



# **CAPITULO 1 - NOÇÕES BÁSICAS DE GEOPROCESSAMENTO E MODELAGEM DE DADOS EM GIS.**

1.1 – INTRODUÇÃO - POR QUE GEOPROCESSAMENTO ? .....	2
1.2 - BREVE HISTÓRICO DO GEOPROCESSAMENTO.....	3
1.2.1 - EVOLUÇÃO INTERNACIONAL .....	3
1.2.2 - DESENVOLVIMENTOS NO BRASIL.....	4
1.3 – DADOS ESPACIAIS .....	5
1.3.1 - ESPAÇO GEOGRÁFICO E INFORMAÇÃO ESPACIAL.....	6
1.3.2 - RELAÇÕES ESPACIAIS ENTRE FENÔMENOS GEOGRÁFICOS.....	6
1.4 – ESTRUTURA DE UM GIS.....	7
1.4.1 - COMPONENTES DE UM GIS .....	8
1.4.2 - DIFERENÇAS ENTRE GIS e CAD.....	9
1.5 – MODELAGEM DE DADOS GEOGRÁFICOS.....	9
1.5.1 - O UNIVERSO DO MUNDO REAL.....	10
1.5.2 - O UNIVERSO CONCEITUAL.....	15
Região Geográfica.....	16
Geo-Campos .....	16
Geo-Objeto.....	17
Objeto Não-Espacial .....	18
Plano de Informação .....	18
Banco de Dados Geográficos .....	19
1.5.3 – UNIVERSO DE REPRESENTAÇÃO.....	20
REPRESENTAÇÃO MATRICIAL .....	20
REPRESENTAÇÃO VETORIAL .....	22
COMPARAÇÃO ENTRE REPRESENTAÇÕES MATRICIAL E VETORIAL.....	26
REPRESENTAÇÕES DE MODELOS NUMÉRICOS DE TERRENO .....	27
REPRESENTAÇÕES COMPUTACIONAIS DE ATRIBUTOS DE OBJETOS .....	28
1.5.4 – UNIVERSO DE IMPLEMENTAÇÃO.....	29
1.5.5 - RESUMO .....	30
1.6 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	31

## 1.1 – Introdução - Por que Geoprocessamento?

A coleta de informações sobre a distribuição geográfica de recursos minerais, propriedades, animais e plantas sempre foi uma parte importante das atividades das sociedades organizadas. Até recentemente, no entanto, isto era feito apenas em documentos e mapas em papel; isto impedia uma análise que combinasse diversos mapas e dados. Com o desenvolvimento simultâneo, na segunda metade deste século, da tecnologia de Informática, tornou-se possível armazenar e representar tais informações em ambiente computacional, abrindo espaço para o aparecimento do Geoprocessamento.

Nesse contexto, o termo **Geoprocessamento** denota a **disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica** e que vem influenciando de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transportes, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional. As ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas de **Sistemas de Informação Geográfica (SIG<sup>1</sup>)**, permitem realizar **análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados geo-referenciados**. Tornam ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos.

Pode-se dizer, de forma genérica, “*Se **onde** é importante para seu negócio, então Geoprocessamento é sua ferramenta de trabalho*”. Sempre que o **onde** aparece, dentre as questões e problemas que precisam ser resolvidos por um sistema informatizado, haverá uma oportunidade para considerar a adoção de um GIS.

Devido a sua ampla gama de aplicações, que inclui temas como agricultura, floresta, cartografia, cadastro urbano e redes de concessionárias (água, energia e telefonia), há pelo menos três grandes maneiras de utilizar um GIS:

- como ferramenta para **produção de mapas** - geração e visualização de dados espaciais;
- como suporte para **análise espacial** de fenômenos - Combinação de informações espaciais;
- como um **banco de dados geográficos** - com funções de armazenamento e recuperação de informação espacial.

Estas três visões do GIS são antes convergentes que conflitantes e refletem a importância relativa do tratamento da informação geográfica dentro de uma instituição. Para esclarecer ainda mais o assunto, apresentamos mais a frente algumas definições de GIS.

Num país de dimensão continental como o Brasil, com uma grande carência de informações adequadas para a tomada de decisões sobre os problemas urbanos, rurais e ambientais, o Geoprocessamento apresenta um enorme potencial, principalmente se baseado em tecnologias de custo relativamente baixo, em que o conhecimento seja adquirido localmente.

---

<sup>1</sup> No decorrer deste texto, utilizaremos a sigla GIS (do inglês *Geographic Information System*) para nos referir aos sistemas de informação geográfica, pelo uso consagrado deste jargão em nosso meio.

## 1.2 - Breve Histórico do Geoprocessamento.

### 1.2.1 - EVOLUÇÃO INTERNACIONAL.

As primeiras tentativas de automatizar parte do processamento de dados com características espaciais aconteceram na Inglaterra e nos Estados Unidos, nos anos 50, com o objetivo principal de reduzir os custos de produção e manutenção de mapas. Dada a precariedade da informática na época, e a especificidade das aplicações desenvolvidas (pesquisa em botânica, na Inglaterra, e estudos de volume de tráfego, nos Estados Unidos), estes sistemas ainda não podem ser classificados como “sistemas de informação”.

Os primeiros Sistemas de Informação Geográfica surgiram na década de 60, no Canadá, como parte de um programa governamental para criar um inventário de recursos naturais. Estes sistemas, no entanto, eram muito difíceis de usar: não existiam monitores gráficos de alta resolução, os computadores necessários eram excessivamente caros, e a mão de obra tinha que ser altamente especializada e caríssima. Não existiam soluções comerciais prontas para uso, e cada interessado precisava desenvolver seus próprios programas, o que demandava muito tempo e, naturalmente, muito dinheiro.

Além disto, a capacidade de armazenamento e a velocidade de processamento eram muito baixas. Ao longo dos anos 70 foram desenvolvidos novos e mais acessíveis recursos de hardware, tornando viável o desenvolvimento de sistemas comerciais. Foi então que a expressão **Geographic Information System** foi criada. Foi também nesta época que começaram a surgir os primeiros sistemas comerciais de **CAD** (Computer Aided Design, ou projeto assistido por computador), que melhoraram em muito as condições para a produção de desenhos e plantas para engenharia, e serviram de base para os primeiros sistemas de cartografia automatizada. Também nos anos 70 foram desenvolvidos alguns fundamentos matemáticos voltados para a cartografia, incluindo questões de geometria computacional. No entanto, devido aos custos e ao fato destes proto-sistemas ainda utilizarem exclusivamente computadores de grande porte, apenas grandes organizações tinham acesso à tecnologia.

A década de 80 representa o momento quando a tecnologia de sistemas de informação geográfica inicia um período de acelerado crescimento que dura até os dias de hoje. Até então limitados pelo alto custo do hardware e pela pouca quantidade de pesquisa específica sobre o tema, os GIS se beneficiaram grandemente da massificação causada pelos avanços da microinformática e do estabelecimento de centros de estudos sobre o assunto. Nos EUA, a criação dos centros de pesquisa que formam o NCGIA - National Centre for Geographical Information and Analysis (NCGIA, 1989) marca o estabelecimento do Geoprocessamento como disciplina científica independente.

No decorrer dos anos 80, com a grande popularização e barateamento das estações de trabalho gráficas, além do surgimento e evolução dos computadores pessoais e dos sistemas gerenciadores de bancos de dados relacionais, ocorreu uma grande difusão do uso de GIS. A incorporação de muitas funções de análise espacial proporcionou também um alargamento do leque de aplicações de GIS. Na década atual, observa-se um grande crescimento do ritmo de penetração do GIS nas organizações, sempre alavancado pelos custos decrescentes do hardware e do software, e também pelo surgimento de alternativas menos custosas para a construção de bases de dados geográficas.

### 1.2.2 - DESENVOLVIMENTOS NO BRASIL.

A introdução do Geoprocessamento no Brasil inicia-se a partir do esforço de divulgação e formação de pessoal feito pelo prof. Jorge Xavier da Silva (UFRJ), no início dos anos 80. A vinda ao Brasil, em 1982, do Dr. Roger Tomlinson, responsável pela criação do primeiro GIS (o Canadian Geographical Information System), incentivou o aparecimento de vários grupos interessados em desenvolver tecnologia, entre os quais podemos citar:

- UFRJ: O grupo do Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geografia da UFRJ, sob a orientação do professor Jorge Xavier, desenvolveu o SAGA (Sistema de Análise Geo-Ambiental). O SAGA tem seu forte na capacidade de análise geográfica e vem sendo utilizado com sucesso como veículo de estudos e pesquisas.
- MaxiDATA: os então responsáveis pelo setor de informática da empresa de aerolevantamento AeroSul criaram, em meados dos anos 80, um sistema para automatização de processos cartográficos. Posteriormente, constituíram empresa MaxiDATA e lançaram o MaxiCAD, software largamente utilizado no Brasil, principalmente em aplicações de Mapeamento por Computador. Mais recentemente, o produto dbMapa permitiu a junção de bancos de dados relacionais a arquivos gráficos MaxiCAD, produzindo uma solução para "desktop mapping" para aplicações cadastrais.
- CPqD/TELEBRÁS: O Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da TELEBRÁS iniciou, em 1990, o desenvolvimento do SAGRE (Sistema Automatizado de Gerência da Rede Externa), uma extensiva aplicação de Geoprocessamento no setor de telefonia. Construído com base num ambiente de um GIS (VISION) com um banco de dados cliente-servidor (ORACLE), o SAGRE envolveu um significativo desenvolvimento e personalização de software.
- INPE: Em 1984, o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) estabeleceu um grupo específico para o desenvolvimento de tecnologia de geoprocessamento e sensoriamento remoto (a Divisão de Processamento de Imagens - DPI). De 1984 a 1990 a DPI desenvolveu o SITIM (Sistema de Tratamento de Imagens) e o SGI (Sistema de Informações Geográficas), para ambiente PC/DOS, e, a partir de 1991, o SPRING (Sistema para Processamento de Informações Geográficas), para ambientes UNIX e MS/Windows.

O SITIM/SGI foi suporte de um conjunto significativo de projetos ambientais, podendo-se citar: (a) o levantamento dos remanescentes da Mata Atlântica Brasileira (cerca de 100 cartas), desenvolvido pela IMAGEM Sensoriamento Remoto, sob contrato do SOS Mata Atlântica; (b) a cartografia fito-ecológica de Fernando de Noronha, realizada pelo NMA/EMBRAPA; (c) o mapeamento das áreas de risco para plantio para toda a Região Sul do Brasil, para as culturas de milho, trigo e soja, realizado pelo CPAC/EMBRAPA; (d) o estudo das características geológicas da bacia do Recôncavo, através da integração de dados geofísicos, altimétricos e de sensoriamento remoto, conduzido pelo CENPES/Petrobrás. Assad e Sano (1998) apresentam um conjunto significativo de resultados do SITIM/SGI na área agrícola.

O SPRING unifica o tratamento de imagens de Sensoriamento Remoto (ópticas e microondas), mapas temáticos, mapas cadastrais, redes e modelos numéricos de terreno. A partir de 1997, o SPRING passou a ser distribuído via Internet e pode ser obtido através do website <http://www.dpi.inpe.br/spring>.

## 1.3 – Dados Espaciais.

*O que há de especial com dados espaciais?* A partir desta pergunta, podemos procurar desvendar as particularidades dos dados geográficos.

Sem dúvidas a utilização de dados espaciais em um GIS está na capacidade destes sistemas em realizar análises. Alguns exemplos dos processos de análise espacial típicos de um GIS estão apresentados na tabela abaixo (adaptada de Maguire, 1991).

EXEMPLOS DE ANÁLISE ESPACIAL

Análise	Pergunta Geral	Exemplo
Condição	“O que está...”	“Qual a população desta cidade ?”
Localização	“Onde está...?”	“Quais as áreas com declividade acima de 20% ? “
Tendência	“O que mudou...?”	“Esta terra era produtiva há 5 anos atrás ? “
Roteamento	“Por onde ir.. ?”	“Qual o melhor caminho para o metrô ?”
Padrões	“Qual o padrão....?”	“Qual a distribuição da dengue em Fortaleza?”
Modelos	“O que acontece se...?”	“Qual o impacto no clima se desmatarmos a Amazônia ?”

