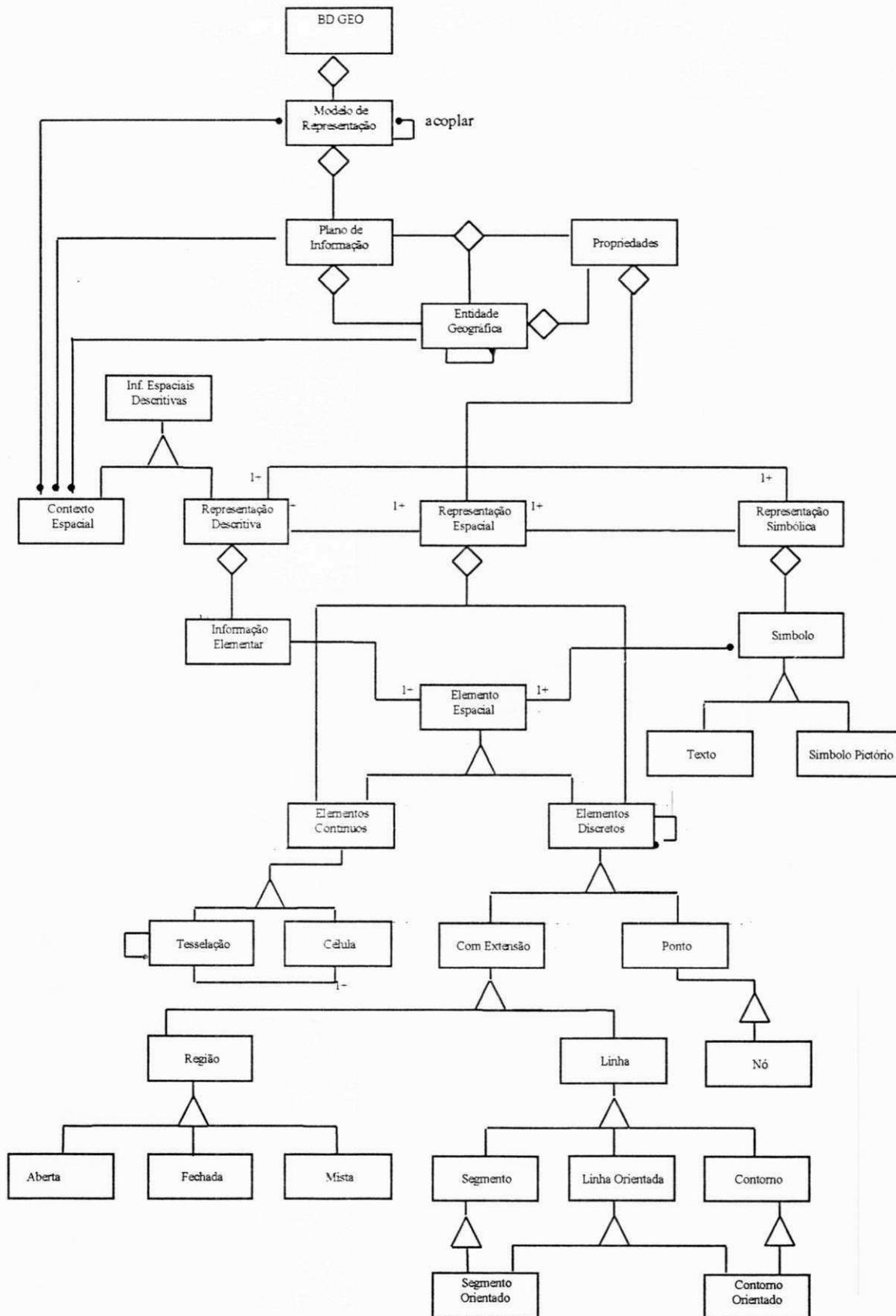


Figura 2.3 - Modelo Conceitual de Dados Geográficos - MGeo+

## 2.3 Descrição Informal

Esta seção descreve informalmente as classes do MGeo+. Os atributos de cada uma delas encontram-se sumarizados no Anexo I deste documento. Como poderá ser observado, algumas classes não são explicitamente definidas, mas suas funções estão incluídas em outras classes de hierarquia mais alta.

Inicialmente serão descritas as classes auxiliares do modelo e, em seguida, as classes propriamente ditas. Esta descrição sumariza aquela apresentada em Pimentel [Pim95].

### Classes Auxiliares

As classes descritas a seguir (Coordenada, Região Cartográfica, Cartografia do Modelo de Representação, Cartografia do Plano de Informação, Descrição do Plano de Informação e Rótulo do Plano de Informação) são ditas auxiliares àquelas apresentadas no diagrama da Figura 2.3.

A classe **Coordenada** representa os diversos tipos possíveis de sistemas de coordenadas, os quais serão utilizados para o posicionamento espacial dos objetos geo-referenciados.

A classe **Região Cartográfica** define uma região do espaço à qual as informações das classes inferiores do modelo se referem. Uma região cartográfica é definida por duas coordenadas (ponto superior esquerdo e ponto inferior direito) que determinam o menor retângulo envolvente, ou MBR (*Minimum Boundary Rectangle*). Dependendo do sistema de coordenadas utilizado, a região pode assumir uma forma retangular ou angular, se assumirmos como sistemas o cartesiano e polar, respectivamente.

As informações definidas na classe **Cartografia do Modelo de Representação** serão válidas para todos os planos de informação pertencentes a um determinado modelo de representação.

A classe cartografia do modelo de representação define na sua estrutura as seguintes informações :

✓ tipo de projeção cartográfica utilizada (UTM, Lambert, Gauss, cilíndrica, etc.);

✓ região em estudo considerada, definida de acordo com o sistema de coordenadas utilizado (cartesiano ou polar);

✓ parâmetros cartográficos auxiliares utilizados, tais como *datum* e coordenadas geográficas de referência.

De acordo com a filosofia do modelo, os diversos planos de informação definidos em um modelo de representação estão submetidos às informações cartográficas definidas na instância da classe **Cartografia do Modelo de Representação** à qual pertencem. Todavia, algumas informações são particulares de cada plano como, por exemplo, a escala utilizada na definição de seus dados e a região em estudo definidas na classe **Cartografia do Plano de Informação**.

O objetivo da classe **Descrição do Plano de Informação** é abrir espaço para a estruturação do aspecto descritivo da informação cartográfica conforme os padrões existentes atualmente.

Nas cartas geodésicas, além das informações cartográficas, são fornecidas a fonte da informação e o código da inscrição das informações cadastradas no órgão de origem, atributos da classe **Descrição do Plano de Informação**.

A classe **Rótulo do Plano de Informação** engloba as informações descritivas normalmente encontradas nas cartas geodésicas e que se enquadram no contexto de Plano de Informação. Como consequência, esta classe utiliza a classe Descrição como complemento à informação da data da coleta das informações cadastradas.

As classes principais do MGeo+ acham-se informalmente descritas a seguir.

## **BD\_GEO**

Apresentada no topo da hierarquia, a classe BD\_GEO, além de representar a estrutura mais genérica do modelo, assume com maior ênfase o papel de regulamentadora dos modelos de representação inseridos na base de dados. A esta classe estão associados vários modelos de representação, através do mecanismo de agrupamento.

Restrições às características destes modelos são efetuadas ora no momento de inserção de novos modelos, ora através da execução de operações. É também através de tais operações que alterações a modelos já existentes são efetuadas.

Duas são as restrições estabelecidas por esta classe:

- ✓impedimento à interseção das regiões definidas por modelos de representação com características cartográficas idênticas;

- ✓garantia à unicidade de modelos de representação através dos valores dos seus atributos.

Nesta classe são estabelecidos os seguintes métodos:

- ✓ inserção de novos modelos de representação;
- ✓ remoção de relacionamentos existentes com modelos de representação e outras classes;
- ✓ ampliação de regiões de estudo de modelos já existentes, observando-se as restrições impostas.

### **Modelo de Representação**

Classe cuja função é definir qual a região onde seus planos de informação estão delimitados e estabelecer qual o tipo de projeção adotada. Os atributos como: escala e região espacial do plano de informação são definidos livremente, desde que dentro da área delimitada pelo modelo de representação. Com esta proposta, estabelece-se uma estrutura distribuída do espaço em nível de planos de informação, permitindo ainda que uma mesma entidade possa aparecer em mais de um plano de informação, conforme visualizado na Figura 2.1.

Esta classe também acha-se relacionada com a classe Contexto Espacial. Este relacionamento, embora simplesmente descritivo, possibilita a referência aos dados do modelo e à descrição do contexto espacial, no qual a informação se acha inserida. São observados relacionamentos semelhantes com as classes Plano de Informação e Entidade Geográfica. Note-se, entretanto, que em cada um deles a informação contextual é diferenciada pelo próprio detalhamento da classe.

Esta classe estabelece restrições a diversas classes relacionadas diretamente, ou indiretamente como Plano de Informação e Contexto Espacial, dentre as quais destacam-se:

✓unicidade de qualquer contexto espacial associado às classes Modelo de Representação, Plano de Informação e Entidade Geográfica;

✓unicidade de planos de informação associados à classe;

✓unicidade de entidades geográficas indiretamente associadas à classe através de planos de informação;

✓unicidade de propriedades indiretamente associadas à classe, inicialmente através de entidades geográficas e, posteriormente, através de planos de informação;

✓unicidade de tipos de células (exagonal, triangular e quadrática) utilizadas em um mesmo plano de informação;

✓unicidade de diversas representações espaciais e descritivas relacionadas ao modelo, através das propriedades relacionadas ao modelo de representação.

Os métodos definidos nesta classe são expressos a seguir:

✓inserção e remoção de novos planos de informação;

✓inserção e remoção de relacionamentos de planos de informação associados ao modelo de representação;

✓ampliação da área de estudo de planos de informação, desde que possível.

### **Plano de Informação**

Um Plano de Informação é um conjunto de características referentes a um determinado tema do mundo real.

Esta classe determina uma região qualquer do espaço, desde que dentro do modelo de representação e na escala na qual as informações estão armazenadas. Um plano de informação pode ser entendido como um agrupamento de entidades geográficas podendo, todavia, não estar relacionado com todas as suas propriedades.

Este relacionamento pode ser visualizado através da agregação existente entre as classes: Plano de Informação, Entidade Geográfica e Propriedade, enfatizando, assim, a forma como as informações são organizadas na realidade geográfica.

Alguns métodos são descritos nesta classe:

- ✓ inserção e remoção de relacionamentos com contextos espaciais;
- ✓ inserção e remoção de relacionamentos com propriedades;
- ✓ inserção e remoção de entidades geográficas simples e compostas.

### **Entidade Geográfica**

Uma Entidade Geográfica representa a organização de diversas informações geo-referenciadas interrelacionadas por características comuns.

Exemplificando, tem-se o relacionamento entre os tipos de solos de uma região e suas propriedades químicas, físicas e morfológicas. Verifica-se, assim, o relacionamento de agrupamento entre as classes Entidade Geográfica e Propriedades.

Os métodos definidos nesta classe são os seguintes:

- ✓ inserção e remoção de contextos espaciais;
- ✓ inserção e remoção de propriedades.

## Propriedades

Propriedades são características específicas de uma entidade geográfica, entre outras a sua altimetria, pedregosidade, e espaço geográfico. Desta forma, uma propriedade absorve o significado do que representam as teorias de campo e objetos, visto que explicita o comportamento de uma característica espacial.

Neste contexto, o conjunto formado pelas classes Entidade Geográfica e Propriedade representa a organização da informação espacial e a descrição do seu comportamento.

Estas características são estruturadas através da sua descrição, localização espacial e simbologia o que podem ser visualizados através da agregação com as classes: Representação Descritiva, Representação Espacial e Representação Simbólica.

Os seguintes métodos são observados:

- ✓ criação e remoção de representações descritivas, espaciais e simbólicas;
- ✓ criação e remoção de relacionamentos desta classe com planos de informação.

## Representação Espacial

A classe Representação Espacial apresenta a estrutura responsável pela distribuição espacial das informações geo-referenciadas. Uma das principais características desta classe é a forma como o espaço é visualizado. Para tal, são utilizados exclusivamente os elementos contínuos e discretos, descritos em [Goo92]. Restrições são impostas no sentido de garantir a unicidade do tipo do elemento espacial.

Um **Elemento Contínuo** corresponde à generalização dos elementos que preenchem todo o espaço, seja através de células, seja através de tesselações. Estes elementos são caracterizados, principalmente, pela conectividade que têm entre si, preenchendo todos os pontos de espaço em que estão envolvidos. Os conceitos de célula e tesselações são descritos detalhadamente em [Peu84][FM91][SE90].

Uma **Célula** representa a menor unidade de informação da parte que representa os elementos contínuos do modelo.

Uma **Tesselação**, por sua vez, corresponde à visualização do agrupamento de elementos mínimos de informação contínua que correspondem às células. As tesselações têm o objetivo de categorizar grupos de informação dentro de uma mesma propriedade. A estrutura de tesselações permite duas situações distintas:

✓ a tesselação é composta apenas de células;

✓ a tesselação é auto-composta, ou seja, é formada de agrupamentos de outras tesselações.

Um **Elemento Discreto** corresponde aos objetos espaciais cuja estrutura está baseada em pontos, linhas e polígonos.

As classes cujos objetos são representados por pontos, linhas e polígonos acham-se descritas em [Tim94].

O relacionamento dos elementos contínuos e elementos discretos com as informações descritivas e simbólicas a eles associadas é obtido através da classe **Elemento Espacial** que, como pode ser visualizada na hierarquia de classes, generaliza esses elementos.

Os métodos que compõem as classes relacionadas à localização espacial dos elementos (Representação Espacial e Elemento Espacial) abordam os seguintes aspectos:

- ✓conectividade e uniformidade do espaço geográfico;
- ✓inserção e remoção de relacionamentos com dados descritivos e simbólicos;
- ✓composição de elementos espaciais, geométricos, topológicos e de conjuntos.

Um **Elemento Espacial** tem a função similar à da classe Representação Espacial, só que em nível bem mais simplificado. Esta classe representa o elemento espacial mínimo ou agrupamento simplificado destes. A cada elemento espacial são associados uma ou mais informações elementares e símbolos.

### **Informações Espaciais Descritivas**

A classe Informações Espaciais Descritivas é a generalização de dois tipos de informação descritiva. Sua função é apenas estrutural, visto que as funções específicas são exercidas pelas classes Contexto Espacial e Representação Descritiva.

O **Contexto Espacial** visa definir através de argumentações descritivas, o contexto espacial no qual está inserida a informação. Esta classe possui diferentes níveis de implementação que podem ser observados pelos diferentes relacionamentos existentes com as classes: Modelo de Representação, Plano de Informação e Entidade Geográfica.

Os principais métodos desta classe são:

- ✓alterar o contexto descritivo;

- ✓ criar e remover o modelo de representação;
- ✓ criar e remover planos de informação;
- ✓ criar e remover entidades geográficas.

Já a **Representação Descritiva** aborda o outro lado dos aspectos descritivos. Nesta, a característica não é mais auxiliar à noção de geo-referenciamento da informação, mas descrever as informações particulares, intrínsecas, aos elementos espaciais. A classe é uma agrupamento de informações elementares. A representação constitui-se, de forma simplificada, de um conjunto de informações elementares que são as unidades básicas da informação descritiva dos diversos elementos espaciais representados. Uma mesma informação elementar pode estar associada a diversos elementos espaciais diferentes.

Os métodos definidos nesta classe são os seguintes:

- ✓ inserir e remover elementos descritivos do conjunto de informações elementares.

### **Representação Simbólica**

A classe **Representação Simbólica** integra o conjunto de símbolos normalmente associados a elementos espaciais em cartas geodésicas ou popularmente convencionados.

Esta classe é uma agrupamento de símbolos que representa a generalização de dois tipos de dados simbólicos: os textuais e os pictóricos.

Seus métodos são os seguintes:

- ✓ inserir e remover os símbolos;
- ✓ dimensionar os símbolos.

A validação de um modelo de dados é uma etapa fundamental para a verificação de sua adequação a um determinado tipo de aplicação do mundo real. Um modelo, para ser útil, deve ser capaz de representar a realidade da forma mais fiel possível.

O próximo capítulo apresenta a validação do MGeo+, a partir do estudo de um caso real.

# Capítulo 3

## Validação do Modelo MGeo+

Este capítulo apresenta inicialmente um estudo de caso. O processo de validação do Modelo Conceitual para Dados Geográficos - MGeo+ tomou como base uma aplicação real, com o propósito de validar os conceitos necessários ao processo de modelagem de dados e proporcionar um exemplo prático aos profissionais de outras áreas que não a de informática. A descrição deste estudo de caso compõe a primeira parte deste capítulo.

A estratégia de validação consistiu na instanciação<sup>1</sup> do MGeo+, mediante a utilização de dados coletados do estudo de caso sendo descrita na segunda parte deste capítulo.

### 3.1 Apresentação do Estudo de Caso

O estudo de caso eleito para a validação do MGeo+ baseou-se no **Estudo Integrado dos Recursos Naturais Renováveis em parte da Bacia do Rio Seridó - Setor Leste, a Partir de Técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento para a Identificação da Aptidão Agrícola das Terras**, dissertação sendo desenvolvida por Fernandes [Fer96].

---

<sup>1</sup> Instanciação, neste sentido significa atribuir um valor a um determinado elemento, exemplificar.

Optou-se por esta aplicação na área de recursos naturais devido à grande disponibilidade de dados existentes no Laboratório de Meteorologia, Recursos Hídricos e Sensoriamento Remoto da Paraíba - LMRS/PB<sup>2</sup>. O objetivo foi verificar se o modelo MGeo+ incorporava todas as condições impostas pelos requisitos da aplicação.

### 3.1.1 Características Gerais da Área de Estudo Considerada

O Estudo Integrado está sendo desenvolvido em uma região onde uma das características a que está fortemente submetida, diz respeito a escassez dos recursos hídricos superficiais em decorrência de um regime climático adverso, com uma grande variabilidade de ocorrência de chuvas, alto índice de insolação na maior parte do ano, e conseqüentemente, elevadas taxas de evaporação aliadas a uma constituição geológica e pedológica desfavorável [Fer96].

A região selecionada tem aproximadamente 981,6 km<sup>2</sup> e acha-se localizada no norte da microrregião homogênea do Seridó Paraibano, englobando os municípios de Frei Martinho, Nova Palmeira e Picuí. Seus limites estão compreendidos entre os meridianos 36°31'54" e 36°14'05" a oeste de Greenwich e os paralelos 6° 16' 52,5" e 6° 43' 29" de latitude sul. Está situada em parte da Bacia do Rio Seridó- setor leste [Fer96]. Conforme ilustrado na Figura 3.1.

---

<sup>2</sup> Um dos principais objetivos do LMRS/PB é a implantação na Paraíba de um sistema de informações gerenciais de tempo, clima, recursos hídricos e naturais e meio ambiente. Dentre as atividades desenvolvidas pelo LMRS/PB destaca-se o Monitoramento de Recursos Naturais e Meio Ambiente.

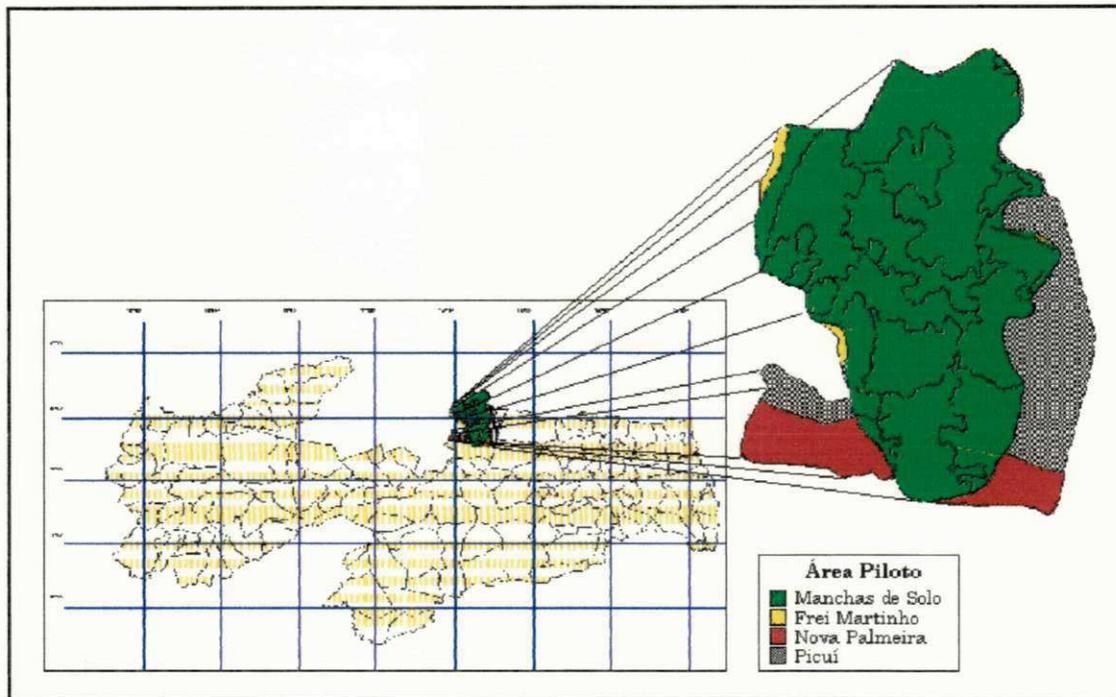


Figura 3.1 - Localização da Área de Estudo

Essa área situa-se no Planalto da Borborema, sendo constituída por duas formas de dissecção distintas: formas aguçadas e formas convexas, ambas com altitudes superiores a 250m e inferiores ou igual a 750m.

Seu tipo climático predominante, de acordo com a classificação de GAUSSEN é 2b, ou seja, subdesértico quente de caráter tropical-equatorial. A temperatura média anual é 26°C, com uma evapotranspiração média anual aproximada de 1400mm, e uma deficiência hidrológica média anual de 900mm [FIP80].

A vegetação predominante é a caatinga hiperxerófila arbustiva aberta. É uma caatinga aberta com arbustos esparsos ou formando moitas, com predominância de pereiro, caatinga e pinhão, intercalados por substrato graminoso ralo denominado por capim panasco.

Em termos de recursos hídricos superficiais, situa-se na Bacia do Rio Seridó, compreendendo a sub-bacia do rio Picuí e riacho Quinturaré. Além do rio Seridó, que se apresenta como principal curso d'água, os rios Sabugi,

Riacho do Saco e o rio Picuí formam ampla rede fluvial da bacia [Fer96]. Na sub-bacia não existem áreas irrigáveis, motivo pelo qual as únicas demandas a serem atendidas são para abastecimento humano e animal. Os principais açudes públicos que abastecem a região são Caraibeiras, Torrões e Várzea Grande.

As manchas de solos observadas na região são resultantes da associação dos seguintes tipos de solos predominantes:

- ✓ Latosol Vermelho Amarelo Eutróficos;
- ✓ Litólicos Eutróficos;
- ✓ Aluviais Eutróficos;
- ✓ Regossols Eutróficos.

A base econômica desta região é a agricultura fundamentada no plantio em sequeiro das culturas de milho, feijão, algodão e sisal em quase a totalidade da área e, em menor proporção, o cultivo de fruteiras como: cajueiro, coqueiro e mangueira.

Atualmente, os desequilíbrios provocados pelo modelo de agricultura predominante e a crescente onda de exigências de medidas de proteção ao meio ambiente e de melhoria da qualidade dos alimentos, constituem prioridades nas políticas de uso e ocupação da terra.

Entretanto, tanto para o aumento da produção sem degradação ambiental quanto para a busca de alternativas de uso da terra que atendam às demandas da sociedade e/ou que estejam em consonância com as recentes regulamentações ecológicas, são necessárias informações de base sobre as terras que possam conduzir a uma avaliação de suas possibilidades de uso.

### 3.1.2 Fases do Projeto para Obtenção da Aptidão Agrícola

Este projeto encontra-se dividido em três etapas distintas:

- ❶ Mapeamento do solo, a partir da análise de imagens de satélite;
- ❷ Trabalho de campo, objetivando a coleta de dados para a caracterização das unidades de mapeamento dos solos e para a checagem do Mapa Preliminar de Solos e Uso da Terra;
- ❸ Integração dos dados compilados para a confecção do Mapa de Aptidão Agrícola das Terras da área de estudo.

Na seção seguinte, descreve-se sucintamente o desenvolvimento de cada uma dessas etapas.

#### 3.1.2.1 Mapeamento dos Solos a Partir de Imagens de Satélite

A disponibilidade de informações confiáveis sobre os tipos de culturas instaladas, áreas plantadas e distribuição espacial dentro de uma determinada região, são fundamentais na tomada de decisões [SAO93]. Tais informações podem ser obtidas através de métodos convencionais, envolvendo questionários aplicados diretamente aos moradores/produtores ou através da utilização de dados de Sensoriamento Remoto<sup>3</sup>.

Os métodos convencionais de mapeamento de solos são normalmente muito demorados e onerosos e, em função da subjetividade decorrente do tipo de avaliação por questionários, podem levar a erros estatísticos.

---

<sup>3</sup>Pode-se definir Sensoriamento Remoto como sendo o conjunto de técnicas que permite a aquisição de informações sobre a natureza dos objetos sem contato físico com os mesmos [Nov89]. As informações

Neste contexto, a utilização de dados orbitais de sensoriamento remoto no levantamento e na quantificação da ocupação agrícola de uma determinada região, tem-se tornado freqüente no Brasil, nos últimos anos.

### **a) Construção da Base Cartográfica**

Segundo Sano, Assad e Orioli [SAO93], a primeira e a mais extensa etapa de todo o processo de mapeamento é a construção de uma base cartográfica da região de interesse. Esta etapa envolve a definição dos limites da área de estudo e a extração da rede de drenagem e do sistema viário, a partir de cartas planimétricas. Os passos seguintes do monitoramento correspondem apenas ao levantamento e à atualização dos dados obtidos preferencialmente de imagens de satélite.

No contexto do estudo de caso, as cartas topográficas da SUDENE<sup>4</sup>, escala 1:100.000, foram utilizadas como base cartográfica.

### **b) Identificação e Mapeamento**

O mapeamento pode ser feito através da interpretação de dados orbitais de Sensoriamento Remoto. Esta interpretação deve ser feita na base cartográfica construída, conforme foi discutido na seção anterior.

Para o mapeamento dos solos da região considerada no estudo de caso foram utilizadas as imagens multiespectrais obtidas pelo Mapeador Temático - TM (*Thematic Mapper*) do satélite LANDSAT - 5, nas bandas 3 (visível-vermelho) e 4 (infravermelho próximo), na escala 1:100.000, referentes à órbita 215, ponto 064 e 065, quadrantes D e B, com data de passagem em 14 de março de 1990 [Fer96]. Maiores esclarecimentos sobre este sensor podem ser encontrados em [LK87][ASP83].

---

são obtidas utilizando-se a radiação eletromagnética, gerada por fontes naturais como o Sol e a Terra, ou por fontes artificiais, como por exemplo, o radar [Ros90].

<sup>4</sup> Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste

Para a análise do uso das terras e da cobertura vegetal foram utilizadas as imagens na banda 3 do sensor TM (que capta energia na faixa de comprimentos de onda do vermelho compreendidos entre 0,63 e 0,69 $\mu$ m) [Fer96], que possibilita a separação das áreas com vegetação daquelas sem vegetação, enfatiza o contraste entre tipos diferentes de vegetação e permite a identificação de rodovias e áreas urbanas [Men81][TSL+79].

A banda 4 foi usada na reconstituição da rede hidrográfica e discriminação dos corpos de água superficiais. Nesta faixa do espectro eletromagnético ocorre um bom contraste entre solo e água, e as faixas aluviais apresentam grande reflectância, favorecendo a visualização dos canais de drenagem. Esta também é usada no delineamento das unidades fotomórficas [Fer96]. Nesta banda, a vegetação verde, densa e uniforme, caracteriza-se pela alta reflectância, mostrando-se de forma bastante clara [USGS84].

De posse das imagens, realizou-se a interpretação visual dos alvos de interesse, que consiste na identificação e delimitação dos contornos dos referidos alvos sobre a base cartográfica, previamente transferida para uma folha de papel vegetal. Nesta etapa, foram gerados os *overlays* referentes à drenagem, curvas de nível, geologia, tipos de solos e uso da terra. Após a fotointerpretação da imagem, segue-se a etapa de trabalho de campo, com o objetivo de verificar a correspondência dos padrões espectrais delimitados nas imagens com a realidade terrestre. Esta etapa é fundamental e imprescindível para a validação do processo foto-interpretativo, de um modo geral e, especificamente neste estudo, para a caracterização das unidades de mapeamento de solos e checagem do Mapa Preliminar de Solos e Usos da Terra.

### **c) Armazenamento do Mapeamento**

Terminada a fase de mapeamento, os dados obtidos devem ser armazenados no sistema através da criação de um plano de informação referente a este tipo de informação. No estudo de caso, iniciado com base em metodologias convencionais, esta fase só será implementada posteriormente.

A digitalização desta informação possibilita o cálculo de áreas ocupadas por cada tipo de solo identificado, possibilitando ainda, a atualização destes dados de forma bastante rápida.

#### **3.1.2.2 Trabalho ou Levantamento de Campo**

A superfície terrestre é bastante heterogênea, variando no que se refere às condições climáticas gerais (precipitação, temperatura, nebulosidade, luminosidade, ventos, etc.); às irregularidades topográficas (montanhas, vales, planaltos, rios, escarpas, dunas, etc.); à cobertura vegetal e ao uso antrópico [RR83].

Dentre as diversas feições presentes na superfície da Terra, encontra-se uma cuja análise é bastante complexa, em virtude do número de características envolvidas: o solo.

Steele [Ste67] observa que a análise de um solo consiste da previsão do seu comportamento, que é estabelecida a partir da reunião, reorganização e apresentação de informações disponíveis previamente mapeadas e classificadas, para aplicações práticas. Em geral, estas aplicações destinam-se à solução de problemas e referem-se principalmente a questões de uso, manejo e conservação dos solos. As análises podem ser realizadas no contexto de atividades agrícolas, classificando-se a terra de acordo com sua aptidão para diversas culturas, sob diferentes condições de manejo e viabilidade de melhoramento, através de novas tecnologias. Outros

propósitos de análise estão voltados para a geotécnica, a engenharia sanitária, a engenharia rodoviária e ferroviária, etc. [Ram94].

Os solos ocupam áreas e não meramente pontos, devendo ser estudados como entidades. Tais estudos só são plenamente conduzidos “*in situ*”, i.e., através das verificações de campo, onde os solos podem ser integralmente observados.

O levantamento de solos no campo constitui o método mais efetivo para este fim, consistindo de:

- ✓ Estudo, identificação (classificação) e mapeamento dos solos no campo;

- ✓ Compilação, análise e interpretação dos dados referentes às suas propriedades e suas interrelações ;

- ✓ Preparação e publicação dos resultados [Lar83].

Conforme Larach [Lar83], os objetivos gerais dos levantamentos de solos podem ser resumidos em:

- ✓ Determinação das características do solo;

- ✓ Classificação dos solos em unidades definidas de um sistema uniforme de classificação, de acordo com a nomenclatura padronizada;

- ✓ Estabelecimento e locação de seus limites, mostrando em um mapa sua distribuição e arranjo (representação gráfica);

- ✓ Previsão e determinação de sua adaptabilidade a diferentes aplicações.

O trabalho de levantamento de solos é iniciado com uma visita à área previamente escolhida. Nesta fase, observa-se a região como um todo,

identificando as características que constituem o ambiente, tais como clima, vegetação, relevo, recursos hídricos disponíveis e uso atual, dentre outras.

A fase seguinte é a análise do solo propriamente dita, feita a partir da observação do seu perfil.

No trabalho de campo, observando-se um corte vertical feito no solo, em condições naturais, verifica-se que ele é constituído por um conjunto de camadas superpostas. Estas camadas, aproximadamente paralelas à superfície, com graus variáveis de diferenciação, se aprofundando até onde se faz presente a ação do intemperismo, tendo como limite inferior a rocha inalterada, são denominadas horizontes. Ao conjunto de horizontes dá-se o nome de perfil [Bar83]. O perfil de um solo é portanto, a resultante de todos os fatores que colaboram para a sua formação, dentre os quais o material de origem, o clima, organismos, o relevo e o tempo. Em função desses fatores, pode ocorrer uma infinita diversidade de perfis.

O perfil de um solo pode ser estudado em três etapas distintas: descrição geral, morfologia do solo e análise físico-química.

A **descrição geral** do perfil fornece um conjunto de características obtidas através do exame do solo em seu meio e condições normais. São elas: textura, fase, relevo, substrato, situação da declividade, formação geológica, litologia, material originário, pedregosidade, rochosidade, erosão, vegetação natural, o tipo de uso do solo e localização.

Conforme Baruqui [Bar83], as **descrições morfológicas** dos perfis de solos são feitas através da avaliação pormenorizada das características observáveis "*in situ*". Seu registro é feito para cada um dos horizontes do perfil, de acordo com a seguinte sequência: símbolo do horizonte, profundidade em centímetros, cor, textura, estrutura, consistência,

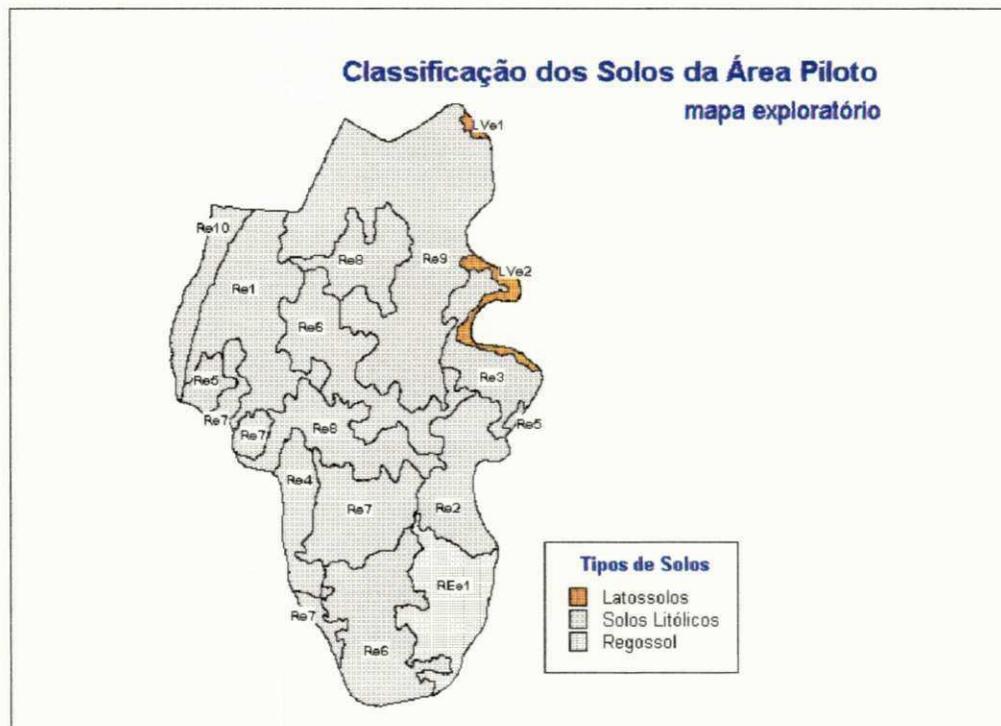
transição para o horizonte subjacente, porosidade, cerosidade, cimentação, nódulos de concreção e eflorência.

As **análises físicas, químicas** e também **mineralógicas** constituem o complemento das descrições dos perfis e tem por objetivo orientar os trabalhos de classificação e gênese do solo, assim como fornecer subsídios indispensáveis para o seu maior entendimento, do ponto de vista de utilização racional.

Neste estudo de caso, as análises físico-químicas foram feitas no Laboratório de Solos e Água do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal da Paraíba - Campus II.

Quando se conclui um levantamento de solos, seja por técnicas tradicionais ou utilizando técnicas automatizadas, o mapa final de solos é compilado e um relatório do levantamento de solos é redigido.

A Figura 3.2 ilustra o mapa temático de classificação dos solos da área de estudo.



**Figura 3.2 - Mapa Temático de Classificação dos Solos da Área Piloto**

### **Solos com Horizonte B Latossólico (não hidromórfico)**

**Lve1:** LATOSOL VERMELHO AMARELO EUTRÓFICO textura argilosa fase caatinga hiperxerófila relevo plano:

**Lve2:** associação de: LATOSOLO VERMELHO AMARELO EUTRÓFICO textura argilosa fase caatinga hiperxerófila relevo plano e suave ondulado e solos LITÓLICOS EUTRÓFICOS com A fraco textura média relevo suave ondulado e ondulado substrato gnaisse e granito:

### **Solos Pouco Desenvolvidos (não hidromórficos)**

**Ree1:** associação de REGOSOL EUTRÓFICO fase caatinga hiperxerófila relevo plano e suave ondulado e solos LITÓLICOS EUTRÓFICOS com A fraco textura arenosa e/ou média fase pedregosa e rochosa caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado e ondulado substrato gnaisse e granito e AFLORAMENTO DE ROCHA:

**Re1:** associação de: solos LITÓLICOS EUTRÓFICOS com A fraco textura média fase pedregosa e rochosa caatinga hiperxerófila relevo ondulado e forte ondulado substrato biotita-xisto e solos ALUVIAIS EUTRÓFICOS textura indiscriminada relevo plano e AFLORAMENTO DE ROCHA:

**Re2:** associação de: solos LITÓLOCOS EUTRÓFICOS com A fraco textura média fase pedregosa e rochosa caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado e ondulado substrato granito e gnaisse e REGOSOL EUTRÓFICO fase caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado e AFLORAMENTO DE ROCHA:

**Re3:** solos LITÓLOCOS EUTRÓFICOS com A moderado textura argilosa fase pedregosa caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado e ondulado substrato granito e gnaisse;

**Re4:** solos LITÓLOCOS EUTRÓFICOS com A fraco textura média fase pedregosa e rochosa caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado e ondulado substrato granito e xisto e AFLORAMENTO DE ROCHA:

**Re5:** solos LITÓLOCOS EUTRÓFICOS com A fraco textura média fase pedregosa e rochosa caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado e ondulado substrato muscovita-quartzitos e AFLORAMENTO DE ROCHA:

**Re6:** solos LITÓLOCOS EUTRÓFICOS com A fraco textura média fase pedregosa e rochosa caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado e ondulado substrato granito e gnaisse e AFLORAMENTO DE ROCHA:

**Re7:** solos LITÓLOCOS EUTRÓFICOS com A fraco textura média fase pedregosa e rochosa caatinga hiperxerófila relevo suave ondulado e ondulado substrato biotita-xisto e AFLORAMENTO DE ROCHA:

**Re8:** solos LITÓLOCOS EUTRÓFICOS com A fraco textura média fase pedregosa e rochosa caatinga hiperxerófila relevo ondulado e forte ondulado substrato biotita-xisto e AFLORAMENTO DE ROCHA:

**Re9:** solos LITÓLOCOS EUTRÓFICOS com A fraco textura média fase pedregosa e rochosa caatinga hiperxerófila relevo forte ondulado e montanhoso substrato biotita-xisto e AFLORAMENTO DE ROCHA:

**Re10:** solos LITÓLOCOS EUTRÓFICOS com A fraco textura arenosa fase pedregosa e rochosa caatinga hiperxerófila relevo forte ondulado e montanhoso substrato quartzitos e AFLORAMENTO DE ROCHA:

O mapa de solos constitui a base para a seleção de problemas a serem estudados e mostra as áreas para a seleção das amostras necessárias a estudos específicos, como a origem de um determinado solo. O mapa é utilizado também para o estudo de outras ciências básicas como: fitogeografia, geologia e arqueologia, dentre outras. O mapa de solos é, naturalmente, a representação mais detalhada do ambiente.