Tomemos um exemplo concreto para explicitar os conceitos acima sobre análise espacial (neste caso realizada manualmente). Em 1854, Londres estava sofrendo uma grave epidemia de cólera, doença sobre a qual na época não se conhecia a forma de contaminação. Numa situação aonde já haviam ocorrido mais de 500 mortes, o doutor John Snow teve um “estalo”: colocar no mapa da cidade a localização dos doentes de cólera e dos poços de água (naquele tempo, a fonte principal de água dos habitantes da cidade). O mapa obtido está mostrado na Figura 1.1.

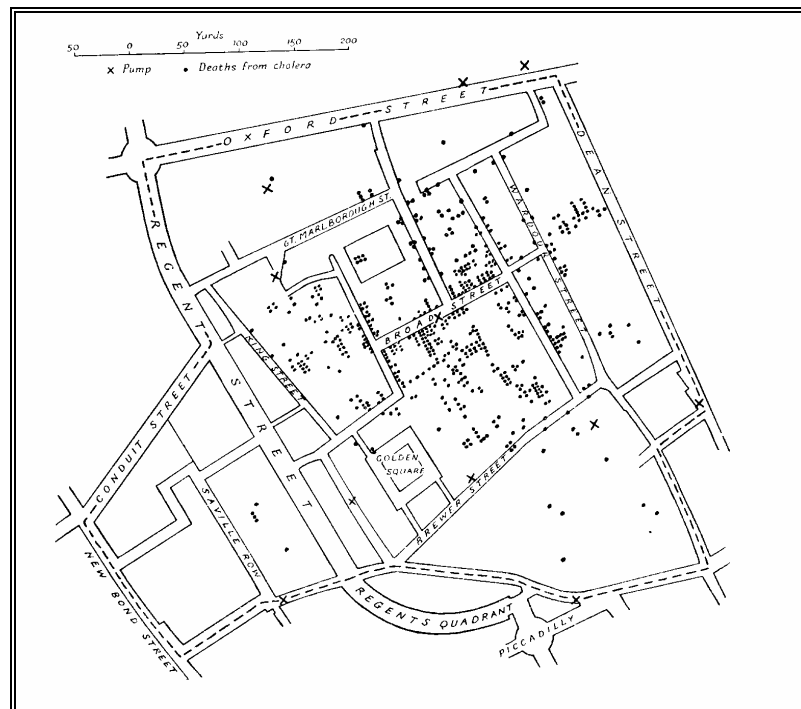


Figura 1.1 - Mapa de Londres com casos de cólera (pontos) e poços de água (cruzes) (adaptado de E. Tufte, 1983).

Com a espacialização dos dados, o doutor Snow percebeu que a maioria dos casos estava concentrada em torno do poço da “Broad Street” e ordenou a sua lacração, o que contribuiu em muito para debelar a epidemia. Este caso forneceu evidência empírica para a hipótese (depois comprovada) de que o cólera é transmitido por ingestão de água contaminada. Esta é uma situação típica onde a relação espacial entre os dados muito dificilmente seria inferida pela simples listagem dos casos de cólera e dos poços. O mapa do doutor Snow passou para a História como um dos primeiros exemplos que ilustra bem o poder explicativo da análise espacial.

### 1.3.1 - ESPAÇO GEOGRÁFICO E INFORMAÇÃO ESPACIAL.

A informação geográfica apresenta uma natureza dual: um dado geográfico possui uma **localização geográfica** (expressa como coordenadas em um espaço geográfico) e **atributos descritivos** (que podem ser representados num banco de dados convencional).

De forma intuitiva, pode-se definir o termo “**espaço geográfico**” como uma coleção de localizações na superfície da Terra, sobre a qual ocorrem os fenômenos geográficos. O espaço geográfico define-se, portanto, em função de suas coordenadas, sua altitude e sua posição relativa. Sendo um espaço localizável, o espaço geográfico é possível de ser cartografado (Dolfus, 1991).

A noção de informação espacial está relacionada à existência de objetos com propriedades, que incluem sua localização no espaço e sua relação com outros objetos. Estas relações incluem conceitos **topológicos** (vizinhança, pertinência), **métricos** (distância) e **direcionais** (“ao norte de”, “acima de”).

Deste modo, os conceitos de **espaço geográfico** (um locus absoluto, existente em si mesmo) e **informação espacial** (um locus relativo, dependente das relações entre objetos) são duas formas complementares de conceituar o objeto de estudo do Geoprocessamento. Estas formas irão levar à dualidade conceitual na modelagem espacial, onde a noção absoluta de espaço geográfico leva à idéia de conjuntos de campos geográficos e a noção relativa de informação espacial conduz à postulação da existência de conjuntos de objetos geo-referenciados (Worboys, 1995).

### 1.3.2 - RELAÇÕES ESPACIAIS ENTRE FENÔMENOS GEOGRÁFICOS.

Os diferentes fenômenos geográficos, ao se distribuir sobre a superfície da Terra, estabelecem padrões de ocupação. Ao representar tais fenômenos, o Geoprocessamento procura determinar e esquematizar os mecanismos implícitos e explícitos de inter-relação entre eles. Estes padrões de inter-relação podem assumir diferentes formas:

- **correlação espacial:** um fenômeno espacial (e.g. a topografia) está relacionado com o entorno de forma tão mais intensa, quanto maior for a proximidade de localização. Diz-se informalmente que “coisas próximas são parecidas”;
- **correlação temática** (de variáveis): as características de uma região geográfica são moldadas por um conjunto de fatores. Assim, o clima, as formações geológicas, o relevo, o solo, a vegetação formam uma totalidade interrelacionada. Deste modo, pode-se traçar pontos de correspondência entre o relevo e o solo ou o solo e a vegetação de uma região;
- **correlação temporal:** a fisionomia da Terra está em constante transformação, em ciclos variáveis para cada fenômeno. Cada paisagem ostenta as marcas de um passado mais ou menos remoto, apagado ou modificado de maneira desigual, mas sempre presente (Dolfus, 1991);



- **correlação topológica:** de particular importância na representação computacional, as relações topológicas como adjacência, pertinência e intersecção, permitem estabelecer os relacionamentos entre os objetos geográficos que são invariantes à rotação, à translação e à escala.

## 1.4 – Estrutura de um GIS.

O termo **Sistemas de Informação Geográfica (SIG)**, GIS neste texto, é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam informações não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também através de sua localização espacial; oferecem ao administrador (urbanista, planejador, engenheiro) uma visão inédita de seu ambiente de trabalho, em que todas as informações disponíveis sobre um determinado assunto estão ao seu alcance, interrelacionadas com base no que lhes é fundamentalmente comum -- a localização geográfica. Para que isto seja possível, a geometria e os atributos dos dados num GIS devem estar geo-referenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica.

O requisito de armazenar a geometria dos objetos geográficos e de seus atributos representa uma dualidade básica para SIGs. Para cada objeto geográfico, o GIS necessita armazenar seus atributos e as várias representações gráficas associadas. Para esclarecer ainda mais o assunto, apresentam-se a seguir algumas definições de GIS:

- **“Um conjunto manual ou computacional de procedimentos utilizados para armazenar e manipular dados geo-referenciados” (Aronoff, 1989);**
- **“Conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real” (Burrough, 1986);**
- **“Um sistema de suporte à decisão que integra dados referenciados espacialmente num ambiente de respostas a problemas” (Cowen, 1988);**
- **“Um banco de dados indexados espacialmente, sobre o qual opera um conjunto de procedimentos para responder a consultas sobre entidades espaciais” (Smith et al., 1987).**

Estas definições de GIS refletem, cada uma à sua maneira, a multiplicidade de usos e visões possíveis desta tecnologia e apontam para uma perspectiva interdisciplinar de sua utilização. A partir destes conceitos, é possível indicar as principais características de SIGs:

- Inserir e integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados censitários e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno;
- Oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados geo-referenciados.

### 1.4.1 - COMPONENTES DE UM GIS.

Numa visão abrangente, pode-se indicar que um GIS tem os seguintes componentes:

- Interface com usuário;
- Entrada e integração de dados;
- Funções de consulta e análise espacial;
- Visualização e plotagem;
- Armazenamento e recuperação de dados (organizados sob a forma de um banco de dados geográficos).

Estes componentes se relacionam de forma hierárquica. No nível mais próximo ao usuário, a interface homem-máquina define como o sistema é operado e controlado. No nível intermediário, um GIS deve ter mecanismos de processamento de dados espaciais (entrada, edição, análise, visualização e saída). No nível mais interno do sistema, um sistema de gerência de bancos de dados geográficos oferece armazenamento e recuperação dos dados espaciais e seus atributos.

De uma forma geral, as funções de processamento de um GIS operam sobre dados em uma área de trabalho em memória principal. A ligação entre os dados geográficos e as funções de processamento do GIS é feita por mecanismos de seleção e consulta que definem restrições sobre o conjunto de dados. Exemplos ilustrativos de modos de seleção de dados são:

- "Recupere os dados relativos à carta de Guajará-Mirim " (*restrição por definição de região de interesse*);
- "Recupere as cidades do Estado de São Paulo com população entre 100.000 e 500.000 habitantes" (*consulta por atributos não-espaciais*).
- "Mostre os postos de saúde num raio de 5 km do hospital municipal de S.J.Campos" (*consulta com restrições espaciais*).

A Figura 1.2 indica o relacionamento dos principais componentes ou subsistemas de um GIS. Cada sistema, em função de seus objetivos e necessidades, implementa estes componentes de forma distinta, mas todos os subsistemas citados devem estar presentes num GIS.

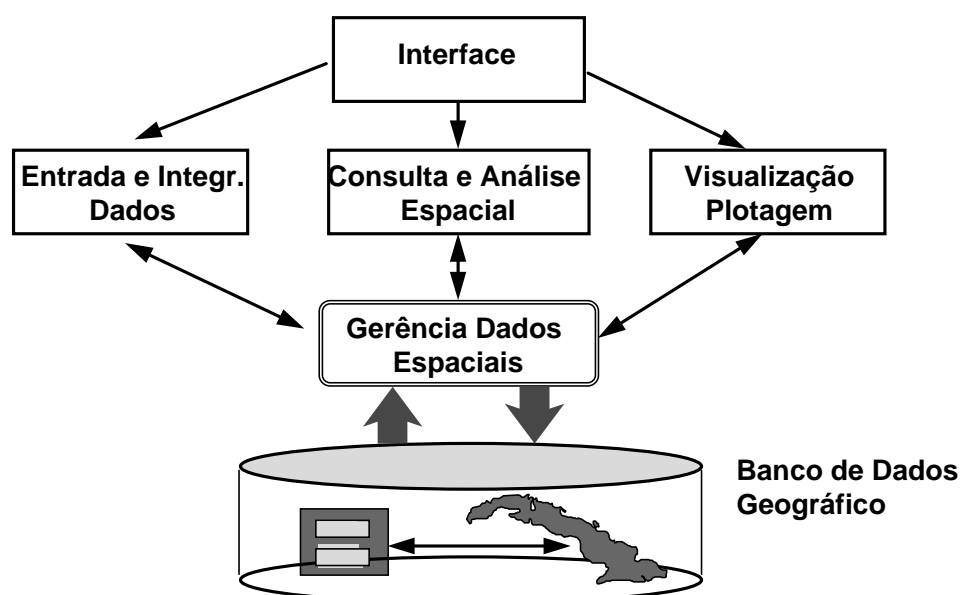


Figura 1.2 - Estrutura Geral de Sistemas de Informação Geográfica



### 1.4.2 - DIFERENÇAS ENTRE GIS e CAD.

Um sistema CAD (projeto auxiliado por computador) é uma ferramenta para capturar dados analógicos em formato legível por máquina. Os modelos de CAD tratam os dados como desenhos eletrônicos em **coordenadas do papel**. Nas aplicações de CAD, existem muitas vezes **regularidades nos objetos** (como sólidos de revolução), que podem ser modeladas, com o uso de técnicas como CSG (geometria construtiva de sólidos).

Por contraste, num sistema de Geoprocessamento os dados têm poucas simetrias e regularidades que podem ser reproduzidas. Mais ainda, os dados estão sempre *geo-referenciados*, isto é, localizados na superfície terrestre; na grande maioria dos casos, os dados estão numa **projeção cartográfica** - que impõe uma distorção relativa às coordenadas geográficas.