O mapa é composto graficamente de manchas - as unidades de mapeamento. Cada unidade de mapeamento é, em geral, representada por um símbolo, por exemplo, LE<sub>d3</sub>, onde lê-se: *LATOSOLO VERMELHO-ESCURO DISTRÓFICO A moderado textura argilosa fase cerrado arbóreo arbustivo relevo suave ondulado*. Na realidade, nas manchas representadas por LE<sub>d3</sub>, não existe apenas o solo cujo nome foi escrito por extenso, mas existem outros solos e também "não solos". Podem ser encontradas pequenas faixas de solos aluviais e hidromórficos ao longo dos rios, assim como as massas

d'água, construções e mesmo afloramentos de rocha. Uma amostragem ao acaso deve indicar que, em geral, em mais de 80% dos casos existe o latossolo vermelho-escuro [RR83].

Para efeito de melhor compreensão, pode-se interpretar o nome da classe principal como a seguir: o nome do solo propriamente dito (LATOSOL VERMELHO-ESCURO DISTRÓFICO), o tipo do horizonte (A), vegetação natural (textura argilosa cerrado arbóreo arbusivo) e o relevo dominante (relevo suave ondulado). Descreveremos a seguir cada uma dessas partes.

**Fertilidade.** Comumente referida no nome do solo, está relacionada à riqueza ou pobreza em nutrientes presentes naquele solo. As expressões usadas são: distrófico, eutrófico, álico, epieutrófico, epiálico e endoálico, dentre outras. Esta classificação é feita com base no percentual de acidez, alumínio, e bases (cálcio + magnésio + potássio + sódio) encontrado na amostra de solo [RR83].

A classificação do solo, conforme sua fertilidade, é feita como segue:

✓ Os solos eutróficos são aqueles cujas bases com cálcio, magnésio, potássio e sódio, ocupam mais de 50% da capacidade de troca;

✓ Solos distróficos são aqueles onde mais da metade de sua capacidade de troca é saturada por alumínio e hidrogênio. Isto é, as bases constituem menos de 50% da soma de cálcio, magnésio, potássio, sódio, alumínio e hidrogênio juntos. O alumínio, por outro lado, ocupa menos de 50% da capacidade de troca;

✓ O solo é álico, quando mais de 50% de sua capacidade de troca é saturada por alumínio;

Os termos epieutróficos, epiálicos, endoálicos etc. referem-se simplesmente à variação em profundidade dos solos. A importância ecológica destas variações, só pode ser melhor apreciada se houver informações sobre a sensibilidade das espécies vegetais e as condições pedoclimáticas [RR83].

**Horizontes** acham-se classificados em horizontes diagnósticos de superfície e horizontes diagnósticos de subsuperfície [Pra93].

Os horizontes diagnósticos de superfície distinguem-se, principalmente, com base nos critérios de coloração, espessura, saturação por bases, carbono orgânico,  $P_2O_5$  total, além dos índices de formação antrópica. São eles: A moderado, A fraco, A chernozênico, A proeminente, A húmico, A antrópico, e O turfoso.

Os horizontes diagnósticos de subsuperfície são: B latossólico, B textural, B nórdico, B incipiente, B podzol, além dos horizontes cálcicos, petrocálcicos, plíntico, com fragipan e com duripan.

Os detalhes sobre os critérios de classificação dos horizontes diagnósticos de subsuperfície, podem ser encontrados em Prado [Pra93].

**Vegetação Natural** integrada à descrição do nome do solo, dá idéia sobre a vegetação clímax, isto é, se a área for deixada intocada, a vegetação se modificará com o tempo, tendendo a se aproximar da vegetação original [RR83].

As várias formas de vegetação natural indicam ambientes peculiares. Formas mais gerais, como florestas, cerrado, campos, caatinga, vegetação de restinga e mesmo as mais localizadas, como as formações relacionadas a praias e dunas, solos salinos, manguezais e afloramentos de rochas (vegetação rupestre) podem ser especificadas. No caso da floresta, por exemplo, o fato de ser equatorial tropical ou subtropical dá indicações sobre

o regime térmico. O termo floresta equatorial está associado, em geral, a temperaturas mais elevadas e menor variação térmica, enquanto que o termo subtropical está relacionado a ambientes de temperaturas mais baixas, e maior variação térmica durante o ano.

**Relevo** implica a elevação relativa da superfície da Terra considerada coletivamente [Ste67]. Para a grande maioria dos solos, existe uma estreita relação do seu tipo com o tipo de relevo .

O registro sobre o relevo é muito importante, se analisado em conjunto com a vegetação natural. A integração dessas feições já define muitas informações. O fato de ser um relevo plano com cerrado, por exemplo, quase sempre indica que o solo é muito profundo. Ele só seria raso e plano quando a deficiência hídrica fosse demasiado acentuada. Solo raso com relevo plano pressupõe que alguma coisa está impedindo o aprofundamento do perfil, seja a deficiência de água ou a elevação do lençol freático que está retardando a pedogênese [RR83].

Além da interpretação fornecida pela associação do relevo com a vegetação natural, o relevo *per si* oferece as seguintes informações, que se acham descritas detalhadamente em [RR83]:

- ✓ Uso de implementos agrícolas;
- ✓ Erosão;
- ✓ Hidrologia da água;
- ✓ Heterogeneidade de ambiente.

Segundo Lemos e Santos [LS82], existem seis diferentes padrões de relevo que são classificados de acordo com sua declividade:

✓ 0 a 2%: Plano - superfície de topografia horizontal, onde os desnivelamentos são muito pequenos;

✓ 2 a 6%: Suave Ondulado- superfície de topografia pouco movimentada, constituída conjunto de colinas e/ou outeiros (elevações de altitudes relativas da ordem de 50 e 50 a 100m respectivamente), apresentado declives suaves;

✓ 6 a 13%: Ondulado- superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas e/ou outeiros, apresentando declives acentuados;

✓ 13 a 25%: Forte Ondulado- superfície de topografia movimentada, formada por outeiros com declives fortes;

✓ 25 a 55%: Montanhoso - superfície de topografia vigorosa com predominância de formas acentuadas, usualmente constituída por morros, montanhas, maciços montanhosos e alinhamentos montanhosos, apresentando desnivelamentos relativamente grandes e declives fortes e muito fortes;

✓ superior a 55%: Escarpado - região ou área com predomínio de formas abruptas, compreendendo escarpamentos tais como: aparado, itaimbé, frente de cuestras, falésia, flanco de serras alcantiladas, vertente de declives muito fortes de vales encaixados.

### 3.1.2.3 Identificação da Aptidão Agrícola das Terras

A etapa seguinte ao levantamento de solos é a correção dos *overlays* preliminares e a geração de novos *overlays* relacionados com o processo de mapeamento da aptidão agrícola. Tais *overlays* são gerados a partir do mapa de solos e do relatório de levantamento de solos, dos quais se extraem os

principais fatores limitantes e os seus respectivos graus de limitação. Cada fator limitante corresponderá a um *overlay* gerado.

No estudo de caso, gerou-se os seguintes *overlays* a partir do mapa de solos de mapeamento da aptidão agrícola: deficiência de fertilidade, deficiência de água e deficiência de oxigênio ou excesso d'água.

Uma segunda parte desta fase se constituirá da geração de mapas intermediários. Estes mapas são obtidos a partir do "cruzamento" do *overlay* de declividade e um conjunto de variáveis extraídas do relatório de levantamento de solos (relação textural, transição abrupta, relação de erosão, permeabilidade interna, laçante, percentagem de declive, espessura do *sólum* e encharcamento do terreno) [FAE92]. Em se tratando do estudo de caso, os mapas a serem gerados são: suscetibilidade a erosão e impedimentos a mecanização.

A obtenção da aptidão agrícola propriamente dita, objetivo do estudo de caso, consiste basicamente na manipulação dos diversos *overlays* disponíveis, através da construção de um conjunto de regras para "cruzar" os *overlays* mediante operações lógicas entre as classes de interesse [FAE92].

As etapas descritas nesta seção podem ser executadas adotando tanto metodologias convencionais quanto metodologias automatizadas. No caso de se optar pela metodologia automatizada, cada *overlay* passaria a ser um plano de informação (camada temática ou *layer*). Os planos de informação intermediários, assim como o de aptidão agrícola, seriam gerados automaticamente por um Sistema de Informação Geográfica disponível, a partir da manipulação dos diversos planos gerados e do "cruzamento" das informações contidas no conjunto de regras pré-definidas.

Abordagem Convencional		Instanciação de Classes do MGeo-		
Etapas	Procedimentos	Classe	Atributos	
Mapeamento dos Solos	Construção da Base Cartográfica	Determinação da área de estudo	Modelo de Representação	- rótulo - cartografia (projeção, MbrMod, paralelo, meridiano, declividade magnética, convergência meridiana) - planos de informação - contexto espacial
		Extração da rede de drenagem	Plano de Informação	- rótulo - cartografia (descrição, fonte, data da coleta, escala, MbrMod) - entidade geográfica - contexto espacial
		Extração do Sistema Viário	Plano de Informação	- rótulo - cartografia (descrição, fonte, data da coleta, escala, MbrMod) - entidade geográfica - contexto espacial
	Identificação e mapeamento	Geração de Overlays: -drenagem; -curvas de nível; -geologia; -tipos de solo; -uso da terra.	Conj. de Planos de Informação	- rótulo - cartografia (descrição, fonte, data da coleta, escala, MbrMod) - entidade geográfica - contexto espacial
	Armazenamento de mapeamento	Determinação das Características do solo	Plano de Informação	- rótulo - cartografia (descrição, fonte, data da coleta, escala, MbrMod) - entidade geográfica - contexto espacial
Levantamento ou Trabalho de Campo		Classificação dos solos em unidades de um sistema de classificação	Entidade Geográfica	- rótulo - composição de entidades - contexto espacial (identificador, informação descritiva)
		Estabelecer e locar seus limites, mostrando em um mapa sua distribuição e arranjo	Plano de Informação	- rótulo - cartografia (descrição, fonte, data da coleta, escala, MbrMod) - entidade geográfica - contexto espacial
			Representação Espacial	- rótulo - elemento discreto/contínuos - repr. descritiva - repr. simbólica
		Prover e determinar adaptabilidade a diferentes aplicações	* consulta ao MGeo- a partir de funções de execução de operações lógicas com diferentes níveis de informação da base de dados	
		Descrição geral do perfil do solo	Propriedades	- rótulo - repr. descritiva - repr. simbólica - repr. espacial - método de representação - entidade geográfica - plano de informação
		Descrição morfológica do perfil do solo	Propriedades	- rótulo - repr. descritiva - repr. simbólica - repr. espacial - método de representação - entidade geográfica - plano de informação
		Análise física do perfil	Propriedades	- rótulo - repr. descritiva - repr. simbólica - repr. espacial - método de representação - entidade geográfica - plano de informação
			- rótulo	

	Análise química do perfil	Propriedades	- repr. descritiva - repr. simbólica - repr. espacial - método de representação - entidade geográfica - plano de informação
	Perfil do solo	Representação Descritiva	- identificador - informações elementares
	Mapa de solos	Modelo de Representação	- rótulo - cartografia (projeção, MbrMod, paralelo, meridiano, declividade magnética, convergência meridiana) - planos de informação - contexto espacial
		Representação Espacial	- rótulo - elemento discreto/contínuo - repr. descritiva - repr. simbólica
		Representação Descritiva	- identificador - informações elementares
	Relatório do levantamento dos solos	Representação Descritiva	- identificador - informações elementares
		Informações Elementares	- identificador - informação descritiva - elementos espaciais
Identificação da Aptidão Agrícola dos Solos	Geração de <i>overlays</i> preliminares de fertilidade, deficiência d'água, deficiência de oxigênio ou excesso d'água	Plano de Informação	- rótulo - cartografia (descrição, fonte, data da coleta, escala, MbrMod) - entidade geográfica - contexto espacial
	Geração de mapas intermediários: (susceptibilidade e erosão, impedimento a mecanização), declividade + relatório	Cruzamento de Plano de Informação + Informações Elementares	- identificador - informação descritiva - elementos espaciais
	mapa de aptidão agrícola	Cruzamento dos planos de Informação + confirmação de todas as informações	

\* poderá ser posteriormente obtido a partir de uma linguagem de consulta

Tabela 3.1 - Síntese do Estudo de Caso

Tomando como base a Tabela 3.1 descrita acima, será apresentada nos próximos parágrafos a instanciação das principais classes do MGeo+. Para o melhor entendimento deste modelo, a instanciação será descrita para cada etapa do projeto respectivamente.

## Etapa 1: Mapeamento dos Solos

### 1.1 Construção da Base Cartográfica

#### 1.1.2 Determinação da área de Estudo

**MGEO**

**Identificador:** Bacia do rio Seridó.

**Modelos de Representação:** Bacia do rio Seridó - setor leste

**MODELO DE REPRESENTAÇÃO:**

**Rótulo:** Bacia do rio Seridó - setor leste.

**Cartografia: Projeção:** Latitude/Longitude

**MbrMod:** (( 36° 31' 54", 6° 16' 52,5"), ( 36° 14' 05", 6° 43' 29"))

**Paralelo:** (6° 16' 52,5" , 6° 43' 29" )

**Meridiano:** ( 36° 31' 54", 36° 14' 05" )

**Declividade Magnética:** Sta. Cruz: 23° 14' 00"

Picuí: 22° 00' 9"

média: 22° 37' 00"

**Convergência Meridiana:** Sta. Cruz: 17' 59"

Picuí: 19' 25"

média: 18' 42"

**Planos de Informação:** Pedológico/drenagem, pedológico/vias de acesso

**Contexto Espacial: Identificador:** Bacia do rio Seridó - setor leste

**Informação Descritiva:** Região com aproximadamente 981,6 km<sup>2</sup> localizada no norte da microrregião homogênea do Seridó Paraibano, englobando total ou parcialmente os municípios de Frei Martinho, Nova Palmeira e Picuí. Seus limites estão compreendidos entre os meridianos 36°31'54" e 6°14'05" a oeste de Greenwich e os paralelos 6° 16' 52,5" e 6° 43' 29" de latitude sul e está situada na bacia do rio Seridó - setor leste [Fer96].

#### 1.1.3 Extração da Rede de Drenagem

**PLANO DE INFORMAÇÃO**

**Rótulo:** pedológico/drenagem

**Cartografia: Rótulo:** Drenagem bacia Rio Seridó

**Descrição:** extração da rede de drenagem da área piloto

**Fonte:** Serviço Cartográfico do Exército.

Santa Cruz SB.24-Z-BIII,

Picuí SB.24-Z-VI

**Data da Coleta:** 27/nov/95 a 01/dez/96

**Escala:** 1:100.000

**MbrMod:**(( 36° 13' 55,2", 6° 17' 13,2"), ( 36° 26' 45,6", 6° 30' 54"))

**Entidade Geográfica:** unidade pedológica

**Contexto Espacial: Identificador:** drenagem

**Informação Descritiva:** rede de drenagem existente no setor norte da área piloto, compreendendo uma pequena parte dos municípios de Frei Martinho e Picuí.

#### 1.1.4 Extração do Sistema Viário

##### PLANO DE INFORMAÇÃO

**Rótulo:** pedológico/sistema viário

**Cartografia: Rótulo:** sistema viário bacia Rio Seridó

**Descrição:** extração do sistema viário da área piloto

**Fonte:** Serviço Cartográfico do Exército.

Santa Cruz SB.24-Z-BIII,

Picuí SB.24-Z-VI

**Data da Coleta:** 27/nov/95 a 01/dez/96

**Escala:** 1:100.000

**MbrMod:**(( 36° 13' 55,2", 6° 17' 13,2"), ( 36° 26' 45,6", 6° 30' 54"))

**Entidade Geográfica:** unidade pedológica

**Contexto Espacial: Identificador:** sistema viário

**Informação Descritiva:** sistema viário existente no setor norte da área piloto, compreendendo uma pequena parte dos municípios de Frei Martinho e Picuí.

## 1.2 Armazenamento do Mapeamento

### 1.2.1 Determinação das Características dos Solos / Classificação dos Solos em unidades de um Sistema de Classificação

**ENTIDADE GEOGRÁFICA**

**Rótulo:** unidade pedológica - Litólico Eutrófico

**Composição de Entidades Geográficas:** tipos de solos adjacentes.

**Contexto Espacial:** **Identificador:** solos área piloto

**Informação Descritiva:** os solos litólicos eutróficos são na maioria dos casos rasos e de textura e fertilidade variáveis (distróficos e eutróficos). São encontrados em áreas de relevo ondulado ou mesmo escarpado, sob vegetação de floresta ou de cerrado. Encontram-se espacialmente distribuídos por quase a totalidade (cerca de 80%) da área piloto, não sendo observado apenas nas porções nordeste e sudeste da região.

**PROPRIEDADES**

**Rótulo:** propriedades do solo - salinidade

**Repr. Descr.:** representação descritiva da propriedade do solo

**Repr. Esp.:** representação espacial da propriedade

**Repr. Simb.:** representação simbólica da propriedade

**Método de Representação:** campos.

**Entidade Geográfica:** unidade pedológica - Litólico Eutrófico.

**Plano de Informação:** pedológico/tipo de solos, pedológico/drenagem, pedológico/vias de acesso

**REPRESENTAÇÃO ESPACIAL**

**Rótulo:** salinidade - repr. espacial

**Elementos Discretos:** polígonos que definem as manchas de solos existentes na área de estudo.

**Elementos Contínuos:** -

**Repr. Descr.:** representação descritiva da propriedade

**Repr. Simb.:** representação simbólica da propriedade

**ELEMENTO DISCRETO**

**MbrMod:** (( 36° 21' 32,4", 6° 21' 57,6"), ( 36° 26' 31,2", 6° 26' 49,2"))

**Tipo:** polígono

**Informação elementar:** Litólicos Eutróficos encontram-se espacialmente distribuídos por quase a totalidade (cerca de 80%) da área piloto, não sendo observado apenas nas porções nordeste e sudeste da região.

**Símbolo:** Re8

## REPRESENTAÇÃO DESCRITIVA

**Identificador:** RD

**Repr. Esp.:** Representação Espacial

**Informações Elementares:** A salinidade varia continuamente com o tempo, podendo ser afetada por fatores climatológicos propriamente ditos, a textura do solo, o manejo adequado da irrigação, a qualidade da água, o uso de fertilizantes e o tipo de cultura em desenvolvimento.

## REPRESENTAÇÃO SIMBÓLICA

**Identificador:** RS

**Repr. Esp.:** Representação Espacial

**Símbolo:** Área preenchida com cores que indiquem a faixa de salinidade do solo

## Etapa 2: Levantamento ou Trabalho de Campo

### 2.1 Relatório do Levantamento dos Solos

#### ELEMENTO ESPACIAL

**Identificador:** salinidade

**Informações Elementares:** a salinização dos solos, é típico de climas áridos onde a precipitação é bastante menor que a evapotranspiração potencial, durante uma grande parte do ano. Neste período há um acúmulo de sais solúveis (K, Na e Ng) e/ou sódio trocável no solo [Vie75].

**Símbolo.:** Símbolos

#### INFORMAÇÕES ELEMENTARES

**Identificador:** salinidade

**Informação Descritiva:** A salinidade varia continuamente com o tempo, podendo ser afetada por fatores climatológicos propriamente ditos, a textura do solo, o manejo adequado da irrigação, a qualidade da água, o uso de fertilizantes e o tipo de cultura em desenvolvimento. a salinização dos solos, é típico de climas áridos onde a precipitação é bastante menor que a evapotranspiração potencial, durante uma grande parte do ano. Neste período há um acúmulo de sais solúveis (K, Na e Ng) e/ou sódio trocável no solo [Vie75].

**Elementos Espaciais:** contínuos

## SÍMBOLOS

Identificador: indicador de salinidade - faixa de cores

Altura e Largura: -

Elementos Espaciais: -

### **Etapa 3: Identificação da Aptidão Agrícola dos Solos**

O conjunto de procedimentos envolvidos nesta etapa são inerentes ao sistema de informação geográfica ao qual o modelo está associado. O SIG deve permitir o cruzamento das informações contidas nos diversos planos de informações definidos e as demais informações geradas nas fases anteriores, de modo a possibilitar como resultado final a aptidão agrícola dos solos da área piloto.

### **3.3 Avaliação do MGeo+**

O principal objetivo deste capítulo foi validar o MGeo+ através de sua instanciação usando para tal os dados de uma aplicação de recursos naturais.

Durante o desenvolvimento do estudo de caso uma das conclusões tiradas foi a necessidade do refinamento do suporte proposto pelo modelo ao entendimento da realidade geográfica. Este refinamento poderia ocorrer a nível dos atributos das classes propostas no modelo, de modo a contemplar, por exemplo, a inclusão de variáveis físicas, tão necessárias na representação do mundo real. Esta necessidade pôde ser observada a medida que o modelo estava sendo instanciado e não foi encontrado um atributo que permitisse o armazenamento do valor da salinidade média de um determinado tipo de solo. Ficaria como sugestão o acréscimo do atributo valor a classe Células, onde este atributo seria o valor da variável física, caso existisse, da propriedade em questão. Desta forma, a classe Células passaria a ser representada da seguinte maneira:

## Célula

*coordenadas:* posição da célula no espaço

*tamanho:* tamanho da célula, ou seja, a região do espaço à qual as informações elementares e simbólicas, a ela associadas, são válidas

*tipo:* tipo da célula (quadrada, triangular, hexagonal)

*valor:* valor da variável física associada a célula

Outro aspecto observado durante o estudo de caso, foi a necessidade de uma descrição mais detalhada das classes do modelo, assim como de regras para guiar o projetista durante o processo de mapeamento, embora esta dificuldade tenha sido superada a partir da elaboração da Tabela 3.1 que determinou um roteiro de mapeamento para o estudo de caso e instanciação do MGeo+.

O objetivo de uniformizar a metodologia para a visualização do espaço geográfico, por sua vez, foi atingido a partir da inclusão de aspectos cartográficos tais como aqueles incluídos nas classes Modelo de Representação e Plano de Informação, sendo ainda complementados nas classes auxiliares: Cartografia do Plano e Cartografia do Modelo de Representação.

Por outro lado, conforme Pires e Medeiros [PM96], um modelo de dados geo-referenciado deve atender aos seguintes requisitos, a fim de se tornar um modelo versátil e robusto para análise de uma grande variedade de aplicações:

✓ permitir classificar, organizar e estruturar os elementos geo-referenciados do mundo real;

✓ ser baseado no conceito de orientação a objetos;

✓ ter capacidade de especificação e validação de regras;

- ✓ ser capaz de expressar o tempo;
- ✓ conseguir expressar relacionamentos espaciais.

Com base nos critérios acima, pode-se concluir que apesar do modelo ser adequado para o tipo de aplicação escolhido, não atende aos requisitos: validação de regras e capacidade de expressar o tempo. Assim, no capítulo seguinte, será feita uma análise sucinta dos principais modelos de dados espaço-temporais descritos na literatura com o objeto de avaliar a possibilidade da extensão do MGeo+ .

# Capítulo 4

## Modelagem Espaço-Temporal

Nos últimos anos, se tem visto um grande aumento na quantidade de dados espaço-temporais coletados diariamente. A coleta precisa destes dados a partir de SIG usando as unidades de recepção do Sistema Global de Posicionamento (GPS), tem-se tornado cada vez mais acessível economicamente, possibilitando a criação de um conjunto de dados mais precisos para os mais diversos fins.

A maioria das informações que são referenciadas no espaço, encontram-se também referenciadas com relação ao tempo existindo assim, a necessidade de executar análises espaço-temporais no conjunto de dados. O estudo da dinâmica espaço-temporal não é novo e nem exclusivo da geografia, mas ainda não foi incorporado aos SIG. Um SIG convencional usa dados espaciais apenas de duas dimensões e não manipula dados temporalmente referenciados.

Em qualquer processo geográfico sob observação, é necessário incluir a componente temporal no processamento dos dados, a fim de representar as mudanças e derivar relacionamentos de causa e efeito. Segundo Medeiros e Botelho [MB95], esforços feitos para incorporar a dimensão temporal no SIG têm servido para revelar que muitos problemas começam no nível

conceitual, se propagando em nível de estruturas de dados e de implementação.

Os SIG necessitam de um completo e rigoroso arcabouço para a modelagem de dados geográficos [Goo92], a fim de superar a dificuldade de manipular a complexidade geográfica, diferenças de escala, generalizações e grau de precisão. A principal deficiência do SIG convencional é a carência de esquemas de representação de dados quando se adota modelos voltados para o processamento espaço-temporal.

#### **4.1 Modelagem Temporal em SIG**

Para permitir o armazenamento e consultas a valores de atributos temporais, é necessária a extensão temporal do modelo de dados do SIG espacial e a extensão do sistema gerenciador de banco de dados.

Segundo Yuan [Yua?] um rigoroso modelo de dados deve suportar consultas espaço-temporais e métodos analíticos para serem desempenhados por um SIG temporal. Informações sobre construtores temporais, que serão manipulados em um SIG, devem ser representadas por objetos de dados definidos no modelo. Uma alternativa seria a utilização de uma extensão temporal do modelo de dados do SIG convencional. Como tal, seria possível prover funções para um completo armazenamento da base de dados, adição e correção, análise e apresentação do conjunto de dados, levando em consideração suas características temporais. Observe a Figura 4.1 adaptada de [Can95].

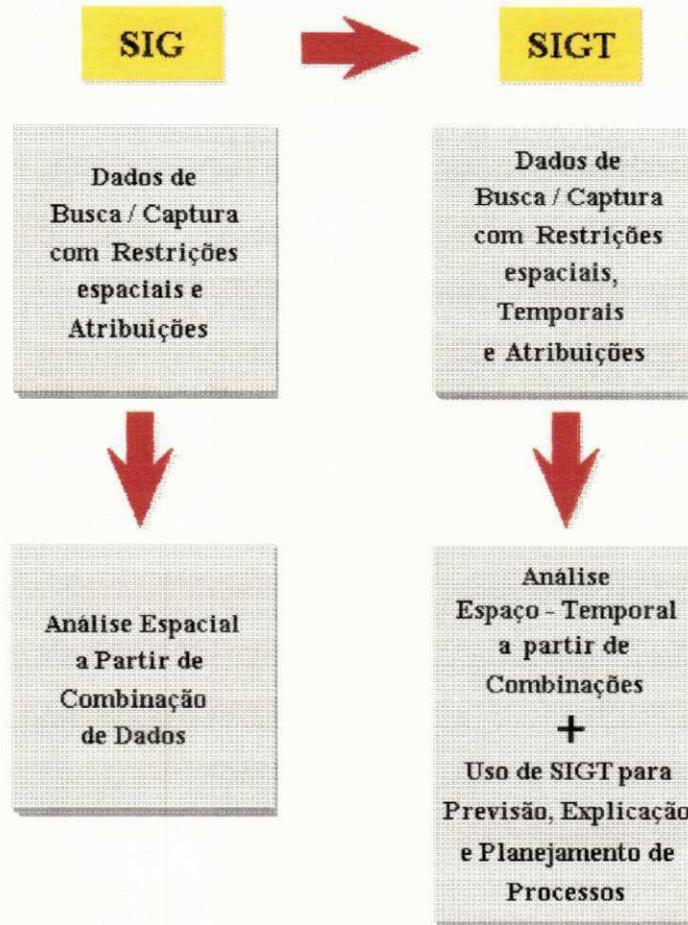


Figura 4.1 - Extensão Temporal do SIG Convencional

O estudo da modelagem de informações temporais em SIG iniciou-se em meados de 1980. A incorporação de componentes temporais foi inicialmente implementada com o modelo relacional e, atualmente, com modelos orientados a objetos. Muitos modelos de dados têm sido propostos e alguns implementados. Conforme Yuan [Yua?], o desenvolvimento de modelos de dados temporais em SIG, tem ocorrido em paralelo ao progresso da modelagem de dados temporais na ciência da computação.

## 4.2 Modelos Espaço-Temporais

Esta seção apresenta uma revisão bibliográfica de dez modelos de dados espaço-temporais, os quais serão sucintamente descritos a seguir.

### Modelo de Dados de Registros Instantâneos (*Snapshot Data Model*)

No Modelo de Dados de Registros Instantâneos (*Snapshot Data Model*) [Lan93], toda camada é uma coleção de unidades temporariamente homogêneas de um tema, conforme pode ser observado na Figura 4.2. Ele armazena o tempo como um atributo de cada camada geográfica completa e mostra o estado de uma distribuição geográfica em diferentes tempos, sem relações temporais explícitas entre as camadas [Yua?].

A maioria dos SIG não têm um registro para o objeto da camada no SGBD relacional, de modo que o atributo tempo da camada deve ser simplesmente armazenado como parte do nome da camada, por exemplo, solos94, solos95, solos96, etc. Uma versão completa de uma camada é criada para cada característica atualizada e cada versão é uma camada de dados independente, representando um registro instantâneo (*snapshot*) de informações geográficas naquele tempo particular.

O modelo de Dados de Registros Instantâneos pode ser implementado no formato de dados vetorial (baseado em objetos) e *raster* (baseado em localização). Detalhes dos dois tipos de implementação podem ser encontrados em Candy [Can95].

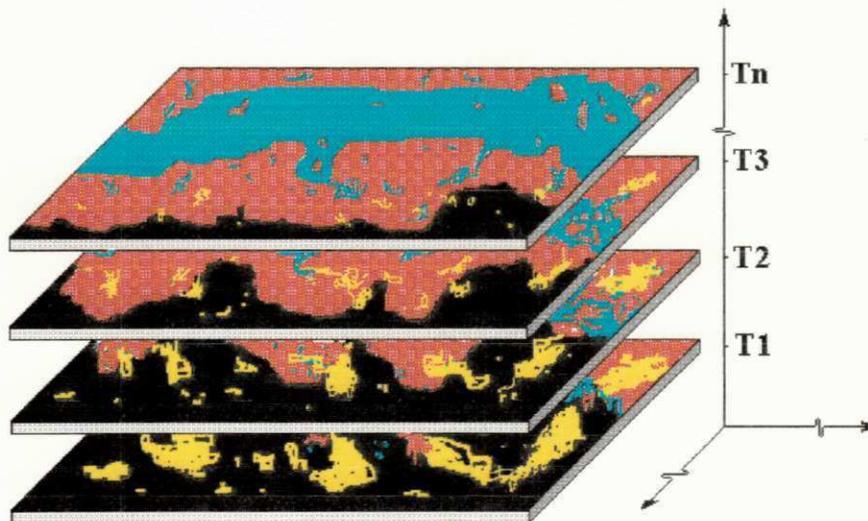


Figura 4.2 - Modelo de Dados de Registros Instantâneos

### Modelo de Conjuntos de Mapas Temporais (*Temporal Map Sets Model*)

O Modelo de Conjuntos de Mapas Temporais (*Temporal Map Sets-TMS*), descrito em [BGL+91] pode ser visto como uma extensão do Modelo de Dados de Registros Instantâneos (*snapshot model*). O projeto do TMS suporta modelar eventos geográficos em uma determinada área. Eventos são definidos como TMS binários, especificando se cada célula está dentro ou fora do evento. Essas abordagens do Modelo de Dados de Registros Instantâneos (*snapshots*) sempre resultam na duplicação de dados com propriedades inalteradas no tempo e no espaço. Sua principal desvantagem é a redundância de dados e o risco de inconsistência.

### Modelo de Atualização (*Update Model*)

O Modelo de Atualização (*Update Model*), também chamado **Modelo de Estado Inicial Incrementado** (*Base state with amendments*), requer uma versão completa de um conjunto de camadas [Can95]. Novas informações são armazenadas apenas onde ocorrem modificações e cada atualização é armazenada como uma lista de adendos, de supressões e modificações de características. Uma camada além do estado base pode ser criada imediatamente a partir do incremento do estado inicial com a lista de mudanças. Dessa forma, o volume de dados armazenados é reduzido consideravelmente em relação ao do Modelo de Dados de Registros Instantâneos.

Conforme Peuquet e Duan [PD95], o Modelo de Atualização pode ser implementado usando tanto o formato de dados vetoriais quanto o formato *raster*, sendo este último, mais eficiente para análises temporais do que aquele que manipula dados no formato vetorial. O modelo é baseado na localização, e assim como o Modelo de Dados de Registros Instantâneos

*Raster* faz comparações do conteúdo de algumas localizações ao longo do tempo.

### Modelo de Composições Espaço-Temporais (*Space-Time Composites Model-STC*)

O Modelo de Composições Espaço-Temporais (*Space-Time Composites Model-STC*) [LC88], representa o mundo como um conjunto de objetos espacialmente homogêneo e temporariamente uniforme no espaço bidimensional, descrevendo conceitualmente as mudanças de um objeto espacial através de um período de tempo, conforme observado na Figura 4.3.

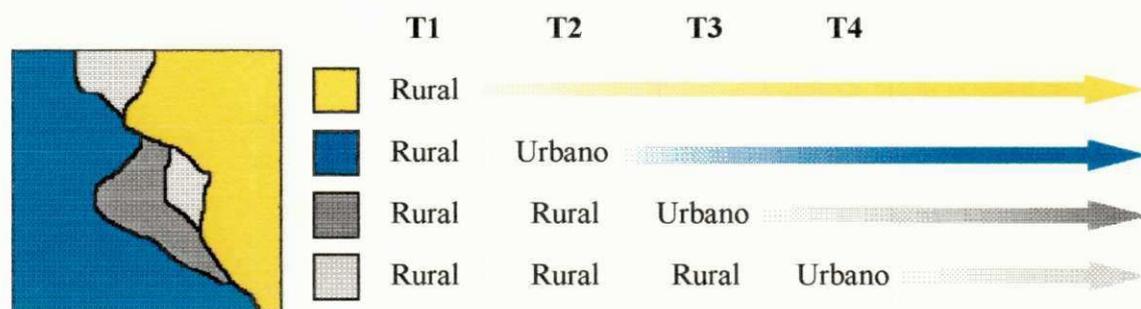


Figura 4.3 - Exemplo de um STC a Partir da Urbanização de uma Região

O modelo STC é capaz de registrar temporariamente a faixa mais extensa de atributos, espaço e tempo (i.e. alterações *in situ*), embora falhe na captura da temporalidade entre atributos ao longo do domínio espacial (i.e. movimentos ou deslocamentos específicos) [Can95]. Além disso, a atualização de um banco de dados de STC requer a reconstrução das unidades STC. Em consequência, relacionamentos geométricos e topológicos entre unidades STC mudam o banco de dados completo, ambos objetos espaciais e tabelas de atributos, precisa ser reorganizado.

Segundo Candy [Can95], um Modelo de Composições Espaço-Temporais *Raster* não pode ser implementado já que versões de feições múltiplas não podem existir em uma única camada *raster*. Cada versão da

característica terá de ser mantida em uma camada *raster* separada e isto efetivamente o torna um Modelo de Atualização *Raster*. Este modelo não tem sido desenvolvido.

Ainda conforme Candy [Can95], existem dois problemas na implementação do modelo. Primeiro, se todas as versões das características forem integradas em um mesmo plano de informação, as características se decomporão em unidades cada vez menores, como por exemplo se as fronteiras de um polígono representando uma área desmatada varia sutilmente, podem existir vários novos segmentos de linha criados quando esta nova linha se intercepta com a linha antiga. Segundo, o sistema deve associar novos números de identificação a cada nova característica que aparecer quando uma característica for decomposta. A maior crítica todavia, é que o modelo não pode ser usado na maioria dos SIG atuais. Alterações nos principais *software* seriam necessárias para a entrada de dados, apresentação e análise de funções, nenhuma delas pode manipular com versões de múltiplas características no mesmo plano de informação.

### **Modelo de Objetos Espaço-Temporais (*Spatio Temporal-Object Model*)**

O Modelo Objeto Espaço-Temporal (*ST-Object Model*) [Yua?] representa o mundo como um conjunto de objetos discretos consistindo de átomos espaço-temporais, incorporando uma dimensão temporal ortogonal para o espaço bidimensional. A Figura 4.4 ilustra esta característica do modelo.

Segundo Yuan [Yua?], o modelo *ST-Object* é capaz de registrar mudanças nos atributos de um *ST-object* em ambas as dimensões, temporal e espacial, juntas ou separadamente, projetando seus átomos para os espaços temporais e espaciais. Todavia, variações graduais no espaço

através do tempo não são possíveis de serem representadas neste modelo, uma vez que seus átomos são discretos.

Observa-se que o modelo *ST-Object* é similar ao modelo *snapshot* e ao modelo *STC*, uma vez que todos eles representam apenas alterações súbitas em uma estrutura de tempo independente, discreta e linear. Nenhum deles, no entanto, é capaz de representar conceitos relacionados com transações, processos ou movimentos.

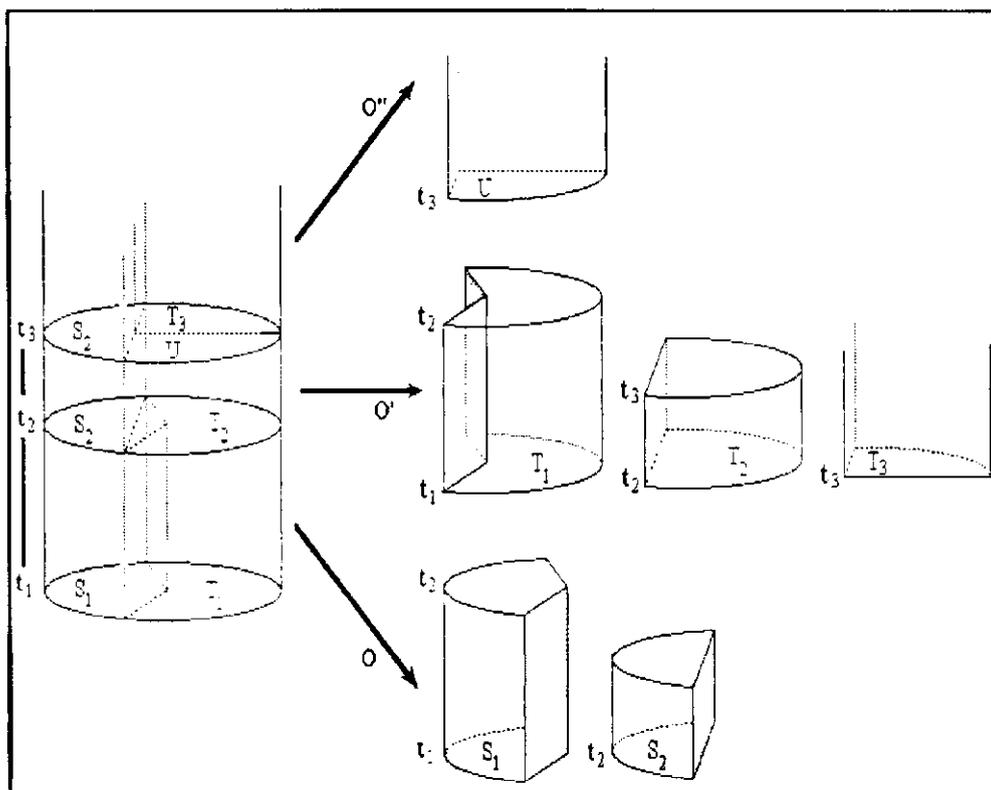


Figura 4.4 - Exemplo do Modelo Objeto Espaço-Temporal

#### Modelo de Dados Espaço-Temporais Baseado em Eventos - ESTDM Model e OOgeomorph Model

O modelo de dados baseado em *raster*, ESTDM [PD95], tem como objetivo organizar informações espaço-temporais sobre mudanças de localização. Ambos os modelos ESTDM e TMS, agrupa planos de informação com marcação de tempo para mostrar observações temporais de um único

evento em uma seqüência temporal. Todavia, segundo Peuquet e Duan [PD95], o ESTDM tem um desempenho superior ao TMS em termos de eficiência de dados e suporte para análise de padrões de tempo e relacionamentos, uma vez que ESTDM armazena mudanças em relação a um estado anterior, ao invés de um registro de um instante (*snapshot*). O ESTDM está representado na Figura 4.5.