Uma característica básica e geral num GIS é sua capacidade de tratar as relações espaciais entre os objetos geográficos. Denota-se por **topologia** a estrutura de relacionamentos espaciais (vizinhança, proximidade, pertinência) que podem se estabelecer entre objetos geográficos. Armazenar a topologia de um mapa é uma das características básicas que fazem um GIS se distinguir de um sistema CAD.

Em grande parte das aplicações de CAD, os desenhos não possuem **atributos descritivos**, mas apenas propriedades gráficas (como cor e espessura). Já em Geoprocessamento, os dados geográficos possuem atributos, o que torna necessário prover os meios de consultar, atualizar e manusear um banco de dados espaciais. Muitos problemas no uso destas ferramentas decorrem do fato de que, por inexperiência, muitos técnicos utilizam um CAD como GIS.

## 1.5 – Modelagem de Dados Geográficos.

Para entender o processo de traduzir o mundo real para o ambiente computacional, uma das abordagens mais úteis é o chamado “paradigma dos quatro universos” (Gomes e Velho, 1995), que distingue (veja Figura 1.3):

- **universo do mundo real**, que inclui as entidades da realidade a serem modeladas no sistema;
- **universo matemático** (conceitual), que inclui uma definição matemática (formal) das entidades a ser representadas;
- **universo de representação**, onde as diversas entidades formais são mapeadas para representações geométricas e alfanuméricas no computador;
- **universo de implementação**, onde as estruturas de dados e algoritmos são escolhidos baseados em considerações como desempenho, capacidade do equipamento e tamanho da massa de dados. É neste nível que acontece a codificação.

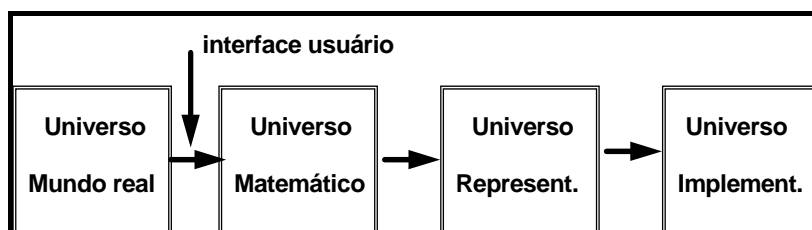


Figura 1.3 - Paradigma dos quatro universos

A visão apresentada não se limita a sistemas de Geoprocessamento, mas representa uma perspectiva unificadora aos problemas de Computação Gráfica e Processamento de Imagens. Sua aplicação ao problema de Geoprocessamento é particularmente apropriada pois permite equacionar os problemas da área, como se pode constatar:

- **no universo do mundo real** encontram-se os fenômenos a serem representados (tipos de solo, cadastro urbano e rural, dados geofísicos e topográficos);
- **no universo conceitual** (matemático) pode-se distinguir entre as grandes classes formais de dados geográficos (dados contínuos e objetos individualizáveis) e especializar estas classes nos tipos de dados geográficos utilizados comumente (dados temáticos e cadastrais, modelos numéricos de terreno, dados de sensoriamento remoto);
- **no universo de representação** as entidades formais definidas no universo conceitual são associadas a diferentes representações geométricas, que podem variar conforme a escala e a projeção cartográfica escolhida e a época de aquisição do dado. Aqui se distingue entre as representações matricial e vetorial, que podem ainda ser especializadas;
- **universo de implementação** é onde ocorre a realização do modelo de dados através de linguagens de programação. Neste universo, escolhem-se as estruturas de dados (tais como árvores quaternárias e árvores-R) para implementar as geometrias do universo de representação;

Com base nesta visão, as dicotomias tradicionais de Geoprocessamento (campos-objetos e matricial-vetorial) podem ser resolvidas, mostrando-se que elas se encontram em níveis distintos de abstração.

Esta análise também indica que a interface de usuário de um GIS deve, tanto quanto possível, refletir o universo conceitual e esconder detalhes dos universos de representação e implementação. No nível conceitual, o usuário lida com conceitos mais próximos de sua realidade e minimiza a complexidade envolvida nos diferentes tipos de representação geométrica.

### ***1.5.1 - O UNIVERSO DO MUNDO REAL.***

Como vimos acima os fenômenos do mundo real podem ser representados por diversos tipos de dados, que são: **dados temáticos** (por ex: tipos de solo), **dados cadastrais** (por ex: cadastro urbano e rural), **dados de redes** (por ex: rede de esgoto e logradouros), **dados de modelos numéricos** (por ex: dados geofísicos e topográficos) e **dados do tipo imagens** (por ex: foto aérea e de satélite). Estes dados estão cartografados nos respectivos tipos de mapas, portanto cabem algumas definições do que são mapas.

Um Mapa utiliza os dados do mundo real, sendo que:

- são modelos simplificados da realidade;
- utilizam uma representação, normalmente em escala, de uma seleção de entidades abstratas relacionadas com a superfície da Terra;
- e ainda são modelos de dados que se interpõe entre a realidade e a base de dados de um GIS.

Normalmente o que encontramos nos mapas são limites pré-estabelecidos, muitas vezes arbitrários, dividindo o espaço geográfico. Estas linhas podem representar limites como:

- divisão política;

- separação entre tipos de solo;
- isolinhas (cota 1000)

Vejamos a seguir estes diversos tipos de mapas.

### Mapas temáticos

Dados temáticos descrevem a distribuição espacial de uma grandeza geográfica, expressa de forma qualitativa, como os mapas de pedologia e a aptidão agrícola de uma região. Estes dados, obtidos a partir de levantamento de campo, são inseridos no sistema por digitalização ou, de forma mais automatizada, a partir de classificação de imagens. Os dados apresentados na figura abaixo (mapa de vegetação e mapa de declividade) são exemplos de dados temáticos.

Mapas temáticos medem, no espaço de atributos, valores **nominais** e **ordinais**. Os valores nominais (lista de valores) representam classes de um mapa temático, como por exemplo, um **mapa de vegetação** (Figura 1.4). No caso de valores ordinais, as classes do mapa representam intervalos (escala) de valores, como por exemplo, as classes de um **mapa de declividade** (0 a 5% - 5 a 10%, etc).

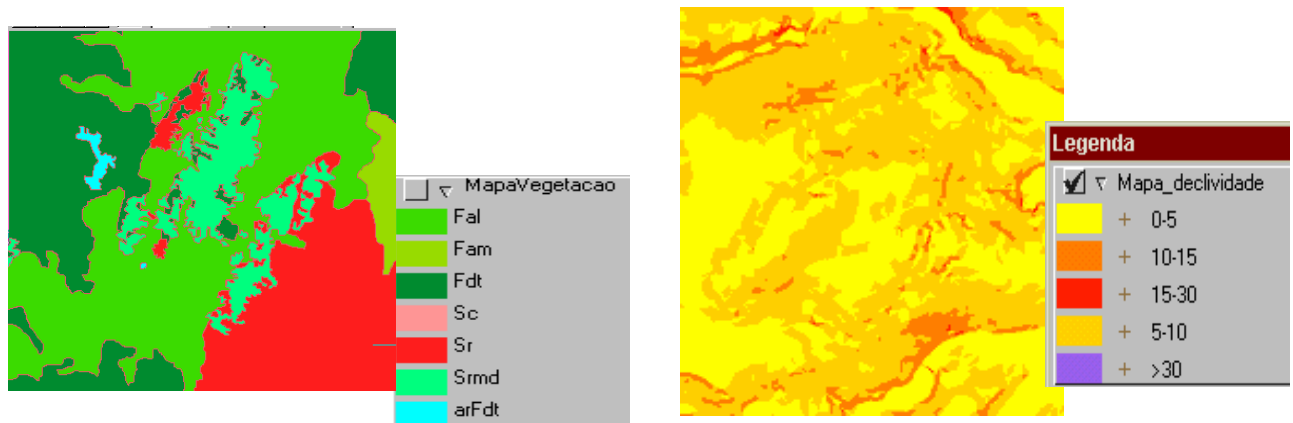


Figura 1.4 - Exemplos de medida nominal (mapa de vegetação) e medida ordinal (mapa de classes de declividade).

Para permitir uma representação e análise mais acurada do espaço geográfico, a maior parte dos sistemas armazena estes tipos de mapas na forma vetorial (*pontos*, *linhas* ou *polígonos*). A topologia construída é do tipo *arco-nó-região*: arcos se conectam entre si através de nós (pontos inicial e final) e arcos que circundam uma área definem um polígono (região).

Um mapa temático pode também ser armazenado no formato matricial ("raster"). Neste caso, a área correspondente ao mapa é dividida em células de tamanho fixo. Cada célula terá um valor qualitativo correspondente ao tema naquela localização espacial.

A escolha entre a representação matricial e a vetorial para um mapa temático depende do objetivo em vista. Para a produção de cartas e em operações onde se requer maior exatidão, a representação vetorial é mais adequada. As operações de álgebra de mapas são mais facilmente realizadas no formato matricial. No entanto, para um mesmo grau de exatidão, o espaço de armazenamento requerido por uma representação matricial é substancialmente maior. Isto é ilustrado na Figura 1.5.

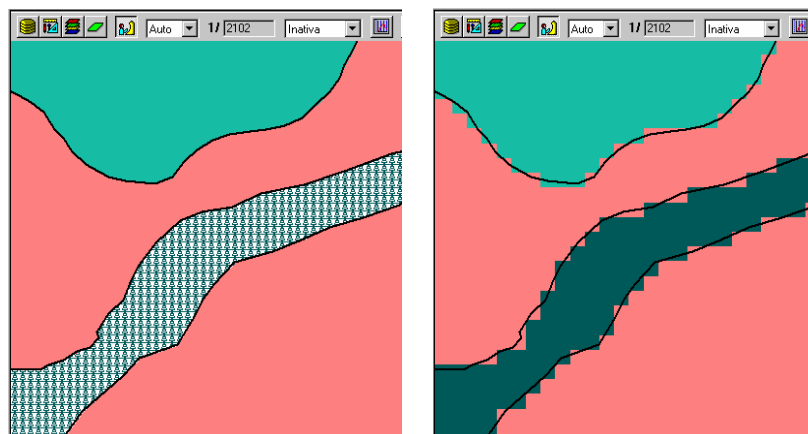


Figura 1.5 - Representação vetorial e matricial de um mapa temático.

### Mapas cadastrais (mapas de objetos)

Um mapa cadastral permite a representação de elementos gráficos (*objetos geográficos*) por **pontos, linhas ou polígonos**, sendo que estes possuem atributos descritivos e podem estar associados a várias representações gráficas. Por exemplo, os países da América do Sul são elementos do espaço geográfico que possuem atributos (nome do país, valor do PIB, população etc.) e que podem ter representações gráficas diferentes em mapas de escalas distintas. Veja Figura 1.6 a seguir.

A parte gráfica dos mapas cadastrais é armazenada em forma de coordenadas vetoriais, com a topologia associada. Não é usual representar estes dados na forma matricial. Já os atributos estão armazenados normalmente num sistema gerenciador de banco de dados.

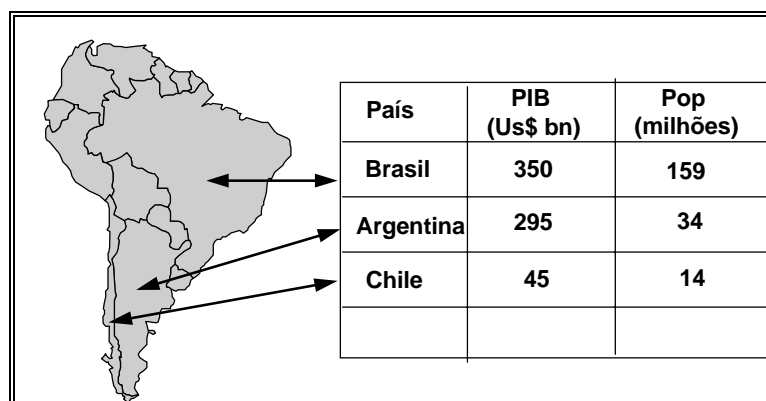


Figura 1.6 - Exemplo de mapa cadastral (países da América do Sul).

### Redes

Em Geoprocessamento, o conceito de "rede" denota as informações associadas aos seguintes tipos de dados:

- Serviços de utilidade pública, como água, luz e telefone;
- Redes de drenagem (bacias hidrográficas);
- Rodovias.