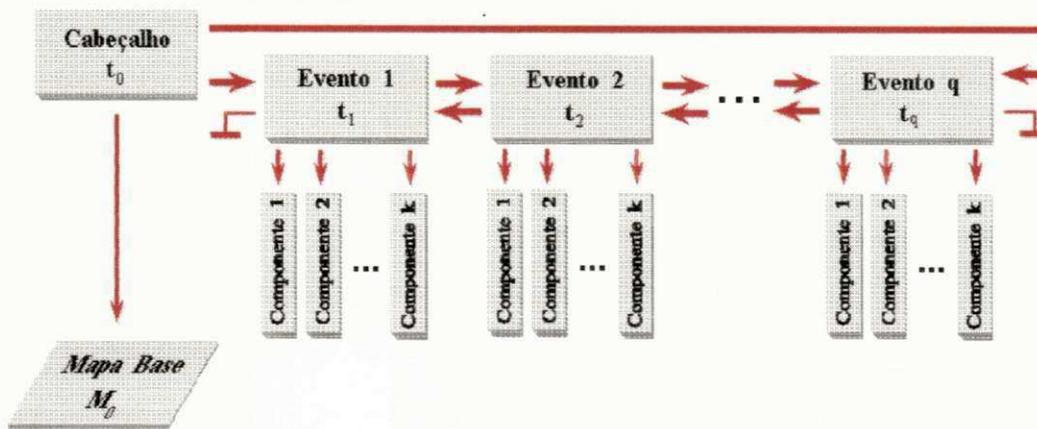


Figura 4.5 - Elementos Primários e Estrutura de Apontadores do ESTDM

Enquanto o ESTDM armazena mudanças de um único tema em localizações pré-definidas, o projeto do *Oogeomorph* [RL95] (Modelo de Dados Espaciais Geomorfológicos usando uma abordagem orientada a objetos) tenta incorporar processos e teorias geomorfológicas como classes em uma representação orientada a objetos [Yua?].

Todo fenômeno geomorfológico é representado por um conjunto de formulários, processos e objetos materiais, cada um destes objetos é representado por um conjunto de atributos do objeto. A localização tri-dimensional ( $x,y,z$ ) e o tempo uni-dimensional ( $t$ ) são referenciados para objetos (att). Observe a Figura 4.6 a seguir.

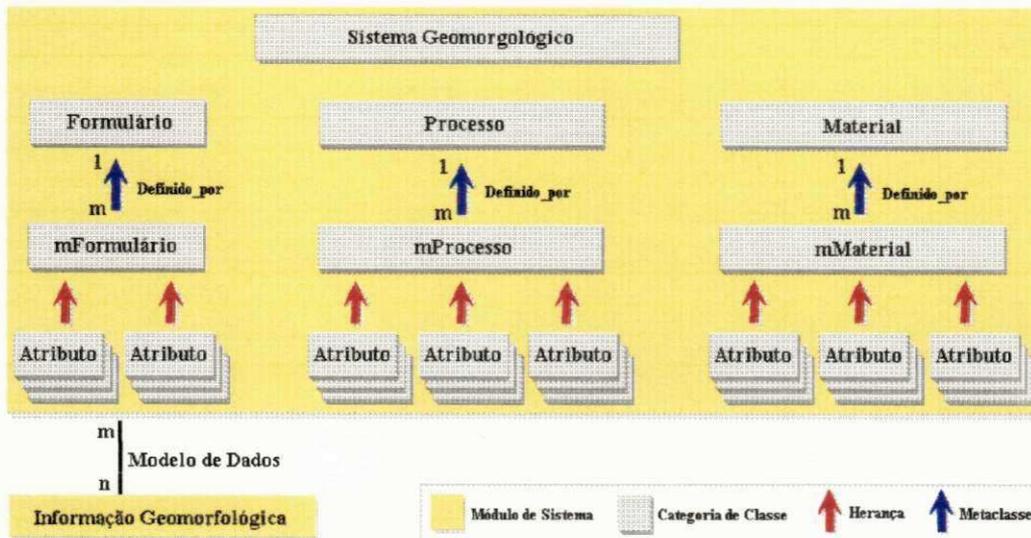


Figura 4.6 - O Modelo *Oogeomorph*

Esta abordagem é similar ao Modelo de Objetos Espaço-Temporais, mas o *Oogeomorph* enfatiza a importância de um sistema físico e processos dentro do sistema. Conforme Raper e Livinstone [RL95], objetos no *Oogeomorph* são ligados por seus relacionamentos definidos em um sistema geomorfológico, ao passo que objetos espaço-temporais e átomos são formados por suas associações espaço-temporais. Enquanto o *Oogeomorph* pode manipular bem informações de localização baseadas em pontos, apresenta problemas na manipulação de dados de área e relacionamentos topológicos.

De acordo com Yuan [Yua?], o grande desafio da modelagem do SIG temporal, é a manutenção da identidade dos objetos ao longo da evolução em propriedades geométricas e relacionamentos topológicos. Objetos espaciais baseados em ponto ou *raster* são estacionários no espaço e informações temporais podem ser associadas com identificadores dos objetos espaciais e por conseguinte, pode ser manipulado principalmente como um banco de dados espacial. SIG baseados em linhas ou polígonos estão intimamente relacionados com mudanças na geometria e topologia de objetos espaciais. Modelos de dados orientados ao domínio são propostos para gerenciar mudanças complexas de objetos espaciais e manter sua identidade.

## O Modelo de Três Domínios (Three Domain Model)

Determinados eventos temporais evocam a carência de estruturas de representação de dados distintas e integradas em processos de modelagem do mundo real. A partir do exemplo apresentado por Peuquet [Peu94], verifica-se que a modelagem de um ciclo de informações de incêndios florestais necessita de quatro representações de dados. Registros instantâneos representam estados, entidades relativas ao incêndio representam processos, registros instantâneos de entidades representam mudanças e padrões de incêndio representam o histórico. Torna-se necessária uma separação de informações semânticas, temporais e espaciais, a fim de suportar dinamicamente todas as quatro representações.

O modelo de três domínios [Peu94] separa objetos semânticos, temporais e espaciais em três domínios distintos. O tempo é modelado como um conceito independente, ao invés de um atributo de localização como no modelo de registro de dados instantâneo, ou como parte integral de entidades espaciais como no modelo de decomposições temporais e objeto espaço-temporal. Conceitos geográficos e entidades são representadas integrando-se dinamicamente aos três tipos de objetos de um plano de informação.

Este modelo de dados é capaz de representar a realidade a partir de perspectivas centradas na localização, na entidade, no tempo, com seis tipos básicos de mudanças em informações geográficas: mudanças de atributos, distribuição espacial estática, mudança espacial estática, mudança espacial dinâmica, mutação de um processo e movimento de uma entidade [Yua95]. A Figura 4.7 ilustra uma representação conceitual do modelo de Três Domínios.

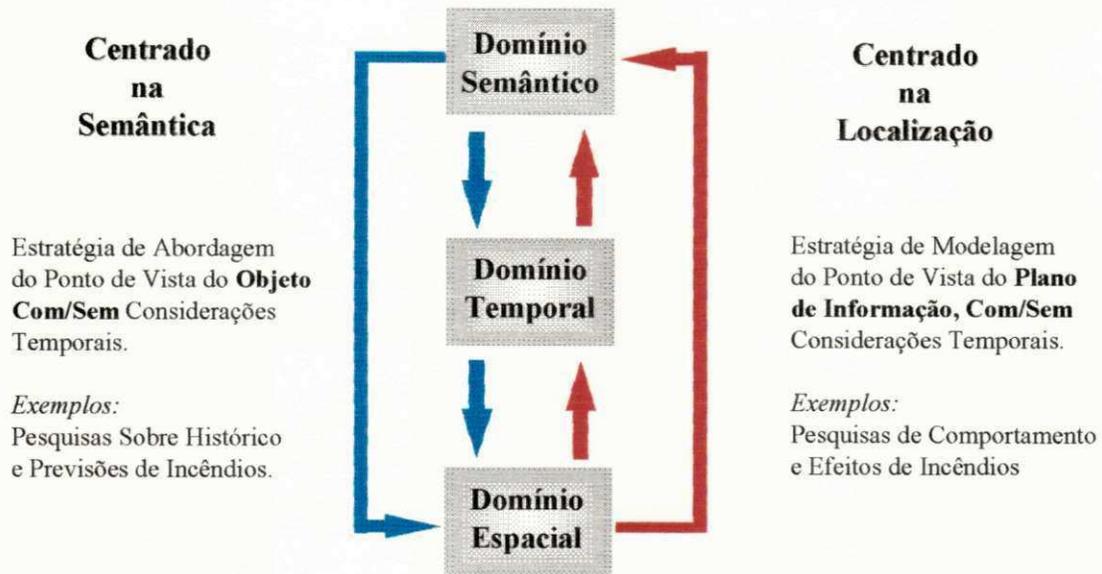


Figura 4.7 - Representação Conceitual do Modelo de Três Domínios

A principal vantagem do modelo de três domínios é o fato de não existir nenhuma representação de dados pré-definida; ao invés disso, o modelo integra dinamicamente objetos relevantes aos três domínios a fim de representar uma entidade ou conceito geográfico.

### MDBS Model

O modelo MDBS [SSA+95] e [Smi94] consiste de um domínio conceitual (C-domain) para visões abstratas de entidades e transformação e um domínio de representação (R-domain) para representação simbólica. R-domínios típicos incluem domínios primitivos, domínios puramente espaciais, domínios não-espaciais, domínios geográficos, e domínios temporais. Esses R-domínios podem ser incorporados nos domínios de semântica, espaço e tempo. Os dois sistemas são compatíveis e o modelo de três domínios será beneficiado pela incorporação da teoria de domínios associada como a modelagem e linguagem de banco de dados (MDBL) desenvolvida na modelagem do sistema de banco de dados (MDBS).

### 3D/4D Model

Segundo Candy [Can95], Hazeeltn et al [Haz90] afirmam que, um genuíno SIG temporal deverá permitir que o tempo seja armazenado com cada coordenada espacial (vértice) de uma característica. O modelo 3D/4D supre a maioria das limitações das outras abordagens porque SIG vetoriais com 4 dimensões topológicas permitirão operações de integração de dados e buscas topológicas espaço-temporais ao mesmo tempo que evitarão a redundâncias dos dados.

Existe muitas dificuldades em desenvolver um SIG 4D. Um SIG 4D vetorial conterà coordenadas  $x,y,z,t$ , de modo que, seu usuário achará a entrada e a atualização de dados uma tarefa muito complexa [Can95]. O procedimento deverá ser similar ao sistema de entrada de dados dos CAD 3D atuais, onde o usuário poderá ver o objeto numa visão bidimensional e em perspectiva, através de diversos gráficos mostrados na tela.

O SIG 4D deve ter algoritmos para correção e construção de tabelas de topologia 4D. A topologia 2D apenas suporta definições de continência, conectividade e continuidade, a topologia 4D deverá suportar polítopos<sup>1</sup> adjacentes que compartilham poliedros.

Conforme Candy [Can95], não existe nenhuma possibilidade dos SIG atuais estendidos suportarem objetos 4D. A única opção seria desenvolver e implementar um completo SIG 4D.

### Modelo Integrado de Dados (*Integrated Data Model*)

Segundo Peuquet [Peu94], a combinação das melhores características de cada um dos quatro principais modelos descritos acima (snapshot, update, space-time composite e 3D/4D) deverá prover um SIG com

---

<sup>1</sup>Objetos quadridimensionais

características temporais sem comprometer o software e o hardware atuais. Enquanto este modelo não é desenvolvido, o que se pode modelar com a tecnologia atual é: a) objetos usando programas macro SIG e registros de SGBD relacionais, b) a localização geográfica usando estruturas de dados vetoriais ou *raster* e c) o tempo usando SGBD relacionais estendidos, conforme apresentado na Figura 4.8.

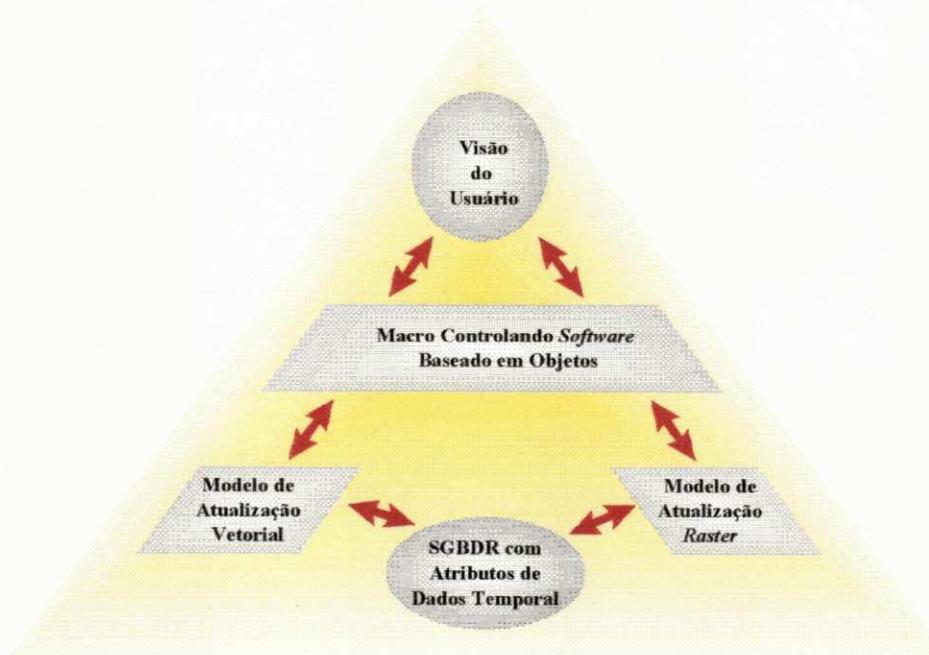


Figura 4.8 - Modelo Integrado de Dados

A estrutura de orientação a objetos relativa às macros deverá permitir a criação de objetos geográficos de alto nível e as vantagens de herança e encapsulamento. A estrutura de dados *raster* proverá generalizações, superposição e operações topológicas e integração de atributos e funções. A estrutura do banco de dados temporal proverá a topologia temporal e atributos temporais. O problema da generalização temporal poderá ser parcialmente resolvido usando operadores temporais no nível do banco de dados, embora isto não venha a prover uma representação futura generalizada. Conforme Candy [Can95], este modelo possibilita diferentes visões da realidade, todavia é passível de redundância e inconsistência dos dados entre as estruturas *raster* e vetoriais.

### 4.3 Síntese dos Modelos

Conforme Candy [Can95], o modelo de registros instantâneos é adequado para o armazenamento de dados históricos, mas inadequado para suportar consultas e análises temporais. Pode ser usado apenas para armazenar e visualizar um conjunto completo de dados históricos.

O conjuntos de mapas temporais é uma extensão do *snapshot model*, todavia gera dados redundantes e pode gerar inconsistências.

O modelo de atualizações é promissor para SIG vetoriais, especialmente por ser possível sua incorporação no software do SIG já existente, mas é ineficaz para análises temporais.

O modelo de composições espaço-temporais inclui a topologia necessária para análises temporais, mas infelizmente seria muito difícil incorporá-lo a um SIG existente. Por outro lado uma grande vantagem é o armazenamento da topologia ao longo do tempo.

O modelo de objetos espaço-temporais se caracteriza pela capacidade de registrar mudanças nos seus atributos e nas dimensões espaciais e temporais. Todavia, não consegue representar as variações do espaço através do tempo, sendo esta sua desvantagem.

Os modelos ESTDM e o *OOgeomorph*, diferentemente do modelo de objetos espaço-temporais, são capazes de manipular as mudanças de localização de seus objetos ao longo do tempo, mas acham-se limitados ao formato de dados *raster*.

O Modelo de Três Domínios se caracteriza pela modelagem do tempo como um conceito independente, o que representa um aspecto positivo.

O MDBS apresenta-se compatível com o Modelo de Três Domínios e tem a grande vantagem de dispor de uma linguagem de banco de dados desenvolvida no modelo, a MDBL.

O modelo 4D por enquanto é apenas teórico.

O **Modelo Integrado** usa as estruturas vetoriais e *raster* para solucionar o problema da topologia no SIG temporal, mas está sujeito a ser complexo para o uso e a favorecer a redundância de dados.

Pesquisas demonstram a necessidade de incorporar construções espaço-temporais de fenômenos naturais dentro da modelagem de informações temporais em SIG para representar completamente mudanças no tempo e no espaço. Atualmente, a maioria das pesquisas encontra-se centrada em modelos de dados e aplicações de sistemas espaço-temporais. A diversidade de modelos e aplicações apresentados, indicam claramente que existem vários aspectos de sistemas espaço-temporais que precisam ser considerados.

Uma abordagem usada para resolver um determinado problema pode, simplesmente, não ter utilidade na resolução de outros. Todas as abordagens tem suas vantagens e desvantagens. É válido deixar claro que, existem ainda muitos problemas espaço-temporais que precisam ser resolvidos, fazendo-se necessário que novas pesquisas sejam desenvolvidas para este fim. Estas questões são tratadas no próximo capítulo.

## Capítulo 5

### Temporalização do MGeo+, uma Proposta de Extensão

A modelagem temporal é um importante tópico da área de Modelagem de Sistemas de Informação. Além da necessidade de representação de dados temporais, a modelagem temporal é necessária para a representação das características dinâmicas de aplicações e para representar a interação temporal entre diferentes processos.

Este capítulo trata da introdução dos aspectos temporais no modelo de dados geográficos MGeo+. Para tanto, faz-se necessária a conceituação do tempo, que será abordada neste capítulo.

Com o propósito de esclarecer a modelagem do tempo, descreve-se brevemente dois modelos conceituais de dados temporais orientados a objetos, o TOM - *Temporal Object Model* e o TOODM - *Temporal Object Oriented Data Model*. Em seguida, é proposta uma extensão do MGeo+ para incorporar o tempo. Finalmente, faz-se uma análise do modelo estendido com base nos diferentes tipos de consultas espaço-temporais encontrados na literatura.

## 5.1 A Modelagem do Tempo

De acordo com a literatura, a noção de tempo (datas, períodos, validade de informações, intervalos temporais, sincronismo de atividades, restrições de integridade dinâmica) surge em diferentes níveis:

- ✓ na modelagem de dados;
- ✓ na linguagem de manipulação de dados;
- ✓ no nível de implementação do SGBD.

Pesquisas ligadas à incorporação do tempo a sistemas de banco de dados vêm sendo realizadas já há alguns anos, inicialmente implementadas com o modelo relacional, e depois, com modelos orientados a objetos.

Dois fatores dificultam a realização de trabalhos neste contexto, são eles:

i) as dificuldades introduzidas pelo tratamento de dimensões temporais, tanto do ponto de vista de modelagem quanto de implementação;

ii) a reduzida proporção de sistemas orientados a objetos existentes no mercado, aliada à falta de padronização do conceito de objetos.

Conforme Brayner e Medeiros [BM94], basicamente duas abordagens são utilizadas para a incorporação de tempo em banco de dados.

i) introdução do conceito de tempo na semântica de um modelo de dados;

ii) introdução (em um modelo de dados qualquer), de atributos que representem as dimensões temporais.

A segunda abordagem tem sido a mais utilizada, uma vez que na primeira faz-se necessária a especificação de uma lógica para formalizar a

semântica temporal, ao passo que na segunda é necessária apenas a definição de funções que possam mapear as operações temporais em operações básicas do modelo.

### 5.1.1 Nível de Incorporação do Tempo

De acordo com Brayner e Medeiros [BM94], a incorporação das dimensões temporais pode ser feita em dois níveis:

i) no **nível de um objeto** do mundo real (correspondendo à tupla no modelo relacional, à entidade no modelo de entidades e relacionamentos e ao objeto no modelo orientado a objetos) e;

ii) no **nível de atributos** de um objeto (correspondendo a atributos nos modelos Relacional e Entidades e Relacionamento e correspondendo a componentes de um objeto no modelo Orientado a Objetos).

No nível de objeto, o esquema de uma relação é expandido para incluir um ou mais atributos temporais distintos (tempo-início, tempo-fim), com o propósito de armazenar o período de tempo sobre o qual uma entidade é considerada válida [Bot95]. Essa abordagem é chamada na literatura de **marcação de tempo na tupla** (*tuple timestamping*).