Mapas de redes também tratam de objetos, porém as informações gráficas são armazenadas em coordenadas vetoriais, com *topologia arco-nó*: os atributos de arcos incluem o

**sentido de fluxo** e os atributos dos nós sua impedância (custo de percorrimento). A topologia de redes constitui um *grafo*, que armazena informações sobre recursos que fluem entre localizações geográficas distintas, como ilustra a Figura 1.7 a seguir.

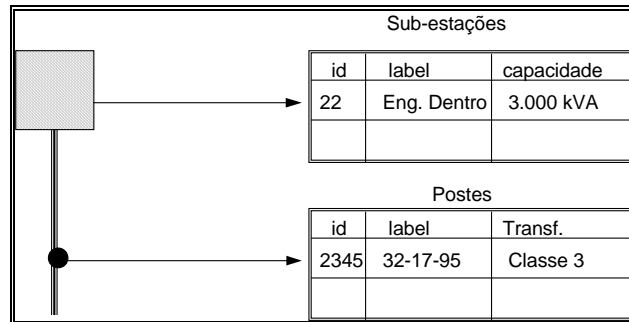


Figura 1.7 - Elementos de uma Rede.

Este tipo de dado é muito utilizado em serviços de utilidade pública, tais como água, luz, telefone, redes de drenagem (bacias hidrográficas) e rodovias, que possuem uma localização geográfica bem definida e atributos descritivos, presentes no banco de dados. Além disso, outros fatores como *integração de dados*, *segmentação dinâmica*, *linguagem de visualização* e *capacidade de adaptação*, merecem destaques.

A *integração de dados* é necessária para aplicações como redes, onde se deseja gerar uma base cartográfica contínua a partir de informações dispersas em vários mapas. Usualmente, as redes (elétrica, de telefonia e de água e esgoto) estão interligadas em toda a malha urbana. Poucos sistemas conseguem armazená-las de forma contínua, dando origem a particionamentos que não refletem a realidade e que dificultam a realização de análises e simulações.

Outro aspecto necessário para aplicações de redes é a capacidade de definir diferentes cortes lógicos de uma rede sem ter de duplicar (ou repetir) a estrutura topológica da rede. Por exemplo, ao se asfaltar parte de uma estrada de terra, será preciso atualizar esta informação, sem ter que redigitalizar todas as coordenadas de localização da estrada. Esta capacidade, usualmente denotada por *segmentação dinâmica*, permite separar os diferentes níveis de informação relativos a uma mesma rede.

O pacote mínimo disponível nos sistemas comerciais consiste tipicamente de cálculo de caminho ótimo e alocação de recursos. Este pacote básico é insuficiente para a realização da maioria das aplicações, pois cada usuário tem necessidades distintas. No caso de um sistema telefônico, por exemplo, uma questão pode ser: "***quais são todos os telefones servidos por uma dada caixa terminal?***". Já para uma rede de água, pode-se perguntar: "***Se injetarmos uma dada percentagem de cloro na caixa d'água de um bairro, qual a concentração final nas casas?***"

Deste modo, um sistema de modelagem de redes só terá utilidade para o cliente depois de devidamente adaptado para as suas necessidades, o que pode levar vários anos. Isto impõe uma característica básica para esta aplicação: *os sistemas devem ser versáteis e maleáveis*.

## Mapas numéricos

O termo modelo numérico de terreno (ou MNT) é utilizado para denotar a representação quantitativa de uma grandeza que varia continuamente no espaço. Comumente associados à altimetria, também podem ser utilizados para modelar unidades geológicas, como teor de minerais, ou propriedades do solo ou subsolo, como aeromagnetismo.

Entre os usos de modelos numéricos de terreno, pode-se citar (Burrough, 1986):

- (a) Armazenamento de dados de altimetria para gerar mapas topográficos;
- (b) Análises de corte-aterro para projeto de estradas e barragens;
- (c) Cômputo de mapas de declividade e exposição para apoio a análises de geomorfologia e erodibilidade;
- (d) Análise de variáveis geofísicas e geoquímicas;
- (e) Apresentação tridimensional (em combinação com outras variáveis).

Um MNT pode ser definido como um modelo matemático que reproduz uma superfície real a partir de algoritmos e de um conjunto de pontos (x, y), em um referencial qualquer, com atributos denotados por z, que descrevem a variação contínua da superfície. Um exemplo de MNT é apresentado na Figura 1.8.

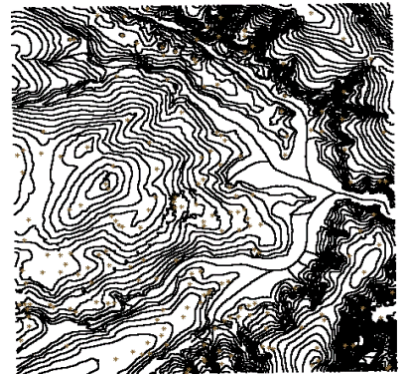


Figura 1.8 - Exemplo de modelo numérico de terreno - isolinhas de topografia.

O processo de aquisição de uma grandeza com variação espacial produz usualmente um conjunto de amostras pontuais. A partir destas amostras, pode-se construir dois tipos de representação (veja Figura 1.9 abaixo):

- a) *grades regulares*: matriz de elementos com espaçamento fixo, onde é associado o valor estimado da grandeza na posição geográfica de cada ponto da grade. As grades regulares são obtidas por interpolação das amostras ou, alternativamente, geradas por restituidores com saída digital.
- b) *grades triangulares*: a grade é formada por conexão entre amostras, utilizando a triangulação de Delaunay (sujeita a restrições). A grade triangular é uma estrutura topológica vetorial do tipo arco-nó, que forma um conjunto de recortes irregulares no espaço.

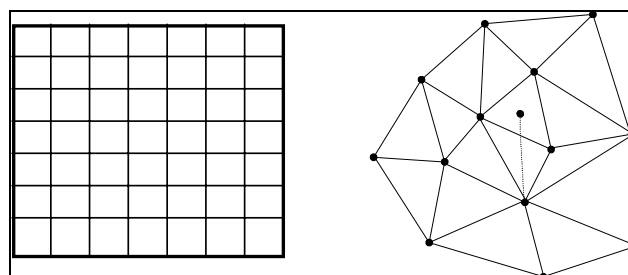


Figura 1.9 - Grades regulares e triangulares.

Os procedimentos de interpolação para geração destas grades são diversos. A partir destas grades são gerados os diversos produtos, por exemplo, modelos numéricos de terreno são convertidos para mapas temáticos e para imagens. Em ambos os casos, a grandeza numérica é quantizada, seja para um número pequeno de valores (caso de mapas temáticos) seja para a variação associada a imagens (valores discretos).



## Imagens

Obtidas por satélites, fotografias aéreas ou "scanners" aerotransportados, as imagens representam formas de captura indireta de informação espacial e são armazenadas como matrizes. Cada elemento de imagem (denominado "**pixel**") tem um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área da superfície terrestre correspondente. A Figura 1.10 mostra uma composição colorida falsa cor das bandas 3 (associada a cor Azul), 4 (Verde) e 5 (Vermelha) do satélite TM-Landsat, para a região de Manaus (AM).

Pela natureza do processo de aquisição de imagens, os objetos geográficos estão representados em cada elemento da imagem, sendo necessário recorrer a técnicas de realce, fotointerpretação e de classificação para individualizá-los.

Características importantes de imagens de satélite são: o número de bandas imageadas no espectro eletromagnético (*resolução espectral*), a área da superfície terrestre observada instantaneamente por cada sensor (*resolução espacial*) e o intervalo entre duas passagens do satélite pelo mesmo ponto (*resolução temporal*). A Figura 1.11 abaixo apresenta as imagens de três sensores diferentes, com resoluções diferentes.

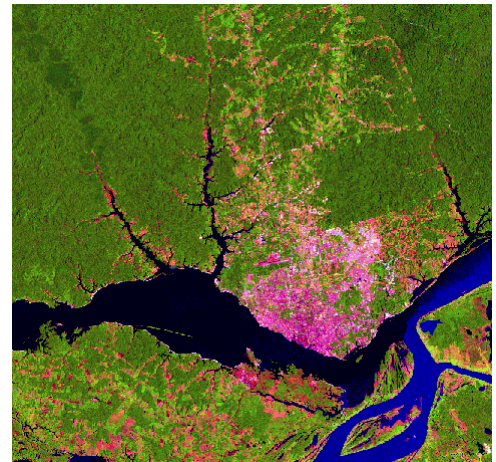


Figura 1.10 - Exemplo de Imagem  
(Composição colorida TM Landsat para a região de Manaus, AM)



Figura 1.11 - Imagens, da esquerda p/ direita, com 5(foto aérea), 20 (Spot) e 30 (Landsat) metros de resolução.

### 1.5.2 - O UNIVERSO CONCEITUAL.

#### VISÃO GERAL

Em Geoprocessamento, o espaço geográfico é modelado segundo duas visões complementares: os **modelos de campos e objetos** (Worboys, 1995). O modelo de **campos** enxerga o espaço geográfico como uma superfície contínua, sobre a qual variam os fenômenos a serem observados segundo diferentes distribuições. Por exemplo, um mapa de vegetação descreve uma distribuição que associa a cada ponto do mapa um tipo específico de cobertura vegetal, enquanto um mapa geoquímico associa o teor de um mineral a cada ponto.

O modelo de **objetos** representa o espaço geográfico como uma coleção de entidades distintas e identificáveis. Por exemplo, um cadastro espacial dos lotes de um município identifica cada lote como um dado individual, com atributos que o distinguem dos demais.

Igualmente, poder-se-ia pensar como geo-objetos os rios de uma bacia hidrográfica ou os aeroportos de um estado.

Para definir o modelo, são necessários os seguintes passos:

- definir as classes básicas do modelo e estabelecer as suas relações, dentro dos princípios de especialização, generalização e agregação;
- estabelecer como é possível, a partir do modelo, definir um esquema conceitual para um banco de dados geográfico, por especialização das classes básicas.

## Região Geográfica

*Definição - Região Geográfica.*

Define-se uma *região geográfica*  $R$  como uma superfície qualquer pertencente ao espaço geográfico, que pode ser representada num plano ou reticulado, dependente de uma projeção cartográfica.

A região geográfica serve de suporte geométrico para localização de entidades geográficas, pois toda entidade geográfica será representada por um ponto ou um conjunto de pontos em  $R$ . A definição de região geográfica proposta não restringe a escolha da representação geométrica (matricial ou vetorial) associada aos objetos geográficos.

## Geo-Campos

*Definição - Geo-Campo.*

Um geo-campo representa a distribuição espacial de uma variável que possui valores em todos os pontos pertencentes a uma região geográfica, *num dado tempo*  $t$ .

Múltiplas representações de um mesmo *geo-campo* podem significar a variação de uma dada variável no tempo  $t_1, t_2, \dots, t_{N-1}$ . Desta maneira torna-se possível representar as diferentes cronologias de alguns temas, tais como as mudanças no uso e cobertura do solo, a sazonalidade da vegetação ou a dinâmica das variáveis climáticas.

Os geo-campos podem ser especializados em:

- TEMÁTICO - dada uma região geográfica  $R$ , um *geo-campo temático* associa a cada ponto do espaço um *tema* de um mapa (p.ex. um geo-campo de vegetação é caracterizado pelo conjunto de temas {floresta densa, floresta aberta, cerrado, ...});
- NUMÉRICO - dada uma região geográfica, um *geo-campo numérico* associa, a cada ponto do espaço, um valor real (p. ex. um mapa de campo magnético ou mapa de altimetria);
- DADO\_SENSOR\_REMOTO - esta classe é uma especialização de NUMÉRICO, obtida através de discretização da resposta recebida por um sensor (passivo ou ativo) de uma área da superfície terrestre.

A Figura 1.14, apresenta um exemplo de geo-campos.

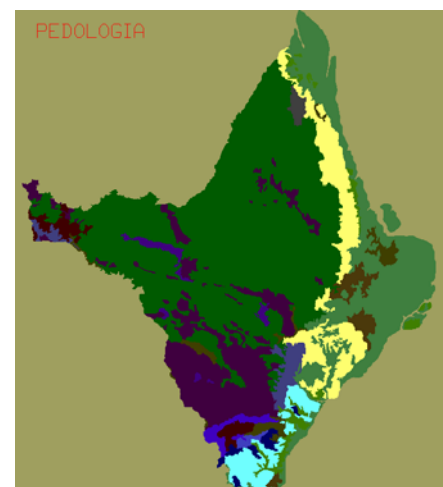


Figura 1.14 - Geo-campo temático (solos).

## Geo-Objeto

### Definição - Geo-Objeto

Um geo-objeto é um elemento único que possui atributos não-espaciais e está associado a múltiplas localizações geográficas. A localização pretende ser exata e o objeto é distinguível de seu entorno.

Esta definição tem três grandes motivações adicionais:

1. *As projeções cartográficas:* a projeção planar da Terra, a partir de escalas macroregionais, é feita com o uso de quadriculas que estão particionadas em sistemas de referência independentes que definem recortes arbitrários no espaço e podem dividir a localização de um geo-objeto. Por exemplo, um particionamento cartográfico da Amazônia na projeção UTM, escala 1:250.000, faz com que os principais rios tenham representações geométricas descontínuas em vários mapas;
2. *Representações geométricas em diferentes escalas:* na prática, num mesmo banco de dados geográfico, podem conviver representações da mesma realidade geográfica em diferentes escalas geográficas. Por exemplo, considere-se um conjunto de mapas dos municípios do Estado de São Paulo, que inclui um mapa geral (na escala de 1:1.000.000) e mapas regionais (na escala de 1:100.000). Nesta situação, um mesmo geo-objeto (p.ex., o município de São José dos Campos) teria duas representações geométricas: uma contínua no mapa regional do Vale do Paraíba e outra descontínua nas folhas na escala 1:100.000;
3. *Múltiplas representações temporais:* as diferentes representações de um mesmo objeto podem corresponder a variações temporais do mesmo, como no caso de um lago que teve suas bordas alteradas<sup>2</sup>;

Para ilustrar este conceito, considere-se a Figura 1.15, que mostra um banco de dados da Amazônia, onde os retângulos pontilhados representam o recorte espacial do banco de dados. Entidades como os rios Amazonas e Xingu têm representações em diferentes particionamentos espaciais do banco de dados.

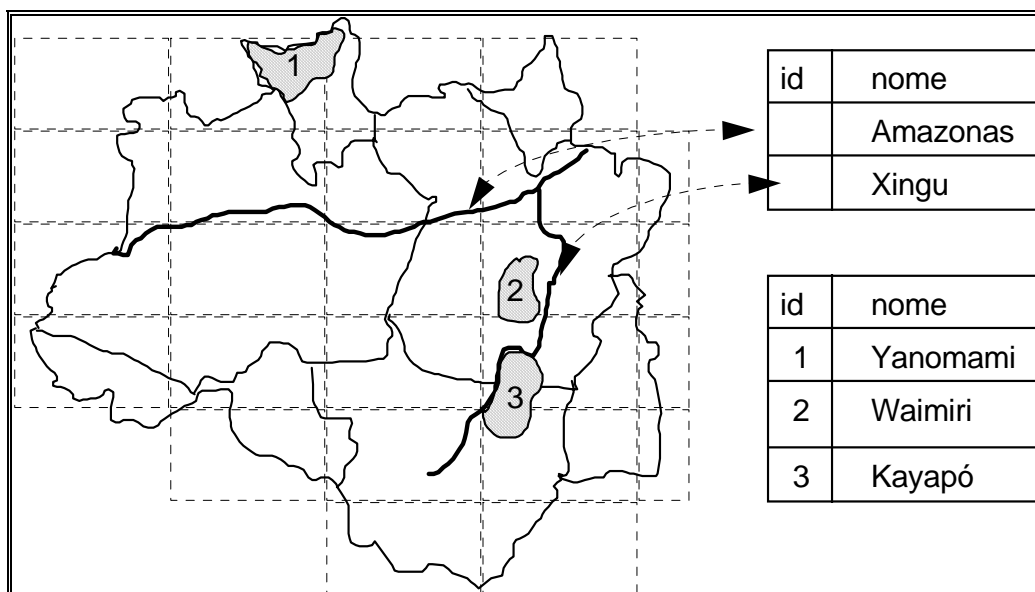


Figura 1.15 - Princípio de identidade em bancos de dados geográficos.

<sup>2</sup>Um caso particularmente dramático é o Mar de Aral, na ex-URSS.

## Objeto Não-Espacial

Em muitas situações é conveniente permitir a associação de informações não-espaciais a um banco de dados georeferenciado. Por exemplo, considere-se uma aplicação de cadastro urbano em uma prefeitura que já dispõe de um sistema para cálculo do IPTU baseado num cadastro alfanumérico de lotes. Neste caso, pode-se desejar associar o cadastro alfanumérico a dados georeferenciados contendo a localização geográfica e as dimensões destas propriedades. Para englobar estas entidades, introduz-se a noção de *objeto não-espacial*.

### *Definição - Objeto não-espacial*

Um objeto não-espacial é um objeto que não possui localizações espaciais associadas.

Assim, a noção de objeto não-espacial engloba qualquer tipo de informação que não seja georeferenciada e que se queira agregar a um GIS.

O exemplo anexo mostra o caso de uma aplicação de cadastro rural, mostrada na Figura 1.16. Neste caso, tem-se os geo-objetos da classe “fazendas” (que estão referenciados espacialmente) e deseja-se estabelecer a ligação entre estes geo-objetos e a informação alfanumérica já existente sob a forma de um cadastro de propriedades. Neste caso, as informações de cadastro são consideradas um *objeto não-espacial*.

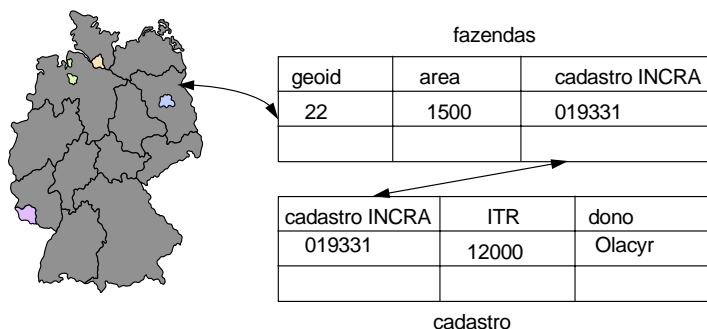


Figura 1.16 - Exemplo de ligação entre geo-objeto e objeto não-espacial.

## Plano de Informação

Como os conceitos de **geo-campos** e mapas de **geo-objetos** estão ambos ligados a localização numa **região geográfica** do espaço, é muito útil definir a noção de **plano de informação**.

Um *plano de informação* é o suporte para a representação geográfica de diferentes tipos de dados geográficos. Trata-se da generalização dos conceitos de mapas de **geo-objetos** e de **geo-campos**. Uma instância da classe PLANO DE INFORMAÇÃO representa, para uma dada região geográfica, o lugar geométrico de um conjunto de dados geográficos (um **geo-campo** ou um mapa de **geo-objetos**).

## Banco de Dados Geográficos

### Definição - Banco de Dados Geográficos

Um banco de dados geográficos é composto por conjuntos de planos de informação, um conjunto de geo-objetos e um conjunto de objetos não-espaciais.

Esta definição é particularmente interessante pois não faz restrição sobre escala dos dados e nem sobre a continuidade espacial dos planos de informação que compõem o banco. A Figura 1.17 resume o universo conceitual do modelo.

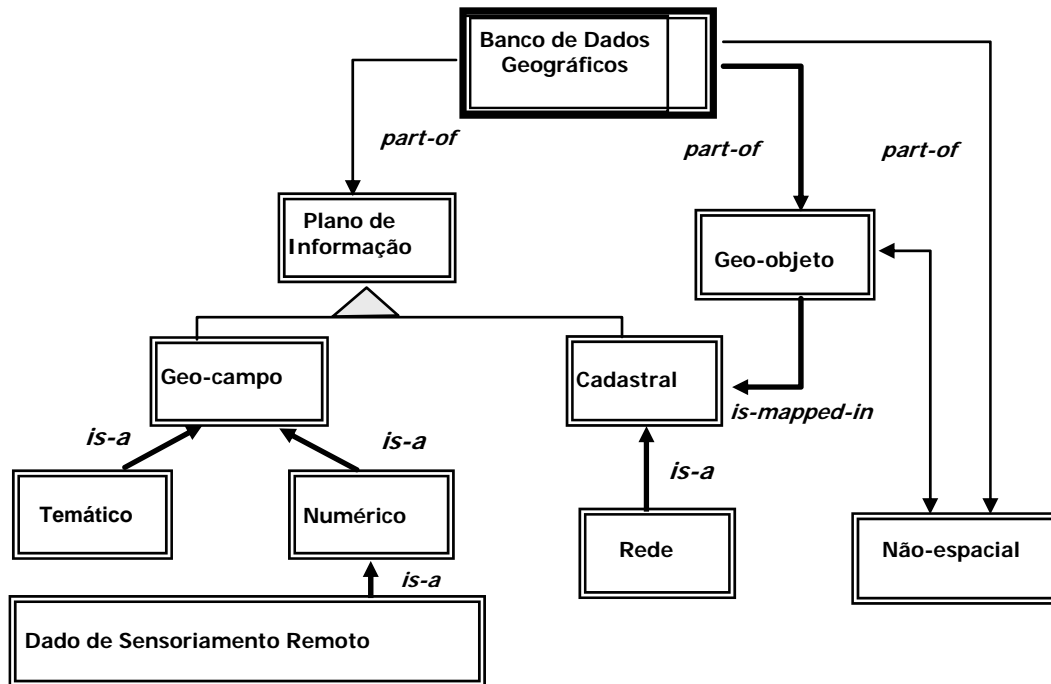


Figura 1.17 - Universo Conceitual do Banco de Dados Geográfico

### 1.5.3 – UNIVERSO DE REPRESENTAÇÃO

No universo de representação, definem-se as possíveis representações geométricas que podem estar associadas às classes do universo conceitual. Inicialmente, deve-se considerar as duas grandes classes de representações geométricas: REPRESENTAÇÃO VETORIAL e REPRESENTAÇÃO MATRICIAL.

Na representação vetorial, a representação de um elemento ou objeto é uma tentativa de reproduzi-lo o mais exatamente possível. Qualquer entidade ou elemento gráfico de um mapa é reduzido a três formas básicas: pontos, linhas, áreas ou polígonos.

A representação matricial consiste no uso de uma malha quadriculada regular sobre a qual se constrói, célula a célula, o elemento que está sendo representado. A cada célula, atribui-se um código referente ao atributo estudado, de tal forma que o computador saiba a que elemento ou objeto pertence determinada célula.

Vale ressaltar que as representações estão associadas aos tipos de dados anteriormente discutidos, a saber:

- *dados temáticos*: admitem tanto representação matricial quanto vetorial;
- *dados cadastrais*: sua parte gráfica é armazenada em forma de coordenadas vetoriais e seus atributos não gráficos são guardados em um banco de dados;
- *redes*: sua parte gráfica é armazenada em forma de coordenadas vetoriais, com a topologia *arco-nó* e seus atributos não gráficos são guardados em um banco de dados;
- *imagens de sensoriamento remoto*: armazenadas em representação matricial;
- *modelos numéricos de terreno*: podem ser armazenados em *grades regulares* (representação matricial), *grades triangulares* (representação vetorial com topologia *arco-nó*) ou *isolinhas* (representação vetorial sem topologia).

### REPRESENTAÇÃO MATRICIAL

Nesta representação, o espaço é representado como uma matriz  $P(m, n)$  composto de  $m$  colunas e  $n$  linhas, onde cada célula possui um número de linha, um número de coluna e um valor correspondente ao atributo estudado. Cada célula é individualmente acessada pelas suas coordenadas.

A representação matricial supõe que o espaço pode ser tratado como uma superfície plana, onde cada célula está associada a uma porção do terreno. A resolução do sistema é dada pela relação entre o tamanho da célula no mapa ou documento e a área por ela coberta no terreno. A Figura 1.18 mostra um mesmo mapa representado por células de diferentes tamanhos (diferentes resoluções), representando diferentes áreas no terreno. Como o mapa do lado esquerdo possui uma resolução quatro vezes menor que o do mapa do lado direito, as avaliações de áreas e distâncias serão bem menos exatas que no primeiro. Em contrapartida, o espaço de armazenamento necessário para o mapa da direita será quatro vezes maior que o da esquerda.