No nível de atributos, a abordagem é denominada **marcação de tempo no atributo** (*attribute timestamping*). Esta abordagem adiciona atributos temporais aos atributos originais, estendendo o domínio de cada atributo a valores complexos, que incorporam a dimensão temporal [Bot95]. Várias estratégias de implementação de banco de dados temporais usando o modelo relacional com marcação de tempo na tupla ou marcação de tempo no atributo são apresentadas em [Lan95]. Para que esta abordagem seja utilizada, é necessária a classificação dos atributos do modelo em:

### Atributo Invariante-no-tempo

Um atributo **invariante-no-tempo** (ou dado estático) é um atributo cujo valor está condicionado a não mudar ao longo do tempo. Em termos funcionais, é uma função de valor constante ao longo do tempo [Bot95].

### Atributo Variante-no-tempo

Um atributo **variante-no-tempo** (ou dado temporal) é um atributo cujo valor não está sujeito à restrição de ser constante ao longo do tempo [Bot95]. Em outras palavras, pode ou não mudar com o tempo.

Muitos conceitos definidos na literatura sobre banco de dados temporais são novos ou ainda não estão bem consolidados. Nesta seção, serão apresentados os principais conceitos para a especificação do tempo em bancos de dados.

## 5.1.2 Representação Temporal Explícita e Implícita

O tempo pode assumir as formas:

✓ **Explícita**: através da associação de um tempo a uma informação (*timestamping*);

✓ **Implícita**: através da utilização de uma lógica temporal.

Segundo Silva [Sil95], para a representação explícita de tempo, é necessária a definição de um elemento temporal primitivo, como instante ou intervalo. Um **instante** representa um ponto de tempo particular, e o **intervalo de tempo** é o tempo decorrido entre dois instantes. Nos modelos baseados no intervalo de tempo, o instante é definido como um intervalo muito pequeno e indivisível, o *chronon*.

### 5.1.3 Granularidade

A **granularidade** do tempo consiste na duração de um *chronon*. Um *chronon* (ponto de Tempo) é a menor duração de tempo suportada por um SGBD temporal, ou seja, é uma unidade indivisível de tempo. Um *chronon* específico é um sub-intervalo de duração fixa no eixo de tempo [Bot95] e [Sil95].

As granularidades mais utilizadas são as que fazem parte do sistema de calendário (segundo, minuto, hora, dia, mês, ano, etc.). Dependendo da aplicação, podem ser necessárias várias granularidades. Esta capacidade permite ao usuário a facilidade de tratar informações temporais em vários níveis de abstrações [Sil95].

### 5.1.4 Ordem no Tempo

A definição de uma ordem a ser seguida no tempo é fundamental quando se utiliza alguma representação temporal. Existem três modelos estruturais de tempo:

✓**Linear**: o tempo encontra-se totalmente ordenado. Em outras palavras, o tempo é um conjunto de pontos ordenados e igualmente espaçados, denotado por  $T$ , onde  $T = \{0, 1, 2, \dots, now, \dots\}$ . O símbolo 0 é o início relativo, e *now* é uma constante especial que representa o tempo atual. O valor *now* muda à medida que o relógio avança. Qualquer tempo além de *now* é tempo futuro [Bot95] e [Sil95].

✓**Ramificado**: estrutura semelhante aos galhos de uma árvore, que permite a possibilidade de alternativas futuras, passadas ou ambas. Em alguns casos, pode ser considerado um tempo ramificado no futuro, permitindo a possibilidade de dois pontos diferentes serem sucessores imediatos de um mesmo tempo [Bot95].

✓**Cíclico**: estrutura de um laço fechado, modelando periodicidade.

### 5.1.5 Dimensão de Tempo

O conceito de tempo difere entre objetos geográficos. Objetos nascem e deixam de existir.

*Span* e *Tempo de Vida (Lifespan)* - O termo *span*<sup>1</sup> significa uma duração direcionada de tempo. Uma duração de tempo é uma quantidade de tempo com um comprimento determinado em número de *chronons*, mas sem *chronons* específicos de início e fim. Um *span* pode ser positivo, denotando passagem de tempo para o futuro, ou negativo, denotando volta no tempo para o passado. Um *span* pode ter um comprimento fixo (semana) ou variável (mês) [Bot95].

Na literatura são encontrados quatro conceitos de tempo relativos à dimensão temporal em banco de dados:

✓**Tempo Válido**<sup>2</sup> (*Valid Time*): é o tempo em que um fato é verdadeiro na realidade modelada, ou seja, é o tempo em que o objeto muda de estado [Sil95][Bot95];

✓**Tempo Mensurado** (*Measured Time*): é o tempo em que a mudança é mensurada [Can95];

✓**Tempo de Transação**<sup>3</sup> (*Transaction Time*): é o tempo em que um fato é armazenado no banco de dados [Bot95]. Os valores de tempo de transação são consistentes com a ordem de serialização das transações, não podendo ser maior que o tempo atual [Sil95].

<sup>1</sup>Alguns sinônimos de *span* são duração, intervalo e distância do tempo. Entretanto, um intervalo normalmente tem os seus *chronons* de início e fim fixos, e uma duração é geralmente considerada não dimensional, ou seja, sempre positiva [Bot95].

<sup>2</sup>Também conhecido como tempo do mundo real, tempo lógico, tempo intrínseco, tempo de evento e tempo do usuário.

<sup>3</sup>Pode ser chamado de tempo de registro, tempo de banco de dados, tempo extrínseco e tempo físico

✓**Tempo Definido pelo Usuário (*User-Defined Time*):** é um atributo de domínio não interpretado pelo banco de dados. Conforme Botelho em [Bot95], é usado para armazenar data e hora de alguns fatos como data de aniversário e data de contratação de funcionários. Este tipo de tempo é gerenciado pelo usuário e é o mais fácil de ser implementado.

A maioria dos autores, entre eles Oliveira e Medeiros [OM93], concorda com a necessidade de modelos temporais que tratem pelos menos um dos dois tipos de tempo: Tempo de Transação e Tempo Válido. Conforme descrito, o tempo de transação é gerado pelo sistema e registra quando o fato é armazenado no banco de dados. Por sua vez, o tempo válido é provido pelo usuário e representa o tempo atual quando o fato ocorre no mundo real, permitindo registrar informações não apenas sobre o passado, mas também sobre o futuro. Este tempo pode ser ramificado no passado e no futuro, ao contrário do eixo de tempo de transação que é linear em toda sua extensão.

Segundo Botelho [Bot95], o tempo válido é bastante útil para as classes cujos objetos são variantes no tempo, uma vez que este tipo de tempo se refere ao intervalo de tempo em que os dados são considerados válidos no mundo real.

Conforme Candy [Can95], um SIG temporal, pode não dispor do tempo definido pelo usuário, mas deve manter pelo menos os tempos válido e de transação do objeto, de forma a evitar atualizações, apagando informações em um certo tempo do banco de dados.

A figura 5.1, adaptada de Candy [Can95], mostra os diferentes tipos de tempo que podem ser trilhados em um SIG temporal a partir do exemplo de um rio alagando uma estrada. Esta figura mostra que o tempo do evento nunca é preciso, o que se tem é a estimativa a partir do tempo mensurado.

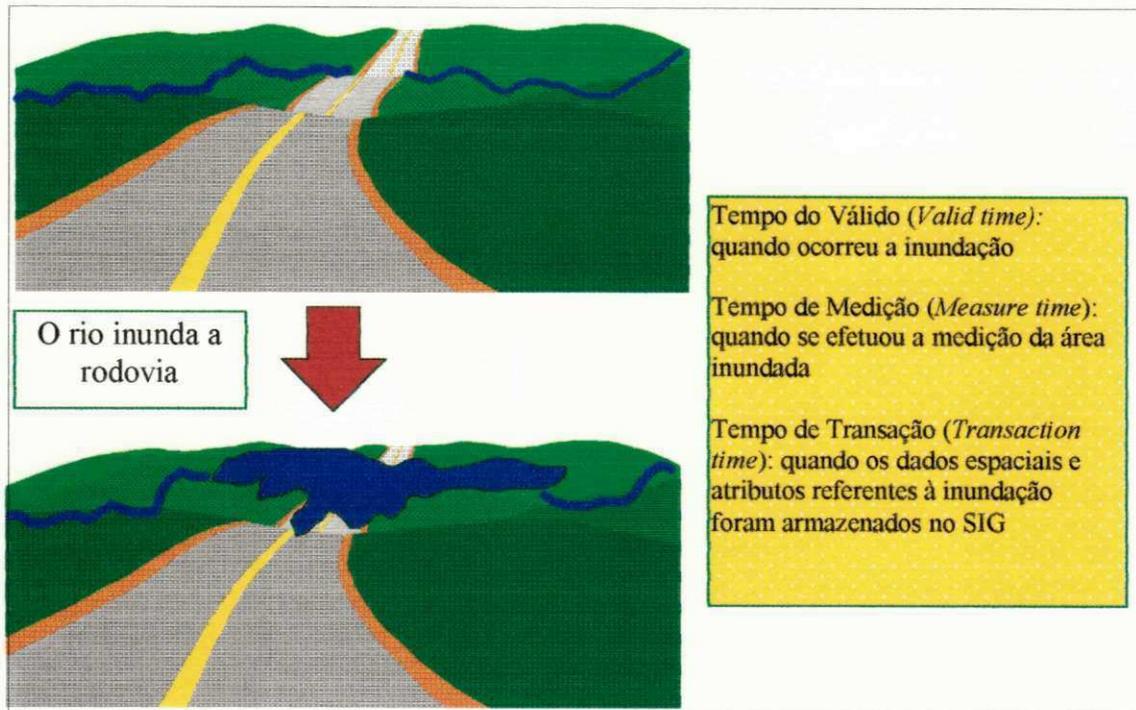


Figura 5.1 - Tipos de Tempo em SIG Temporais

### 5.1.6 Densidade Temporal

Pesquisas em sistemas de informações temporais resultam em diferentes tipos de estruturas para a variação temporal. O tempo pode ser mensurado como uma variável discreta ou contínua [Wor?].

✓**Variável temporal contínua** (*continuous temporal variable*) : é usada onde o processo requer que a medida do tempo seja possível em níveis arbitrários de precisão. Por exemplo, a posição de um ponto em um incêndio florestal pode ser medido em vários intervalos de tempo, e o modelo deverá adotar uma teoria de interpolação, de modo que em um outro intervalo de tempo, a posição possa ser determinada.

✓**Variável temporal discreta** (*discrete temporal variable*): é usada quando o tempo é mensurado em um certo intervalo e a variação é discreta entre esses intervalos. Por exemplo, os limites de uma área desmatada podem ocupar uma determinada posição no tempo  $t_1$  e uma outra posição no

tempo  $t_2$ , mas não interessa dizer que os limites da área ocuparam posições intermediárias entre os tempos  $t_1$  e  $t_2$ . Eles não se arrastaram continuamente, mas mudaram discretamente.

A interpretação discreta de tempo tem sido comumente adotada pela comunidade de pesquisa de banco de dados temporais pela sua simplicidade e relativa facilidade de implementação, uma vez que os instrumentos de medição e contagem do tempo são imprecisos ou apresentam uma precisão limitada.

Um SIG que se proponha a modelar processos temporais deve focalizar principalmente as mudanças entre estados e dar menor ênfase aos estados estáticos como visão histórica do mundo [Bot95]. Não se pode entender os processos naturais apenas comparando-se estados instantâneos de duas épocas distintas, pois corre-se o risco de, dessa forma, ignorar fatos que ocorreram em estados intermediários e que não deixaram vestígios nos estados investigados.

É importante observar que entre dois estados temporais consecutivos, o valor de um atributo de uma entidade geográfica pode ser considerado constante ou pode ser calculado como uma função de interpolação, usando como argumentos os valores desse atributo nos dois estados temporais mais próximos e a distância temporal entre esses estados.

### 5.1.7 Interpolação Temporal

A **interpolação temporal** é a derivação do valor de um atributo do banco de dados num *chronon* para o qual este valor não foi explicitamente armazenado. Conforme Botelho em [Bot95], essa derivação é tipicamente expressa como uma função calculada a partir de valores temporalmente precedentes e/ou sucessores no histórico desse atributo. Este conceito é particularmente importante para dados científicos contínuos.

### 5.1.8 Expressão Temporal

Uma **expressão temporal** é uma construção sintática usada numa consulta, que calcula um valor temporal, isto é, um instante, um intervalo de tempo ou um elemento temporal. Essas expressões podem ser usadas em conjunto com as expressões relacionais e expressões *booleanas* em construções mutuamente recursivas [Bot95].

Algumas considerações importantes são:

- ✓ um elemento temporal constante é uma expressão temporal, como por exemplo:  $[0,now]$ ;

- ✓ Se  $A$  é um atributo, então  $[[A]]$  é uma expressão temporal que extrai o valor temporal de  $A$ ;

- ✓ Se  $A$  e  $B$  são atributos e  $\phi$  é um operador (como  $>$  ou  $<$ ), então  $[[A\phi B]]$  é uma expressão temporal. Esta expressão extrai o domínio temporal quando os valores dos atributos  $A$  e  $B$  tinham o relacionamento  $\phi$ .

- ✓ Se  $i$  é uma constante temporal, então  $[[A\phi i]]$  e  $[[i\phi B]]$  também são expressões temporais.

### 5.1.9 Indeterminância e Modalidade Temporal

Uma informação é temporariamente indeterminada quando não tem um valor de tempo válido preciso.

A **modalidade temporal** é a maneira como um fato, associado originalmente com um *chronon* ou intervalo numa dada granularidade, se distribui numa granularidade mais fina ou dentro do intervalo no mesmo nível de granularidade. São observados dois tipos de modalidade temporal [Bot95]:

✓**Modalidade temporal intermitente** (*sometimes*): quando sabe-se que o fato aconteceu em pelo menos um dos *chronons* correspondentes numa granularidade mais fina, ou em pelo menos um dos *chronons* do intervalo, se um intervalo for dado;

✓**Modalidade temporal contínua** (*always*): quando sabe-se que o fato aconteceu em todos os *chronons* correspondentes numa granularidade mais fina, ou em todos os *chronons* do intervalo, se um intervalo for dado.

### 5.1.10 Processos e Eventos

Em SIG, há uma importante distinção conceitual no que se refere à manipulação de dados baseados em campos e objetos. Segundo Worboys [Wor?], estes conceitos podem também ser ampliados para a dimensão temporal.

A representação **baseada em campos** que também é chamada **baseada em processos**, permite a definição de processos que são mapeados de um domínio temporal para um ou mais atributos do domínio. O movimento de uma partícula, por exemplo, é um processo [Wor?]. Em algum ponto do tempo, pode-se mensurar um ou mais atributos desse processo, como sua localização, velocidade e aceleração.

Por outro lado, a representação **baseada em objetos**, que no contexto temporal pode ser chamada de **baseada em eventos**, permite a definição de eventos que são objetos, cujos atributos (um ou mais) são mensurados em termos do tempo. Neste caso, o mapeamento acontece do domínio dos objetos para o domínio temporal, por exemplo, a construção de uma barragem no contexto de uma seqüência de eventos.

Ao se utilizar a abordagem de campo para modelar uma região, qualquer mudança de valor em algum ponto do campo, gera um novo estado

do campo inteiro. Se por outro lado, for usada a visão de objetos, qualquer alteração de valor em algum atributo do objeto gera um novo estado contendo tal objeto e todos os outros objetos presentes no estado anterior ainda que não tenham sofrido nenhuma alteração.

## 5.2 Incorporando o Tempo no MGeo+

O MGeo+ é um modelo conceitual de dados geográficos orientado a objetos. Apesar de adequado para responder consultas espaciais, é incapaz de responder a consultas relacionadas com o tempo. Esta seção trata da introdução de conceitos temporais no MGeo+ de modo a torná-lo um modelo espaço-temporal. A proposta de extensão descreve para cada uma das classes do modelo, a sua relação com o tempo.

O material disponível sobre os modelos espaço-temporais descritos no capítulo 4, não deixa claro os conceitos de tempo por eles utilizados. Por esta razão, foram analisados dois modelos conceituais temporais orientados a objetos: o TOM - *Temporal Object Model* [Schi91] e o TOODM - *Temporal Object Oriented Data Model* [OM93], uma vez que estão melhor detalhados na literatura disponível. Estes modelos, apesar de não abordarem os aspectos espaciais de um banco de dados, utilizam a maioria dos conceitos descritos na seção anterior, necessários a um banco de dados temporal.

### 5.2.1 Os Modelos Temporais TOM e TOODM

O modelo TOM considera possíveis aspectos temporais de dados, permitindo a modelagem de aplicações onde o fator tempo é determinante. O tempo é modelado através das classes temporais, dos relacionamentos temporais e relacionamentos pré-pós [Sil95]. No TOM a representação do tempo é feita de forma explícita, o eixo temporal é linear e discreto e a granularidade

adotada é a do calendário gregoriano. O modelo dispõe também de um sistema de consultas gráficas, o ConTOM [Fer95].

Uma classe temporal, no TOM, é definida como uma subclasse da metaclasses *Temporal Object*, que possui propriedades (tempo-válido e tempo-de-transação) e métodos que serão herdados por todos os objetos instâncias da classe temporal declarada. Maiores detalhes poderão ser obtidos em [Dav92] e [Sil95].

O modelo TOODM incorpora as dimensões de tempo-válido e tempo-de-transação ao modelo orientado a objetos. Ele possibilita a existência de três tipos de objetos: o objeto variante no tempo, o objeto invariante no tempo e o objeto do tipo TIME. Assim como no TOM, o eixo temporal é linear e discreto e dispõe da linguagem de consultas TOOL - *Temporal Object Oriented Language*, proposta em [OM93].

O TOODM propõe quatro categorias de classes temporais a saber: classes instantâneas, tempo-de-transação, tempo-válido e bitemporais [BM94].

A Tabela 5.1 sintetiza as principais características dos modelos acima descritos.

	Modelo de Dados	Dimensões	Variação	Ordem	Representação	Granularidade	Linguagem
<b>TOM</b>	Orientado a Objetos	Tempo-Válido / Tempo-Transação	discreta	linear	explícita	calendário gregoriano	conTOM
<b>TOODM</b>	Orientado a Objetos	Tempo-Válido / Tempo-Transação	discreta	linear	explícita implícita	calendário(seg, min, hora, dia, mês, ano, década, século)	TOOL

Tabela 5.1 - Síntese das Principais Características do TOM e TOODM

Da análise da tabela acima, observa-se que ambos os modelos implementam grande parte dos conceitos temporais, e os apresentam de forma bastante semelhante. Nestes modelos o eixo do tempo é linear e discreto e uma classe temporal pode incorporar até duas dimensões temporais (tempo válido e tempo de transação) e deve ter pelo menos as mesmas dimensões temporais que as suas superclasses.

### 5.2.2 Temporalização do MGeo+

Esta seção discutirá a incorporação dos aspectos temporais no MGEO+. Este modelo, uma vez acrescido desses conceitos passará a ser tratado neste trabalho como TMGEO.

Esta proposta de expansão se baseia na incorporação do tempo no nível de atributos de um objeto, abordagem de marcação de tempo no atributo. A representação adotada para o tempo é explícita. A ordem do tempo é linear. A granularidade utiliza o calendário gregoriano (segundos a séculos). As dimensões do tempo, adotadas são Tempo válido e Tempo de transação. A classificação adotada para as classes temporais é aquela do TOODM, isto é, instantânea, válida, transação e bitemporal.

De acordo com Brayner e Medeiros em [BM94], o acréscimo de um atributo temporal à definição de um objeto geográfico chama-se de **temporalização**. Basicamente a temporalização se resume em anexar à classe do objeto geográfico os atributos necessários para armazenar todos os valores válidos do objeto e de seus componentes em alguma época [Bot95]. Cada atributo do objeto temporal tem associado um atributo temporal para armazenar os tempos de validade, ou seja, uma lista de intervalos de tempo em que aquele valor é válido.

Para possibilitar a incorporação dos aspectos temporais no MGEO+ propõe-se, a exemplo da classe TIME no TOODM, a definição do atributo

temporal TEMPO cujos subatributos determinarão os conceitos temporais como dimensão, variação, granularidade, ordem, e o tipo da classe temporal que ele compõe. O elemento TEMPO pode ser representado como uma tupla da seguinte forma:

*TEMPO: tupla (dimensão, variação, granularidade, ordem, tipo)*

Em função desta definição, os objetos que constituem o TMGEO podem ser classificados em objetos variantes no tempo e objetos invariantes o tempo. Os invariantes no tempo, são aqueles que não são compostos por nenhum objeto do tipo TEMPO, ao passo que os variante no tempo possuem pelo menos um atributo deste tipo.