Os dados são codificados, célula a célula, atribuindo a cada uma o código correspondente a uma classe referente ao fenômeno estudado. Para fazer isto, é necessário estabelecer um critério a ser obedecido em toda a operação.

Pode-se, por exemplo, atribuir a cada célula o código da classe sobre a qual estiver o centro da quadricula. Outra possibilidade é adotar-se o critério da maior ocorrência. Neste caso, o código corresponde ao da classe que ocupar a maior parte da célula.



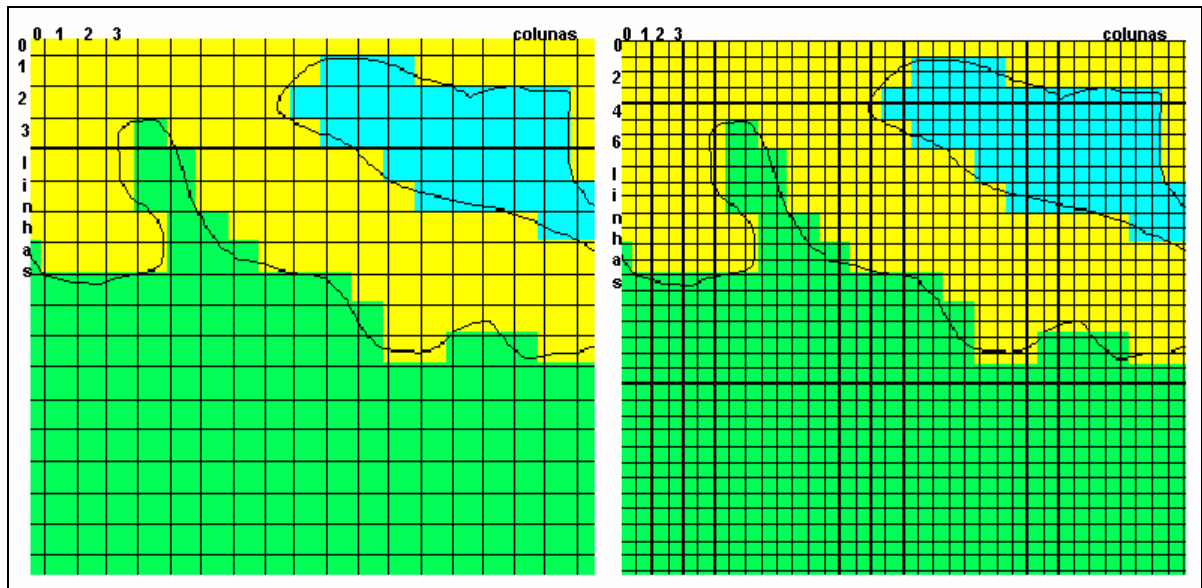


Figura 1.18 - Diferentes representações matriciais para um mapa.

### Hierarquia de Representações Matriciais

A REPRESENTAÇÃO GEOMÉTRICA MATRICIAL pode ser especializada segundo a hierarquia de classes mostrada na Figura 1.19.

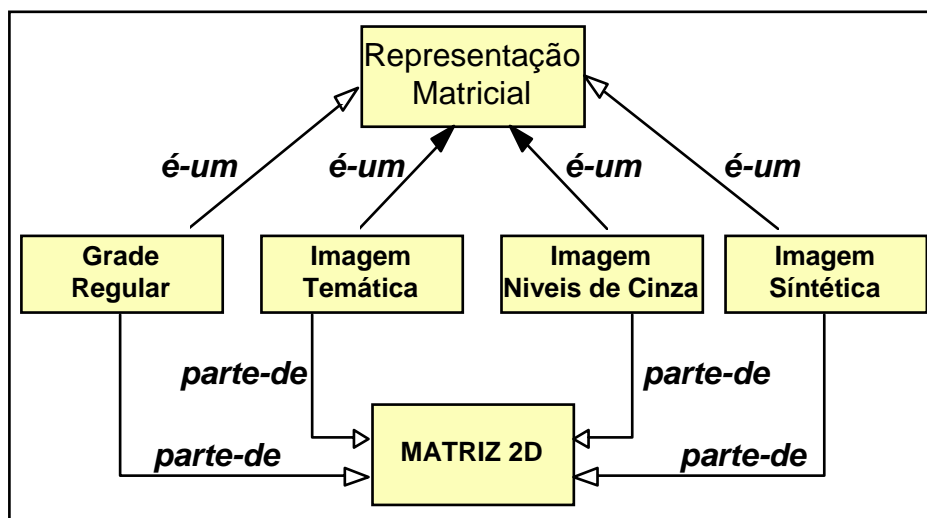


Figura 1.19 - Hierarquia de classes para representação matricial.

Os tipos possíveis de representação matricial são:

- **GRADE REGULAR:** uma grade regular é uma matriz de reais;
- **IMAGEM EM TONS DE CINZA:** imagem representada através de uma matriz onde os valores da matriz representam os valores de cinza da imagem;
- **IMAGEM TEMÁTICA:** representação matricial de um geo-campo TEMÁTICO, Por exemplo, numa imagem temática, um elemento da matriz de valor 2 pode estar associado ao tema “Floresta Ombrófila”;
- **IMAGEM SINTÉTICA (ou CODIFICADA):** representação de uma imagem em cores, utilizada para mostrar imagens em composição colorida em placas gráficas falsa-cor.

## REPRESENTAÇÃO VETORIAL

### CONCEITOS GERAIS

No modelo vetorial, a localização e a aparência gráfica de cada objeto são representadas por um ou mais pares de coordenadas. Este tipo de representação não é exclusivo do GIS: sistemas CAD e outros tipos de sistemas gráficos também utilizam representações vetoriais. Isto porque o modelo vetorial é bastante intuitivo para engenheiros e projetistas, embora estes nem sempre utilizem sistemas de coordenadas ajustados à superfície da Terra para realizar seus projetos, pois para estas aplicações um simples sistema de coordenadas cartesianas é suficiente. Mas o uso de vetores em GIS é bem mais sofisticado do que o uso em CAD, pois em geral GIS envolve volumes de dados bem maiores, e conta com recursos para tratamento de topologia, associação de atributos alfanuméricos e indexação espacial.

No caso de representação vetorial, consideram-se três elementos gráficos (Figura 1.20): **ponto**, **linha poligonal** e **área (polígono)**. Um *ponto* é um par ordenado  $(x, y)$  de coordenadas espaciais. Além das coordenadas, outros dados não-espaciais (atributos) podem ser arquivados para indicar de que tipo de ponto se está tratando.

As *linhas poligonais*, arcos, ou elementos lineares são um conjunto de pontos conectados. Além das coordenadas dos pontos que compõem a linha, deve-se armazenar informação que indique de que tipo de linha se está tratando, ou seja, a que atributo ela está associada. Um *polígono* é a região do plano limitada por uma ou mais linha poligonais conectadas de tal forma que o último ponto de uma linha seja idêntico ao primeiro da próxima.

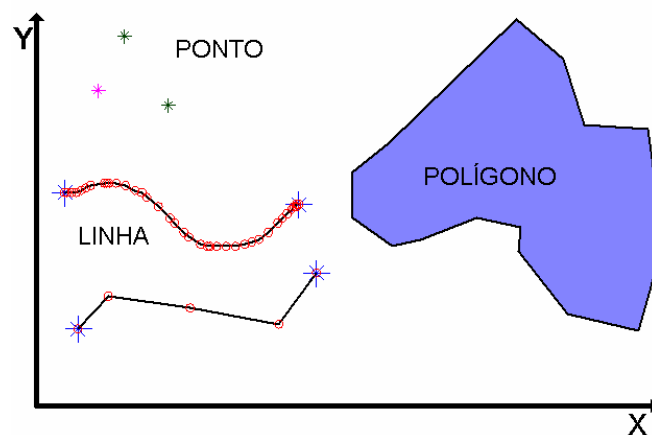


Figura 1.20 - Elementos da representação vetorial

Observe-se também que o polígono divide o plano em duas regiões: o interior, que convencionalmente inclui a fronteira (a poligonal fechada) e o exterior. Assim, quando utilizamos a expressão *vetores*, estamos nos referindo a alguma combinação de pontos, linhas poligonais e polígonos, conforme definidos acima. Combinações porque teoricamente poderíamos utilizar mais de um tipo de primitiva gráfica na criação da representação de um objeto. Por exemplo, pode-se ter objetos de área mais complexos, formados por um polígono básico e vários outros polígonos contidos no primeiro, delimitando buracos. Pode-se também ter objetos compostos por mais de um polígono, como seria necessário no caso do estado do Pará, que além da parte “continental” tem a ilha de Marajó e outras como parte de seu território.

## VETORES E TOPOLOGIA EM GIS

Apesar de estarmos sempre concebendo representações sob a forma de pontos, linhas e áreas para objetos em GIS, existem algumas variações com relação à adaptação destas representações à realidade, ou seja, considerando a forma com que estes objetos ocorrem na natureza.

Objetos de área podem ter três formas diferentes de utilização: como objetos *isolados*, objetos *aninhados* ou objetos *adjacentes*. O caso de objetos isolados é bastante comum em GIS urbanos, e ocorre no caso em que os objetos da mesma classe em geral não se tocam. Por exemplo, edificações, piscinas, e mesmo as quadras das aplicações cadastrais ocorrem isoladamente, não existindo segmentos poligonais compartilhados entre os objetos. O caso típico de objetos aninhados é o de curvas de nível e todo tipo de isolinhas, em que se tem linhas que não se cruzam, e são entendidas como estando “empilhadas” umas sobre as outras. Finalmente, temos objetos adjacentes, e os exemplos típicos são todas as modalidades de divisão territorial: bairros, setores censitários, municípios e outros. São também exemplos mapas geológicos e pedológicos, que representam fenômenos que cobrem toda a área de interesse. Neste caso, pode-se ter o compartilhamento de fronteiras entre objetos adjacentes, gerando a necessidade por estruturas topológicas. Estes também são os casos em que recursos de representação de buracos e ilhas são mais necessários.

Também objetos de linha podem ter formas de utilização variadas. Analogamente aos objetos de área, pode-se ter objetos de linha isolados, em árvore e em rede. Objetos de linha isolados ocorrem, por exemplo, na representação de muros e cercas em mapas urbanos. Objetos de linha organizados em uma árvore podem ser encontrados nas representações de rios e seus afluentes, e também em redes de esgotos e drenagem pluvial. E podem ser organizados em rede, nos casos de redes elétricas, telefônicas, de água ou mesmo na malha viária urbana e nas malhas rodoviária e ferroviária.

Seja no caso de objetos de área ou no caso de objetos de linhas, quando queremos armazenar explicitamente as relações de adjacência utilizamos formas específicas de representação vetorial: as representações topológicas.

### TOPOLOGIA ARCO-NÓ

A topologia arco-nó é a representação vetorial associada a uma rede linear conectada. Um *nó* pode ser definido como o ponto de intersecção entre duas ou mais linhas, correspondente ao ponto inicial ou final de cada linha. Nenhuma linha poderá estar desconectada das demais para que a topologia da rede possa ficar totalmente definida.

O conhecimento das relações topológicas entre as linhas pode ser de fundamental importância no caso de redes. Para exemplificar, considere-se a Figura 1.21, que mostra uma parte de uma rede de distribuição elétrica, com os seus diversos componentes (sub-estação, rede, poste, transformador, consumidor).

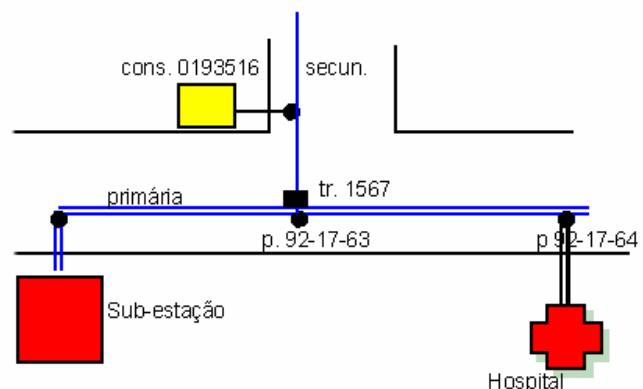


Figura 1.21 - Exemplo de topologia arco-nó (rede elétrica).

## TOPOLOGIA ARCO-NÓ-POLÍGONO

A topologia **arco-nó-polígono** é utilizada quando se quer representar elementos gráficos do tipo área. Seu objetivo é descrever as propriedades topológicas de áreas de tal maneira que os atributos não-espaciais associados aos elementos ou entidades poligonais possam ser manipulados da mesma forma que os correspondentes elementos em um mapa temático analógico.

Neste caso, faz-se necessário armazenar informação referente aos elementos vizinhos, da mesma forma que na estrutura de redes deviam ser definidas as ligações entre as linhas. A Figura 1.22 mostra de forma simplificada um exemplo desta estrutura topológica.

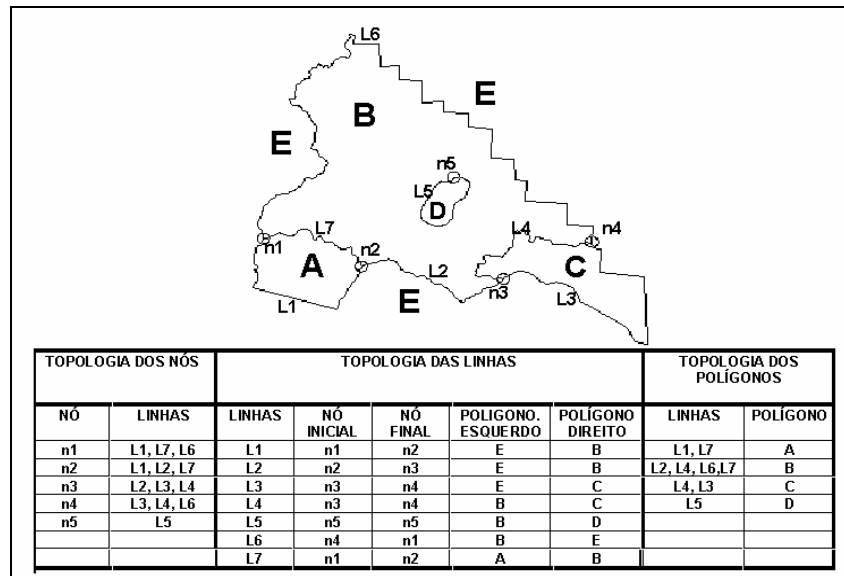


Figura 1.22 - Estrutura topológica do tipo arco-nó-polígono.

## Hierarquia de Representações Vetoriais

Para um entendimento mais detalhado das representações vetoriais em GIS, deve-se inicialmente precisar o que se entende por primitivas geométricas: *coordenadas 2D*, *coordenadas 3D*, *nó 2D*, *nó 3D*, *nó de rede*, *arcos*, *arcos orientados*, *isolinhas* e *polígonos*.

Dada uma região geográfica  $R$ , pode-se definir:

- COORDENADA2D - Uma coordenada 2D é um objeto composto por uma localização singular  $(x_i, y_i) \in R$ ;
- COORDENADA3D - Uma coordenada 3D é um objeto composto por uma localização singular  $(x_i, y_i, z_i)$ , onde  $(x_i, y_i) \in R$ ;
- PONTO2D - Um ponto 2D é um objeto que possui atributos descritivos e uma coordenada 2D;
- LINHA2D - Uma linha 2D possui atributos e inclui um conjunto de coordenadas 2D;
- ISOLINHA - uma isolinha contém uma linha 2D associada a um valor real (cota);
- ARCO ORIENTADO - um arco orientado contém uma linha 2D associada a uma orientação de percorrimeto;
- NÓ2D - um nó 2D inclui uma coordenada2D  $(x_i, y_i) \in R$  e uma lista  $L$  de linhas 2D (trata-se da conexão entre duas ou mais linhas, utilizada para manter a topologia da estrutura);
- NÓ REDE - um nó de rede contém um nó 2D e uma lista de arcos orientados, onde a cada instância associa-se uma impedância e um custo de percorrimeto;
- NÓ 3D - um nó 3D instância desta classe contém uma coordenada 3D  $(x_i, y_i, z_i)$  e uma lista  $L$  de linhas 2D (trata-se da conexão entre três ou mais linhas de uma grade triangular);
- POLÍGONO - um polígono contém uma lista de linhas 2D e uma lista de nós 2D que descrevem as coordenadas da área externa e das áreas internas que compõem o polígono.

Uma vez definidas as primitivas geométricas vetoriais, pode ser estabelecida a hierarquia de representações geométricas vetoriais, como mostrado na Figura 1.23, onde distinguem-se os relacionamentos de especialização **é-um** (“is-a”), inclusão de uma instância **parte-de** (“part-of”), inclusão de um conjunto de instâncias **conjunto-de** (“set-of”) e inclusão de uma lista de identificadores de instâncias **lista-de** (“list-of”).

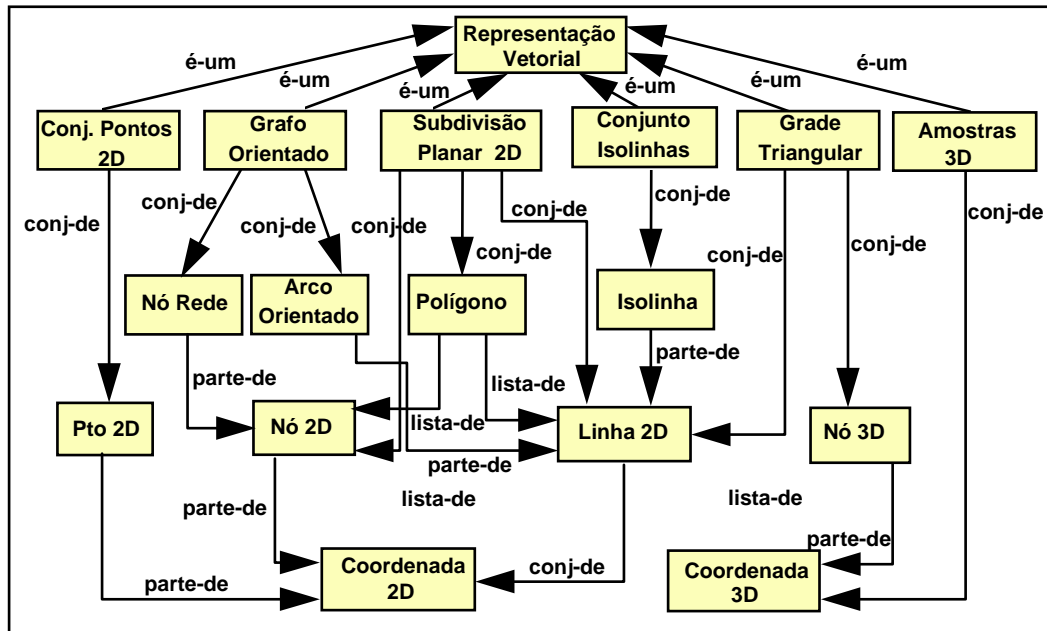


Figura 1.23 - Hierarquia de classes para representação vetorial.

Deste modo, pode-se distinguir os tipos de representação vetorial:

- CONJUNTO DE PONTOS 2D - uma instância desta classe é um conjunto de pontos 2D utilizados para guardar localizações isoladas no espaço (p.ex. no caso de poços de petróleo);
- CONJUNTO DE ISOLINHAS - uma instância desta classe é um conjunto de linhas, onde cada linha possui uma cota e as linhas não se interceptam;
- SUBDIVISÃO PLANAR - para uma região geográfica **R** qualquer, uma subdivisão planar contém um conjunto **Pg** de polígonos, **L** de linhas 2D e **N** de nós 2D;
- GRAFO ORIENTADO - uma instância desta classe é uma representação composta de um conjunto de nó de rede e de um conjunto de arco orientado 2D;
- GRADE TRIANGULAR - uma instância desta classe contém um conjunto de nós 3D e um conjunto L de linhas 2D tal que todas as linhas se interceptam, mas apenas em seus pontos iniciais e finais;
- MAPA PONTOS3D - uma instância desta classe é um conjunto de coordenadas 3d. Trata-se de um conjunto de amostras 3D.

## COMPARAÇÃO ENTRE REPRESENTAÇÕES MATRICIAL E VETORIAL

Como observamos anteriormente, dados temáticos admitem tanto a representação matricial quanto a vetorial; deste modo, é relevante compará-las.

Para a produção de cartas e em operações onde se requer maior precisão, a representação vetorial é mais adequada. As operações de álgebra de mapas são mais facilmente realizadas no formato matricial. No entanto, para um mesmo grau de precisão, o espaço de armazenamento requerido por uma representação matricial é substancialmente maior. Isto é ilustrado na Figura 1.24.

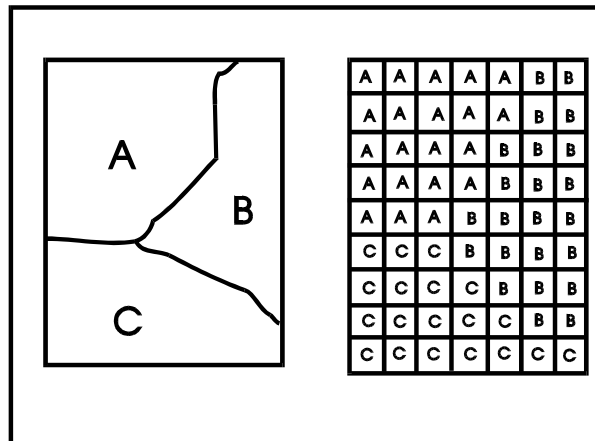


Figura 1.24 - Representação vetorial e matricial de um mapa temático.

A Tabela abaixo apresenta uma comparação entre as vantagens e desvantagens de armazenamento matricial e vetorial para mapas temáticos. Esta comparação leva em conta os vários aspectos: relacionamentos espaciais, análise, armazenamento. Nesta tabela, o formato mais vantajoso para cada caso é apresentado em destaque.

TABELA - COMPARAÇÃO ENTRE REPRESENTAÇÕES PARA MAPAS TEMÁTICOS

<i>Aspecto</i>	<i>Representação Vetorial</i>	<i>Representação Matricial</i>
Relações espaciais entre objetos	Relacionamentos topológicos entre objetos disponíveis	Relacionamentos espaciais devem ser inferidos
Ligação com banco de dados	Facilita associar atributos a elementos gráficos	Associa atributos apenas a classes do mapa
Análise, Simulação e Modelagem	Representação indireta de fenômenos contínuos Álgebra de mapas é limitada	Representa melhor os fenômenos com variação contínua no espaço Simulação e modelagem mais fáceis
Escala de trabalho	Adequado tanto a grandes quanto a pequenas escalas	Mais adequado para pequenas escalas (1:25.000 e menores)
Algoritmos	Problemas com erros geométricos	Processamento mais rápido e eficiente.
Armazenamento	Por coordenadas (mais eficiente)	Por matrizes



## REPRESENTAÇÕES DE MODELOS NUMÉRICOS DE TERRENO

### GRADE REGULAR

A *grade regular* é uma representação matricial aonde cada elemento da matriz está associado a um valor numérico, como mostra a Figura 1.25. Para a geração da grade torna-se necessário estimar, através de interpoladores matemáticos, os valores para as células que não possuem medidas de elevação, considerando-se a vizinhança de medidas de elevação conhecidas.

Os procedimentos de interpolação para geração de grades regulares a partir de amostras variam de acordo com a grandeza medida. No caso de altimetria, é comum o uso de funções de ponderação por inverso do quadrado da distância. Já para variáveis geofísicas, procedimentos de filtragem bidimensional ou de geoestatística (como a *krigeagem*) são utilizados.

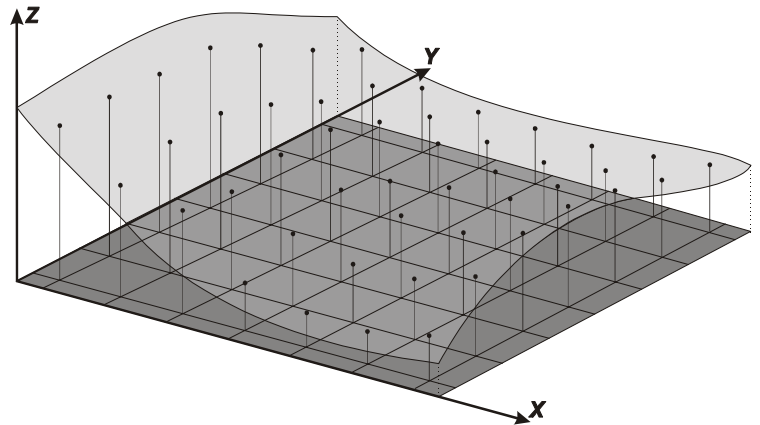


Figura 1.25 - Superfície e grade regular correspondente. (Fonte: Namikawa 1995).