Com a temporalização de algumas classes do MGeo+, sentiu-se a necessidade, principalmente durante o processo de instanciação do modelo, da definição de um método específico de interpolação às classes variantes no tempo, uma vez que, em função da aplicação, pode vir a ser necessário representar grandezas físicas contínuas.

O método INTERPOLAR possibilitaria que a partir de um intervalo de tempo qualquer  $(T_1, T_2)$ , determinar o valor associado a um dado ponto  $T_i$  neste intervalo. De forma simplificada, este método pode ser definido a partir da seguinte função:

$$f(t_i) = \text{interpolar}(T_1, T_2)$$

É importante ressaltar, que para ambas as classes do TMGEO são aplicados os mesmos métodos básicos (Criar classe, Inserir classe, Remover classe e Modificar classe) que se aplicam às classes do MGeo+, e acham-se detalhadamente descritos em [Pim95].

No modelo TMGeo, são ditos **objetos invariantes no tempo**, os objetos das classes: Modelo de Representação, Plano de Informação, Símbolo, Símbolo Pictórico e Texto.

As classes Modelo de Representação e Plano de Informação são, juntas, responsáveis pela determinação da região geográfica de estudo, a projeção cartográfica adotada pela aplicação e a escala utilizada. Percebe-se facilmente que estes objetos são invariantes com o tempo, ou seja, uma vez definidos, permanecem estáveis para uma aplicação.

O mesmo acontece com os objetos das classes Símbolo, Símbolo Pictórico e Texto. No caso de variação da entidade geográfica ou informação que eles representam, os mesmos seriam substituídos, nunca modificados.

Por outro lado, são **objetos variantes no tempo**, os objetos das classes: BD-GEO, Entidade Geográfica, Propriedades, Representação Espacial, Representação Simbólica, Representação Descritiva, Elemento Espacial e os elementos definidos a partir das classes Elementos Contínuos e Discretos.

A Tabela 5.2 resume a classificação dos objetos do TMGeo.

Objetos	Atributos	
	Invariantes no Tempo	Variantes no Tempo
Entidade Geográfica	Rótulo Contexto Espacial	Auto-Composição de Entidades Propriedades
Propriedade	Rótulo Representação Simbólica Representação Espacial Método de Representação Entidade Geográfica	Representação Descritiva
Representação Espacial	Identificador Representação Descritiva Representação Simbólica	Elementos Contínuos Elementos Discretos
Representação Simbólica	Identificador Símbolo	Representação Espacial
Representação Descritiva	Identificador Representação Espacial	Informações Elementares
Célula	Coordenada Tamanho Tipo	Valor

Tabela 5.2 - Classificação dos Objetos do TMGeo

A seguir, passamos a descrever a inclusão do tempo em cada uma das classes do MGeo+ que são variantes no tempo. Para cada uma das classes é discutida sua relação com o tempo, e são apresentadas na forma de tuplas a versão espacial (MGeo+) e a versão espaço-temporal (TMGeo).

Para representar a temporalização adotou-se a seguinte convenção:

atributo temporalizado (t),

onde (t) significa que este atributo foi acrescido do atributo TEMPO, ou seja, além das informações associadas a este atributo no MGeo+, foram acrescidas as informações temporais definidas no atributo TEMPO.

Os objetos da classe **Entidade Geográfica**, são legítimos representantes de objetos que variam no tempo, uma vez que podem sofrer alterações, com o passar do tempo. Essa variação ocorre não só na representação de sua localização (elementos discretos e contínuos), mas também pode ocorrer de forma significativa nas suas propriedades em decorrência de processos geográficos temporais. Um exemplo disto seria a queimada de uma parte de uma dada região agrícola. Neste caso os limites da área fértil da região seriam alterados, assim como algumas características do solo exigindo portanto modificações no manejo e tratamento do solo.

*Entidade Geográfica: tupla( rótulo, auto-composição, propriedades, contexto espacial)*

*Entidade Geográfica (t): tupla( rótulo, auto-composição(t), propriedades(t), contexto espacial)*

No caso do exemplo acima citado, sendo a entidade geográfica solos da região agrícola, composta de outros solos adjacentes, o atributo auto-composição de entidades geográfica e propriedades são ditos variáveis com o tempo, uma vez que em decorrência da queimada, aproveitando o exemplo dado, alguns solos desta composição podem sofrer mudanças consideráveis nas suas propriedades, podendo até não mais fazer parte desta auto-composição com o passar do tempo.

Os objetos da classe **Propriedades** são também ditos variantes no tempo. Tomando-se como exemplo a aplicação do estudo de caso descrito no capítulo 3, a propriedade salinidade do solo varia continuamente com o tempo no decorrer de um ano. No auge das estações seca e chuvosa, observa-se seus valores máximos e mínimos respectivamente.

Em se tratando de pesquisas científicas para fins de observação da evolução da salinidade ao longo do tempo, a coleta de amostras do solo, pode ser feita mensalmente. Neste caso, utiliza-se o mecanismo de interpolação

para o cálculo do valor da salinidade no intervalo  $tv_1, tv_2$  quando são registrados os valores extremos de salinidade. A Figura 5.2 ilustra este fato

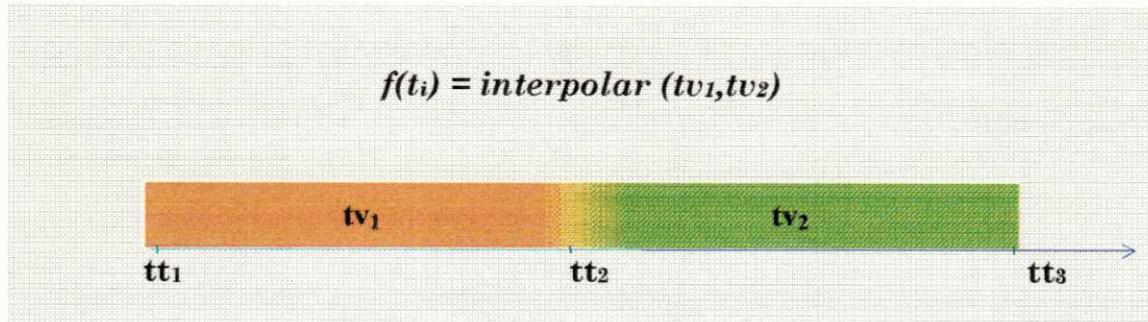


Figura 5.2 - Evolução da Salinidade ao Longo do Tempo

**tt<sub>1</sub>**: início da estação de seca;

**tt<sub>2</sub>**: fim da estação seca e início da estação chuvosa;

**tt<sub>3</sub>**: fim da estação chuvosa;

**tv<sub>1</sub>**: período no qual é válido o índice máximo de salinidade no solo;

**tv<sub>2</sub>**: período no qual é válido o índice mínimo de salinidade no solo.

Conforme pode-se observar, em função do exemplo acima, apenas o atributo representação descritiva da classe propriedade é temporal, uma vez que os demais atributos independem da época em que a salinidade do solo é medida.

**Propriedades:** tupla( rótulo, representação descritiva, representação simbólica, representação espacial, método de representação, entidade geográfica)

**Propriedades(t):** tupla( rótulo, representação descritiva(t), representação simbólica, representação espacial, método de representação, entidade geográfica).

O valor da salinidade propriamente dito, será armazenado na classe célula, que também é dita variável no tempo, uma vez que é o atributo valor, onde as variáveis físicas são armazenadas, é variante no tempo.

**Célula:** tupla (coordenada, tamanho, tipo, valor)

**Célula (t):** tupla (coordenada, tamanho, tipo, valor(t))

A classe **Representação Espacial** de objetos geográficos é variante no tempo e está diretamente relacionado com o tempo válido. Um exemplo seria uma imagem de satélite de uma área florestal em processo de desmatamento de uma determinada região de estudo. O tempo de validade das informações contidas na imagem é referente apenas ao período que foram captadas.

*Representação Espacial: tupla (identificador, elementos contínuos, elementos discretos, representação descritiva, representação simbólica)*

*Representação Espacial(t): tupla (identificador, elementos contínuos, elementos discretos, representação descritiva(t), representação simbólica)*

O mesmo pode ser observado com relação a **classe Representação Simbólica** de um determinado objeto. A pavimentação de uma estrada de terra é um exemplo de como a representação simbólica de um objeto pode variar em função do tempo.

*Representação Simbólica: tupla (identificador, representação espacial, símbolo)*

*Representação Simbólica (t): tupla (identificador, representação espacial, símbolo(t))*

No caso da **classe Representação Descritiva**, observa-se também uma variação temporal, pois a medida que a representação espacial e/ou simbólica varia com o passar do tempo, a representação descritiva do objeto em questão deverá ser atualizada.

*Representação Descritiva: tupla (identificador, representações espaciais, informações elementares)*

*Representação Descritiva (t): tupla (identificador, representações espaciais, informações elementares(t))*

### 5.3 Consultas Espaço-Temporais e o TMGeo

Com o auxílio de SIG temporais, o armazenamento dos valores históricos relativos a dados geográficos de um determinado contexto, possibilita consultas sobre *onde* e *quando* ocorreram alterações, bem como sobre *qual* a natureza, a periodicidade e a frequência de tais alterações no referido contexto. Informações como estas podem servir de ponto de partida para a determinação de algum padrão espacial pelo sistema, assim como para o delineamento de tendências visíveis e a identificação dos processos responsáveis pelas alterações [Bot95].

Os tipos de consultas espaço-temporais, ilustrados na Figura 5.3, classificadas de acordo com o domínio de busca da consulta, são:

✓ **Consulta Temporal Simples:** “Qual o estado do objeto A no tempo  $T_1$ ?”. A Figura 5.3a ilustra uma situação de *consulta temporal simples*.

✓ **Consulta Temporal de Intervalo:** “O que aconteceu com o objeto A durante o intervalo  $T_1$  e  $T_2$ ?”. Este tipo de consulta é mostrada na Figura 5.3b.

✓ **Consulta Espaço-Temporal Simples:** “Qual é o estado da região R no tempo  $t$ ?”. A Figura 5.3c ilustra esta situação de consulta.

✓ **Consulta Espaço-Temporal de Intervalo:** “O que aconteceu com a região R no intervalo  $t_1$  a  $t_2$ ?”. Na Figura 5.3d está ilustrada uma situação de *consulta espaço-temporal de intervalos*.

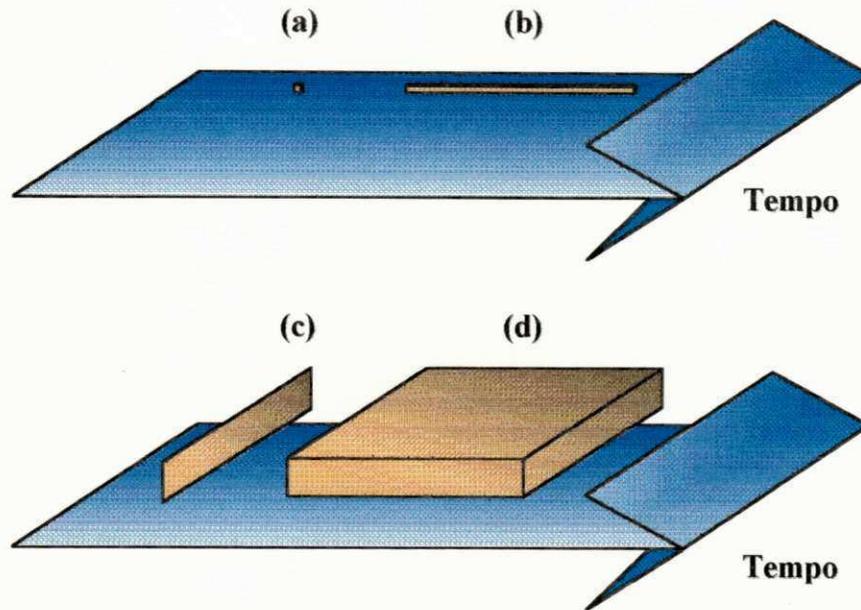


Figura 5.3 - Tipos de Consultas Temporais

A abordagem de Peuquet [Peu94, Bot95], face à necessidade de SIG que considerem o domínio temporal, integra aspectos temporais a aspectos de localização e atributos das entidades geográficas. Deste modo cada informação da entidade é incorporada às visões de localização (onde), composição interna (qual) e período de sua existência (quando), o que possibilita ao usuário a formulação de questões abrangendo basicamente três categorias, a saber:

- Quando + Onde → Qual
- Quando + Qual → Onde
- Qual + Onde → Quando

Os SIG envolvem consultas e análises de uma grande quantidade de dados. Estes dados geo-referenciados, são de diferentes tipos, coletados usando dispositivos diversificados e em diferentes períodos de tempo. As consultas a esses dados podem ser classificadas nas quatro classes a seguir [MJ93]:

- ✓Apresentação de dados armazenados;
- ✓Determinação do relacionamento espacial entre diferentes fenômenos;
- ✓Simulação e comparação de cenários alternativos baseados na combinação de camadas (planos de informação);
- ✓Previsão do futuro.

Independente do modelo de dados e da linguagem de consultas, o processamento de consultas temporais apresenta o seguinte conjunto de problemas [BM94]:

✓o volume de dados armazenados em um banco de dados temporal é de uma ordem de grandeza bastante superior ao volume de dados de um banco de dados convencional. Conforme Medeiros e Jomier [MJ93], este problema requer indexação especial e técnicas de *bufferização*. Isto é agravado pela introdução do **elemento tempo**, não considerado em bancos de dados convencionais, o que torna a análise de eventos passados ou futuros muito difícil ou em alguns casos impossível.

✓ os métodos convencionais de indexação só podem ser aplicados para valores sobre os quais pode ser executado algum tipo de ordenação. Valores do tipo intervalos, por exemplo, não suportam ordenação completa;

✓ a manipulação de informações incompletas, como por exemplo valores de objetos desconhecidos ou inexistentes e a indeterminação temporal.

Um outro problema consiste na integração dos dados ao longo do tempo. Os dados geo-referenciados podem ser coletados em diferentes períodos de tempo, criando, desta forma, outro tipo de inconsistência, desta feita a evolução temporal das entidades geo-referenciadas. Assim, se o

mapeamento de uma região durar diversos meses (ou anos), as modificações que ocorrerem devem ser levadas em consideração.

Ainda um outro problema é a diferença em escalas de tempo. Alguns fenômenos, como por exemplo, variação da cobertura vegetal, salinidade de um solo e potencial hídrico superficial dentre outros, variam de acordo com um ciclo sazonal. Outros, no entanto, podem variar continuamente, como a temperatura, o crescimento de espécies vegetais, o grau de maturação de um fruto, etc. Logo, consultas que consideram a evolução de fenômenos georeferenciados de uma dada região devem levar em consideração esses aspectos.

Deve-se observar também que, a evolução das propriedades de um objeto geográfico não é uniforme. Um exemplo disso, é o processo de queimada sofrido por uma região que, em poucos dias, mudou o estado da sua cobertura vegetal, ao passo que as regiões não afetadas sofreram mudanças suaves ao longo dos anos. Ou seja, a velocidade com que as mudanças ocorrem pode variar significativamente entre as regiões. Além disso, a velocidade de mudanças em uma mesma região também pode variar. Por exemplo, a região devastada pelo fogo pode levar anos para recuperar suas características originais [MJ94].

Basicamente, as consultas podem ser espaciais, temporais ou espaço-temporais:

✓**Espaciais:** buscam relações espaciais entre objetos em um tempo fixo, por exemplo "Selecione todas as benfeitorias distantes até 10Km da fazenda X".

✓**Temporais:** varrem os estados de um único objeto (ou classe) ao longo do tempo. Por exemplo "Selecione as estradas estaduais com extensão inferior a 300 Km na região Nordeste, que foram construídas antes de 1970"

✓ **Espaço-temporais:** buscam relações espaciais ao longo do tempo. Por exemplo: "Selecione as estradas vicinais que foram construídas no período entre 1970 e 1980 na região do Cariri"

A maioria das propostas encontradas na literatura para linguagem de consulta temporal estendem uma linguagem de consulta atemporal definindo cláusulas específicas para descrever o predicado temporal. Tais cláusulas contêm operadores temporais que retornam valores *booleanos* e/ou valores de tempo. A mais conhecida dentre as linguagens de consulta temporal propostas para o modelo relacional é a *Tquel* [Sno92].

A partir da análise dos tipos de consultas apresentados ao longo desta seção, podemos observar que o TMGeo deverá ser capaz de responder aos seguintes tipos de consultas:

- ✓ Consulta Temporal Simples;
- ✓ Consulta Temporal de Intervalo;
- ✓ Consulta Espaço-Temporal Simples;
- ✓ Consulta Espaço-Temporal de Intervalo.

que incorporam basicamente todas as possibilidades de consulta espaço-temporal.

O modelo MGeo, precursor do MGeo+, dispõe de uma linguagem de consulta espacial, a LinGeo [Nas95]. No entanto, para o TMGeo seria necessário a extensão da LinGeo de modo a incluir as consultas temporais e espaço-temporais.

# Capítulo 6

## Conclusões

Neste capítulo serão retomados alguns aspectos discutidos ao longo do texto, de modo a possibilitar uma avaliação da relevância deste trabalho no contexto de modelos espaço-temporais, e apresentar algumas sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros.

### 6.1 Revendo os Objetivos do Trabalho

A revisão bibliográfica na área de banco de dados espaciais, evidenciou a necessidade de um tratamento temporal para os dados espaciais. A partir desta constatação, a inclusão de aspectos temporais no MGeo+ passou a constituir um outro objetivo deste trabalho.

#### 6.1.1 Validação do MGeo+

Neste trabalho, buscou-se validar o modelo MGeo+ a partir de um estudo de caso real onde observou-se sua adequação à modelagem de dados de recursos naturais. Optou-se por esta aplicação na área de recursos naturais devido à grande disponibilidade de dados existentes no LMRS/PB. O objetivo foi

verificar se o modelo MGeo+ incorporava todas as condições impostas pelos requisitos da aplicação.

Como já foi mencionado no capítulo 3, durante o desenvolvimento do estudo de caso, uma das conclusões tiradas foi a necessidade do refinamento do suporte proposto pelo modelo ao entendimento da realidade geográfica. Este refinamento deveria ocorrer a nível dos atributos das classes propostas no modelo, de modo a explicitar a inclusão de informações quantitativas (a exemplo de valores de variáveis físicas tais como: pluviosidade, vazão de poços, salinidade, população, etc.) na classe Representação Descritiva, indispensáveis à representação do mundo real.

Por outro lado, o objetivo do MGeo+ de uniformizar a metodologia para a visualização do espaço geográfico foi atingido, a partir da inclusão de aspectos cartográficos.

A experiência do estudo de caso enfatizou a necessidade de uma descrição mais detalhada das classes do modelo, assim como de regras para guiar o projetista durante o processo de mapeamento. Embora esta dificuldade seja, em grande parte, inerente à natureza dos dados geográficos, exemplos concretos da aplicação do modelo facilitariam a sua utilização. Uma outra dificuldade enfrentada resultou da interdisciplinaridade envolvida no processo de obtenção dos dados para a validação do modelo, porém esta é uma dificuldade comum aos desenvolvedores de SIG.

Concluimos contudo, que apesar das dificuldades citadas, o MGeo+ atendeu de forma satisfatória à modelagem do estudo de caso, evidenciando sua capacidade de modelar aplicações deste tipo.

### 6.1.2 Temporalização do MGeo+

Segundo Medeiros e Jomier [MJ93] e Botelho [Bot95], o tratamento do tempo é uma característica extremamente desejável em Banco de Dados Geográfico. Qualquer entidade geográfica ocupa um espaço físico definido pela sua geometria e um intervalo temporal definido pela sua existência no mundo real [Bot95]. Um exemplo de uma entidade geográfica cuja representação espacial é dinâmica, é aquela onde variações nos seus limites são observadas, a exemplo de áreas desmatadas para a construções na selva amazônica.

Na temporalização do MGeo+, os aspectos temporais se basearam na conceituação dos modelos temporais orientados a objeto TOM - *Temporal Object Model* [Schi91] e o TOODM - *Temporal Object Oriented Data Model* [OM93].