### MALHAS TRIANGULARES

A *malha triangular* ou TIN (do inglês “*triangular irregular network*”) é uma estrutura do tipo vetorial com topologia do tipo *nó-arco* e representa uma superfície através de um conjunto de faces triangulares interligadas. Para cada um dos três vértices da face do triângulo são armazenadas as coordenadas de localização (x, y) e o atributo z, com o valor de elevação ou altitude. Em geral, nos SIGs que possuem pacotes para MNT, os algoritmos para geração da grade triangular baseiam-se na triangulação de Delaunay com restrição de região.

Quanto mais equiláteras forem as faces triangulares, maior a exatidão com que se descreve a superfície. O valor de elevação em qualquer ponto dentro da superfície pode ser estimado a partir das faces triangulares, utilizando-se interpoladores. A Figura 1.26 mostra uma superfície tridimensional e a grade triangular correspondente.

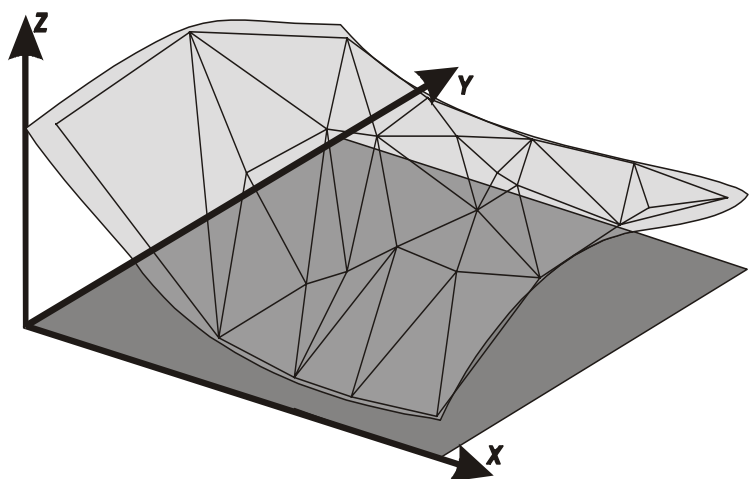


Figura 1.26 - Superfície e malha triangular correspondente. (Fonte: Namikawa 1995).

## COMPARAÇÃO ENTRE REPRESENTAÇÕES DE MNT

As malhas triangulares são normalmente melhores para representar a variação do terreno, pois capturam a complexidade do relevo sem a necessidade de grande quantidade de dados redundantes. As grades regulares têm grande redundância em terrenos uniformes e dificuldade de adaptação a relevos de natureza distinta no mesmo mapa, por causa da grade de amostragem fixa.

Para o caso de variáveis geofísicas e para operações como visualização 3D, as grades regulares são preferíveis, principalmente pela maior facilidade de manuseio computacional. A Tabela abaixo resume as principais vantagens e desvantagens de grades regulares e malhas triangulares.

TABELA - COMPARAÇÃO ENTRE GRADES REGULARES E MALHAS TRIANGULARES PARA REPRESENTAR MNT

	<b>Malha triangular</b>	<b>Grade regular</b>
<b>Vantagens</b>	1. Melhor representação de relevo complexo 2. Incorporação de restrições como linhas de crista	1. Facilita manuseio e conversão 2. Adequada para geofísica e visualização 3D
<b>Problemas</b>	1. Complexidade de manuseio 2. Inadequada para visualização 3D	1. Representação relevo complexo 2. Cálculo de declividade

Os modelos numéricos de terreno também podem ser convertidos para mapas temáticos e para imagens. Em ambos os casos, a grandeza numérica é quantizada, seja para um número pequeno de valores (caso de dados temáticos) seja para a variação associada a imagens (valores discretos).

## REPRESENTAÇÕES COMPUTACIONAIS DE ATRIBUTOS DE OBJETOS

Entende-se por atributo qualquer informação descritiva (nomes, números, tabelas e textos) relacionada com um único objeto, elemento, entidade gráfica ou um conjunto deles, que caracteriza um dado fenômeno geográfico.

Inicialmente os SIGs armazenavam tanto as entidades gráficas quanto os atributos não-espaciais em sistemas próprios de arquivos internos. Permitiam ainda que os atributos não-espaciais fossem inseridos no sistema durante ou imediatamente após a entrada dos objetos ou entidades gráficas que representavam. Estes procedimentos eram problemáticos quando havia numerosa quantidade de atributos não-espaciais a serem relacionados com os objetos.

Além disso, as ferramentas de busca, recuperação, manutenção e análise destes sistemas deixavam a desejar, quando comparadas aos tradicionais Sistemas de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD). Um SGBD é um sistema de banco de dados que funciona independentemente do sistema aplicativo, armazenando os dados em arquivos no disco rígido e carregando-os em memória para sua manipulação. Assegura três requisitos importantes na operação de dados: *integridade* - controle de acesso por vários usuários; *eficiência* - acesso e modificações de grande volume de dados e *persistência* - manutenção de dados por longo tempo, independente dos aplicativos que dão acesso ao dado.

A organização de bancos de dados geográficas mais utilizada na prática é a chamada *estratégia dual*, descrita no próximo capítulo.

#### 1.5.4 – UNIVERSO DE IMPLEMENTAÇÃO.

Ao se discutir o universo de implementação, serão indicadas quais as estruturas de dados a serem utilizadas para construir um sistema de Geoprocessamento. Neste momento, são tratadas as decisões concretas de programação e que podem admitir número muito grande de variações. Estas decisões podem levar em conta as aplicações às quais o sistema é voltado, a disponibilidade de algoritmos para tratamento de dados geográficos e o desempenho do hardware. Para uma discussão sobre os problemas de implementação de operações geográficas, veja-se Güting et al. (1994).

Um dos aspectos principais a ser levado em conta no universo de implementação é o uso de estruturas de indexação espacial. Os métodos de acesso a dados espaciais compõem-se de *estruturas de dados* e *algoritmos de pesquisa e recuperação* e representam um componente determinante no desempenho total do sistema. Apanhados gerais da literatura são feitos em Berg (1997) e van Kreveld et al.(1998). Estes métodos operam sobre chaves multidimensionais e dividem-se conforme a representação dos dados associados: pontos (ex: *árvores K-D*), linhas e polígonos (ex: *árvores R e R+*) e imagens (ex: *árvores quaternárias*).

Com relação às estruturas de dados, podemos fazer algumas considerações de ordem prática:

- armazenamento de pontos 3D em árvores K-D (Bentley, 1975) traz um ganho muito significativo para aplicações como a geração de grade regular a partir de um conjunto de amostras esparsas;
- uso de árvores quaternárias (Samet, 1990) para armazenar imagens em tons de cinza não é eficaz. Para o caso de mapas temáticos, apesar de utilizado em pelo menos um sistema comercial (SPANS), os ganhos não são significativos;
- uso de árvores-R (Gutman, 1984) é uma forma eficiente de organizar os dados vetoriais, para fins de recuperação e operação (Brinkhoff et al., 1993).

### 1.5.5 – RESUMO.

Para compreender melhor a relação entre os diferentes universos (níveis) do modelo, a Tabela abaixo contém vários exemplos de entidades do mundo real e suas correspondentes no modelo.

TABELA - CORRESPONDÊNCIA ENTRE UNIVERSOS DO MODELO

<i>Universo do mundo real</i>	<i>Universo conceitual</i>	<i>Universo de representação</i>	<i>Universo de implementação</i>
<b>Mapa de vegetação</b>	Geo-campo	Matriz de inteiros	Quad-tree
	Temático	Subdivisão Planar	Linhas 2D (com R-Tree)
<b>Mapa altimétrico</b>	Geo-campo	Grade regular	Matriz 2D
	Numérico	Grade triangular	Linhas 2D e Nós 3D
		Conjunto Pontos 3D	Pontos 3D (KD-tree)
		Conjunto Isolinhas	Linhas 3D
<b>Lotes urbanos</b>	Geo-objetos	Polígonos e Tabela	Linhas 2D e Nós 2D
<b>Rede elétrica</b>	Rede	Grafo Orientado	Linhas 2D (com R-Tree)

## 1.6 – Referências Bibliográficas.

- ARONOFF, S. *Geographical Information Systems: A Management Perspective*. Ottawa, WDI Publications, 1989.
- ASSAD, E.D.; SANO, E.E. *Sistemas de Informações Geográficas - Aplicações na Agricultura*. Brasília, EMBRAPA, 1998 (2z. edição).
- BENTLEY, J. Multidimensional Search Trees Used for Associative Searching. *Communications of the ACM*, 18:509-517, 1975.
- BRINKHOFF, T.; KRIEGEL, H.P.; SEEGER, B. Efficient Processing of Spatial Joins Using R-Trees. In: ACM SIGMOD Conference, Washington, 1993. *Proceedings*, Washington, ACM, pp. 237-246, 1993.
- BURROUGH, P. A.; McDONNELL, R.A. *Principles of geographical information systems*. Oxford, Oxford University Press, 1998.
- CÂMARA, G. *Modelos, Linguagens e Arquiteturas para Bancos de Dados Geográficos*. Tese de Doutorado em Computação Aplicada. São José dos Campos, INPE, Dezembro 1995. (disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/teses/gilberto>>).
- CÂMARA, G.; CASANOVA, M.A.; HEMERLY, A.; MEDEIROS, C.M.B.; MAGALHÃES, G. *Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica*. SBC, X Escola de Computação, Campinas, 1996.
- CÂMARA, G.; FREITAS, U.M.; SOUZA, R.C.M.; GARRIDO, J. SPRING: Integrating Remote Sensing and GIS by Object-Oriented Data Modelling. *Computers and Graphics*, vol. 15, n.6, July 1996.
- COWEN, D.J. GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54:1551-4, 1988.
- DE BERG (ed.), *Computational Geometry : Algorithms and Applications*. Berlin, Springer Verlag, 1997.
- GOMES, J.M.; VELHO, L. *Computação Visual: Imagens*. Rio, SBM, 1995.
- GOODCHILD, M. Geographical data modeling. *Computers & Geosciences*, 1992, 18(4): 401-408, 1992b.
- GOODCHILD, M. Geographical information science. *International Journal of Geographical Information Systems*, 6 (2): 35-45, 1992a.
- GUTING, R.H. An Introduction to Spatial Database Systems. *VLDB Journal*, 3(4), October 1994.
- GUTMAN, A. R-trees: a dynamic index structure for spatial searching. In: ACM SIGMOD CONFERENCE. *Proceedings*, Boston, ACM, pp. 47-57, 1984.
- INTERGRAPH, MGE- *The Modular GIS Environment*, 1990.  
<<http://www.intergraph.com/gis>>

- MAGUIRE,D. An Overview and Definition of GIS. In: Maguire,D.; Goodchild, M.; Rhind, D. (eds) *Geographical Information Systems: Principles and Applications*. New York, John Wiley and Sons, 1991, pp. 9-20.
- MOREHOUSE, S. The ARC/INFO Geographical Information System. *Computers & Geosciences*, 18(4): 435-443, 1992.
- NAMIKAWA, L. M. *Um método de ajuste de superfície para grades triangulares considerando linhas características*. (Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, Brasil, 1995.
- NCGIA, The Research Plan for the NCGIA, *International Journal of Geographic Information Systems*, 3(2):117-136, 1989.
- SAMET, H. *The Design and Analysis of Spatial Data Structures*. Reading, Addison-Wesley, 1990.
- STEVENS,S. *Handbook of Experimental Psychology*. New York, Wiley, 1951.
- TUFTE, E.R.. *The Visual Display of Quantitative Information*. Cheshire, USA, Graphics Press, 1983.
- VAN KREVELD, M.; ROOS,T, NIEVERGELT,J. (eds.) *Algorithmic Foundations of Geographic Information Systems (Lecture Notes in Computer Science, 1340)*. Berlin, Springer-Verlag, 1998.
- WORBOYS, M.F. *GIS: A Computing Perspective*. London, Taylor and Francis, 1995.