A consideração do tempo para uma entidade geográfica no MGeo+ é feita através de suas propriedades dinâmicas que repercutem sobre as descrições descritivas, simbólicas e espaciais.

## 6.2 Considerações Finais

Acredita-se que este trabalho tenha contribuído para a modelagem de dados geográficos nos seguintes aspectos:

- ✓ validação do MGeo+, a partir de um estudo de caso de uma aplicação real;
- ✓ identificação e discussão de problemas inerentes à incorporação do conceito de tempo;
- ✓ revisão bibliográfica dos principais modelos espaço-temporais descritos na literatura;

✓ incorporação dos aspectos temporais no modelo MGeo+.

Com o propósito de avaliar a inserção do TMGeo no contexto dos modelos temporais e espaço-temporais apresenta-se a seguir o seguinte quadro:

Modelos de Dados	Orientado a Objeto	Vetorial	Raster	Temporal	Hierárquico	Multiníveis	Linguagem de Consulta
POLYVRT		•			•		?
IFO	•	•					?
Mod. de Obj. Genéricos	•	•					?
Quadtree			•		•		?
Alves	•	•	•				?
Vaster		•	•				?
SPRING		•	•			•	•
MGeo+	•	•	•				
TOM	•			•			•
TOODM	•			•			•
TMGeo	•	•	•	•			

Tabela 6.1 - Modelo de Dados

De acordo com os requisitos propostos por Pires e Medeiros [PM96] para robustez e versatilidade de um modelo de dados, o modelo TMGeo atende à: conceituação de orientação a objetos, capacidade de expressar o tempo e a capacidade de expressar relacionamentos espaciais, necessitando apenas de um mecanismo para especificação e validação de regras.

Do ponto de vista da capacidade de responder consultas espaço-temporais, o TMGeo será capaz de responder aos tipos de consultas: Temporal Simples, Temporal de Intervalo, Espaço-Temporal Simples e Espaço-Temporal de Intervalo.

## 6.2 Trabalhos Futuros

Embora considerando que os objetivos do trabalho tenham sido atingidos, algumas lacunas ainda precisam ser preenchidas. Neste contexto, duas sugestões de continuidade podem ser dadas, são elas:

- ✓ Implementação e consolidação da proposta de extensão do TMGeo;
- ✓ Desenvolvimento de uma linguagem de consulta para o TMGeo.

Assim, espera-se que se tenha contribuído para resolver a grande dificuldade dos SIG convencionais em responder a consultas deste tipo, embora reconheça-se a complexidade do assunto e a necessidade de pesquisas mais aprofundadas.

## Referências Bibliográficas

- [Alv90] D. S. Alves. Modelos de dados para sistemas de informação geográfica. Tese de doutorado. Universidade de São Paulo, 1990.
- [AS93] Eduardo D. Assad e E. E. Sano; ed. Sistema de Informações Geográficas: aplicações na agricultura. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1993.
- [ASP83] Manual of Remote Sensing. vol. 1. Theory, Instruments, and Techniques. Published by the American Society of Photogrammetry. Falls Church, Virginia, 1983.
- [Bar83] Alfredo Melhem Baruqui. Comentários sobre a descrição e resultados analíticos de um perfil do solo. Informe Agropecuário, vol. 9. p. 33-43. Belo Horizonte, 1983.
- [BGL+91] A. Beller, T. Giblin, K. V. Le, S. Litz, T. Kittel and D. Schimel. A temporal GIS prototype for global change research. Proceedings: GIS/LIS'91, 2:752-765.
- [BM94] Ângelo R. A. Brayner e Cláudia B. Medeiros. Incorporação de tempo em um SGBD orientado a objetos. *Anais do IX Simpósio Brasileiro de Banco de Dados*, São Carlos, setembro 1994, p. 16-29.
- [Bot95] Marcio A. Botelho. Incorporação de facilidades espaço-temporais em banco de dados orientado a objetos. Dissertação de Mestrado, UNICAMP, Campinas, dezembro, 1995.

- [Cam93] Gilberto Câmara. Anatomia de sistemas de informação geográfica: visão atual e perspectivas de evolução. Em Anais, II Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento, São Paulo, 1993, USP.
- [Can95] Jonathan Thomas Candy. Development of a prototype temporal geographic information system. Master's thesis, Simon Fraser University, Sussex. November 1995.
- [CC92] Gilberto Câmara and M. A. Casanova. Spring: Processamento de Imagens e Dados Georeferenciados. Anais do V Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens, pages 233-242, 1992.
- [CHM92] Gilberto Câmara, A. S. Hemerly, M. Mediano; Geoprocessamento: fundamentos e aplicações. 1992.
- [CP93] Gilberto Câmara and J. A. C. Paiva. Spring: Concepção, evolução, perspectvas. *VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Curitiba, 1993.
- [CS91] Gilberto Câmara and R. Souza. Geoprocessamento orientado a objetos. Anais do IV Simpósio Brasileiro de Computação Gráfica e Processamento de Imagens, pages 249-253, 1991.
- [CT95] M. Casanova, Cláudia de A. Tocantins - Armazenamento distribuído de mapas vetoriais em sistemas de geoprocessamento. Em Anais, X Simpósio Brasileiro de Banco de Dados, Recife, Outubro 1995.
- [Dav92] Marcos B. David. Descrição formal da estrutura do modelo orientado a objetos temporal - TOM (Temporal Object Model). Dissertação de Mestrado, UFPB, Campina Grande, 1992.

- [DB94] Clodoveu Augusto Davis Jr., Karla Albuquerque de Vasconcelos Borges. GIS orientado a objetos na prática. In Anais, Gis Brasil 94. Curitiba, outubro 1994. P. 18 - 28.
- [FAE92] A. R. Formaggio, D. S. Alves, J. C. N Epiphanyo. Sistemas de informações geográficas na obtenção de mapas de aptidão agrícola e de taxa de adequação de uso das terras. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, V. 16, p.249-256, 1992.
- [Fer95] Sônia Leila Fernandes. ContOM- um sistema de consultas gráficas a um banco de dados orientado a objetos temporal. Dissertação de mestrado, UFPB - Campina Grande, 1995.
- [Fer96] Maria de F. Fernandes, Estudo Integrado dos Recursos Naturais Renováveis em parte da bacia do rio Seridó - setor leste, a partir de técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento para Identificação da Aptidão Agrícola das Terras. Relatório Técnico do LMRS-PB, Março 96, 110p.
- [FIP80] FIPLAN - SUBIN - UFPB/CCA - CEDEP. Potencial de irrigação e oportunidades agroindustriais no Estado da Paraíba. Recursos Naturais . Vol 1. João Pessoa - PB. 1980.
- [FM91] A. U. Frank and D. M. Mark. Language issues for GIS. In M. F. Maguire, D. J. Goodchild and D. W. Rhind, editors, Geographical Information Systems: principles and application, vol 1, pages 147-163. Longman, London, 1991.
- [Fra92] Andrew U. Frank . Spatial concepts, geometric data models and geometric data structures. *Computers & Geosciences*, 18(4): 409-417, 1992.

- [FSC+94] U. M. Freitas, R. C. M. Souza, M. A. Casanova, A. S. Hemerly, C. B. Medeiros, G. Camara. A model to cultivate objects and manipulate fields. 1994.
- [Goo91] Michael Goodchild. Integrating GIS and environmental modelling at global scales. In Proc. GIS/Lis 91, vol. 1, pages 117-127, 1991
- [Goo92] Michael Goodchild. Geographical data modelling. *Computer & Geosciences*, 1992, Vol. 18, pp. 401-408.
- [Her92] John Herring. Tigris: a data model for an object-oriented GIS. *Computer & Geosciences*, vol. 18, 1992.
- [IDR90] IDRISI - User's Guide, The IDRISI Project, Clark University. Worcester - MA. 1990.
- [KT92] Z. Kemp and R. Thearle. Modeling relationships in spatial database. In Proc. 5th International Symposium on Spatial Data Handling. vol1 pages 313-322, 1992.
- [Kub84] Sachio Kubo. Alis: a geographical information system for urban research. *IEEE Computer Graphic & Application*, pages 68-76, May 1984.
- [Lan93] G. Langran. Time in geographic information systems. Taylor & Francis. Bristol, Pensilvania, USA, 1993.
- [Lar83] Jorge O. I. Larach. Usos de levantamento de solos. Informe Agropecuário, vol. 9. p. 26-36. Belo Horizonte, 1983.
- [LC88] G. Langran, N. R. Chrisman. A framework for temporal geographic information cartographica, 1988.

- [LK87] T. M. Lillesand, R. W. Kiefer. Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley & sons, Inc.. New York, 1987.
- [LS82] Raimundo C. de Lemos, Raphael D. dos Santos. Manual de Método de Trabalho de Campo, Campinas - SP, 1982.
- [MB96] Cláudia Bauzer medeiros e Márcio A. Botelho. Aspectos Temporais em SIG. In Anais Gis Brasil 96. Curitiba, maio, 1996.
- [Men81] Francisco J. Mendonça. Sensoriamento remoto aplicado à agricultura: princípios básicos, metodologia e aplicações. São José dos Campos - SP, INPE, 1981. 81p.
- [MJ93] Cláudia Bauzer Medeiros and Geneviève Jomier. Managing alternatives and data evolution in GIS. In *ACM/ISCA Workshop on advances geographic information systems*, Baltimore, USA, November 1993.
- [MJ94] Cláudia Bauzer Medeiros and Geneviève Jomier. Using versions in GIS. In *proc ACM SIGMOD Record*, 1(23):107-115, March 1994.
- [MP93] Cláudia Bauzer Medeiros e Fátima Pires - Uma metodologia para projeto de sistemas de informação geográfica. Em Anais, VII Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software, Rio, Outubro 1993.
- [Nas95] Adriana M. R. do Nascimento. LinGeo - uma linguagem de consulta geográfica. Dissertação de mestrado, Departamento de Informática - UFPE, Recife, dezembro 1995.
- [Nov89] E. M. L. M. Novo. Sensoriamento Remoto - Princípios e aplicações, Editora Edgard Blücher Ltda., São Paulo, 1989.

- [OM93] Lincon Cesar M. Oliveira e Cláudia Bauzer Medeiros. Managing time in object-oriented database. Relatório Técnico da UNICAMP. Julho 1993.
- [Ooi90] Chin Ben Ooi. *Efficient Query Processing in Geographic Information Systems*, Lecture Notes in Computer Science volume 471. Spring-Verlage, 1990., Berlin.
- [PD95] Donna J. Peuquet and N. Duan. An event-based spatio-temporal data model (ESTDM) for temporal analysis of geographical data. *International Journal of Geographical Information Systems*, 9(1): 7-24, 1995.
- [Peu84] Donna J. Peuquet. A conceptual framework and comparison of spatial data models. *Cartographic*, 21(4): 66-113, 1984.
- [Peu94] Donna J. Peuquet. It's about time: a conceptual framework for the representation of temporal dynamics in geographic information systems. *Annals of the Association of American Geographers*, 84(3): 441-462, 1994.
- [Pim95] Flávio Leal Pimentel. Uma proposta de modelagem conceitual para dados geográficos: o modelo MGEO+. Dissertação de mestrado, Departamento de Informática - UFPE, Recife, outubro 1995.
- [PM96] Fátima Pires e Cláudia Bauzer Medeiros. Um ambiente computacional de modelagem de aplicações geográficas. Documento on-line capturado do endereço <http://www.dcc.unicamp.br>
- [Pra93] Hélio do Prado. Manual de classificação de solos do Brasil. Jaboticabal, FUNEP. 1993.

- [Que96] José Eustáquio Rangel de Queiroz. Fundamentos de sistemas de informação geográfica. Curso de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica - Módulo 9. Brasília, 1996.
- [Ram94] A. Ramalho Filho, K. J. Beek - Sistema de avaliação da aptidão agrícola das terras. 3ª ed. rev. - Rio de Janeiro: EMBRAPA - CNPS, 1994. VIII + 65 p.
- [RBP+91] J. Rumbaugh, M. Blaha, W. Premerlani, F. Eddy and W. Lorensen. *Object-Oriented Modeling and Design*. Prentice-Hall International Editions, 1991.
- [RL95] J. Rapper and D. Livinstone. Development of a geomorfological spatial model using object-oriented design. *International Journal of Geographical Information Systems*, 9(4):359-384.
- [RM92] J. F. Rafter and D. J. Maguire. Design models and functionality in gis. *Computer & Geosciences*, 18(4):387-394, 1992.
- [Rom90] Gruia-Catalin Roman. Formal specification of geographic data processing requirements. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 2(4), December 1990.
- [Ros90] R. A. Rosa. Utilização de imagens TM/LANDSAT em levantamento de uso do solo. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 6., 1990. Manaus. Anais Manaus: INPE/SELP/ISPRS/SBC, 1990. v.2, p. 419-425.
- [RR83] Mauro Resende e Sérvulo B. Rezende - Levantamento de solos: uma estratificação de ambientes. Informe Agropecuário, vol. 9. p. 3-25. Belo Horizonte, 1983.

- [Sam90] Hanan Samet. The design and analysis of spatial data structures. Addison-Wesley, 1990.
- [SAO93] Edson E. Sano, Eduardo E. Assad, Álvaro L. Orioli. ed. Sistema de Informações Geográficas: aplicações na agricultura. p. 157-170. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1993.
- [Sch91] Ulrich Schiel. An Open Enviroment for Objects with Time and Versioning. In Proceedings EastEurOOpe, Bratislava, 1991, p. 116-125.
- [Sno92] T. R. Snodgrass. Temporal databases. Department of Computer Science, University of Arizona, Tucson, AZ, 1992.
- [SE90] Jeffrey Star and John Estes. Geographic information systems: an introduction. Prentice Hall, Inc. 1990.
- [Sil95] Sônia Leila F. Silva. O modelo temporal de objetos TOM. Relatório Técnico do Departamento de Ciências da Computação. Outubro 1995. 78 páginas.
- [Smi94] T. R. Smith. On the integration of database systems and computational support for high-level modelling of spatio-temporal phenomena. In M. F. Worboys ed. Innovations in GIS (Bristol, PA: Taylor & Francis) pp. 11-24.
- [SSA+93] T. R. Smith, J. Su, D. Agrawal, A. El Abbadi. Database and modelling systems for the earthsciences. IEEE (6) (Spatial Issue on Scientific Databases).
- [Ste67] J. G. Steele. Soil survey interpretation and its use. Roma, FAO, 1967, 68 p. (Soil Bulletin, 8). In:LEPSCH, I. F., R. et al. Manual para o levantamento utilitário do meio físico e classificação da terra no sistema de capacidade de uso. 4ª

- aproximação, 2ª impr. rev., Campinas. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1991. 175 p.
- [Tim94] Valéria C. Times. Mgeo: um modelo orientado a objetos para aplicações geográficas. Dissertação de Mestrado, Departamento de Informática - UFPE, 1994.
- [TSL+79] A. T. Tardin, A. P. Santos, D. C. L. Lee, F. C. S. Maia - Levantamento de áreas de desmatamento da Amazônia Legal através de imagens de satélite LANDSAT. São José dos Campos, INPE, 1979. 10p
- [USGS84] United States Geological Survey / National Oceanic and Atmospheric Administration, "LANDSAT - 4 Data Users Handbook", Alexandria, U.S.A. 1984.
- [WHM90] M. Worboys, H. Hearnshaw and D. Maguire. Object-oriented data modelling for spatial databases. *International Journal of Geographical Information Systems*, vol. 4, 1990.
- [Wor92] M. Worboys. A generic model for planar geographic objects. *Int. Journal Geographical Systems*, 6(5):353-372, 1992.
- [Wor?] Michael Worboys. Putting time into GIS.
- [Yua?] M. Yuan. Temporal GIS and spatio-temporal modeling.
- [Yua95] M. Yuan. Modeling semantical, temporal, and spatial information in geographic information systems. Under review for inclusion in *Progress in Trans-Atlantic Geographic Information Research*, First ESF-GISDATA and NSF-NCGIA Summer Institute in Geographic Information. Taylor & Francis, Bristol, PA.

## Anexo I

Esta seção tem por objetivo a descrição sucinta de cada um dos atributos que constituem as principais classes do MGEO+ . Maiores detalhes, além da descrição detalhada destes atributos podem ser encontrados em [Pim95].

### BD\_GEO

*identificador*: é o identificador primário da classe e cumpre o papel de chave primária;  
*modelo de representação*: conjunto de modelos de representação que formam esta classe.

### MODELO DE REPRESENTAÇÃO

*rótulo*: nome associado ao modelo de representação e que servirá de chave primária;  
*cartografia*: informações cartográficas necessárias definidas na classe Cartografia;  
*planos*: planos de informação pertencentes ao modelo de representação em estudo;  
*contexto espacial*: associação a um contexto espacial que fornecerá mais semântica ao georeferenciamento das informações armazenadas;

### PLANO DE INFORMAÇÃO

*rótulo*: o rótulo associado ao plano, e que servirá de chave primária à sua identificação;  
*cartografia*: as informações cartográficas adicionais particulares de cada plano como escala e região de estudo;  
*entidades geográficas*: as entidades geográficas associadas a um determinado plano;  
*propriedades*: as propriedades das entidades geográficas associadas, e que estão dentro do contexto do plano em análise;  
*contexto espacial*: o contexto espacial associado ao plano de informação.

## ENTIDADE GEOGRÁFICA

*rótulo*: um rótulo que identifica a entidade dentro do modelo de representação e do plano de informação à qual está associada;

*auto-composição*: as entidades geográficas que agrupadas formam a entidade mais complexa;

*propriedades*: as propriedades características da entidade, apresentada através de sua estrutura espacial, descritiva e simbólica;

*contexto espacial*: o contexto espacial associado à entidade geográfica.

## PROPRIEDADES

*rótulo*: caracteriza a propriedade;

*representação descritiva*: corresponde ao conjunto de informações descritivas associadas a uma propriedade;

*representação espacial*: representa a distribuição espacial das informações;

*representação simbólica*: compreende o conjunto de simbologias associadas aos elementos da propriedade;

*método de representação*: indica qual a abordagem representativa característica da informação armazenada na propriedade. São permitidas as abordagens baseadas em campos e objetos;

*entidade geográfica*: corresponde a relação ternária existente entre Plano de Informação, Entidade Geográfica e Propriedade.

## REPRESENTAÇÃO ESPACIAL

*identificador*: é o atributo que exerce o papel explícito de chave primária do objeto;

*elementos contínuos*: representa o conjunto de elementos contínuos associados a essa representação;

*elementos discretos*: representa o conjunto de elementos discretos associados a essa representação;

*representação descritiva*: representa o conjunto de representações descritivas associadas a uma determinada representação espacial;

*representação simbólica*: de forma similar ao atributo anterior, este se refere às representações simbólicas associadas.

## REPRESENTAÇÃO DESCRITIVA

*identificados*: tem a função de chave primária do objeto, identificando-o no sistema;

*informações elementares*: informações elementares associadas ao elemento espacial;

*símbolos*: compreendem os símbolos cartográficos ou pictóricos associados a um elemento espacial.

## REPRESENTAÇÃO SIMBÓLICA

*identificador*: exerce o papel de chave primária do objeto;  
*representações espaciais*: corresponde ao conjunto de representações espaciais associadas a uma representação descritiva;  
*informações elementares*: corresponde ao conjunto de informações elementares que se agregam à representação descritiva.

## INFORMAÇÃO ELEMENTAR

*identificador*: exerce o papel de chave primária do objeto;  
*informação descritiva*: representa a informação descritiva em si;  
*elementos espaciais*: é o que estabelece o relacionamento existente entre a informação elementar e diversos elementos espaciais.

## ELEMENTO ESPACIAL

*identificador*: exerce o papel de chave primária da instância da classe;  
*representações espaciais*: corresponde ao conjunto de representações espaciais associadas a uma representação simbólica;  
*símbolo*: constitui o conjunto de símbolos, que agregados formam a representação simbólica.

## SÍMBOLO

*identificador*: caracteriza o objeto no sistema em relação a outros símbolos;  
*altura e largura*: corresponde ao dimensionamento dos símbolos;  
*elementos espaciais*: representa o conjunto de elementos espaciais associados a um determinado símbolo.