



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-10506-RPQ/249

INTRODUÇÃO À CIÊNCIA DA GEOINFORMAÇÃO

Editado e organizado por

Gilberto Câmara

Clodoveu Davis

Antônio Miguel Vieira Monteiro

INTRODUÇÃO

Gilberto Câmara

Clodoveu Davis

1.1 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 (GIS¹)*, 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 SIG.

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.

¹ 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 SIG (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 com veículo de estudos e pesquisas.
- MaxiDATA: os então responsáveis pelo setor de informática da empresa de aerolevanteamento 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 SIG (VISION) com um banco de dados cliente-servidor (ORACLE), o SAGRE envolve 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 REFERÊNCIAS ADICIONAIS

O objetivo deste trabalho é apresentar ao leitor uma visão focada nos problemas de análise espacial, que sirva de motivação para estudos e pesquisas avançadas. Em particular, recomenda-se a leitura do livro de Burrough (1998), por causa de seu excelente tratamento da questão de análise espacial e o livro de Assad e Sano (1993), por sua apresentação muito didática de exemplos reais. Para os mais versados na área de informática, recomenda-se fortemente os textos de Worboys (1995) e de Câmara et al. (1996). Finalmente, a coletânea de Maguire, Goodchild e Rhind (1991) é um livro de referência, sempre útil para consulta sobre questões específicas

BIBLIOGRAFIA

- 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).
- BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R.A. *Principles of geographical information systems*. Oxford, Oxford University Press, 1998.
- 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.
- 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.
- MAGUIRE, D.; GOODCHILD, M.; RHIND, D. (eds.) *Geographical Information Systems: Principles and Applications*. New York, John Wiley and Sons, 1991.
- NCGIA, The Research Plan for the NCGIA, *International Journal of Geographic Information Systems*, 3(2):117-136, 1989.
- TUFTE, E.R.. *The Visual Display of Quantitative Information*. Cheshire, USA, Graphics Press, 1983.
- WORBOYS, M.F. *GIS: A Computing Perspective*. London, Taylor and Francis, 1995.

CONCEITOS BÁSICOS EM CIÊNCIA DA GEOINFORMAÇÃO

Gilberto Câmara¹
Antônio Miguel Vieira Monteiro

2.1 INTRODUÇÃO

Trabalhar com geoinformação significa, antes de mais nada, utilizar computadores como instrumentos de representação de dados espacialmente referenciados. Deste modo, o problema fundamental da Ciência da Geoinformação é o estudo e a implementação de diferentes formas de representação computacional do espaço geográfico.

É costume dizer-se que Geoprocessamento é uma *tecnologia interdisciplinar*, que permite a convergência de diferentes disciplinas científicas para o estudo de fenômenos ambientais e urbanos. Ou ainda, que “o espaço é uma linguagem comum” para as diferentes disciplinas do conhecimento.

Apesar de aplicáveis, estas noções escondem um problema conceitual: a pretensa interdisciplinaridade dos SIGs é obtida pela *redução* dos conceitos de cada disciplina a *algoritmos* e *estruturas de dados* utilizados para armazenamento e tratamento dos dados geográficos. Considere-se, a título de ilustração, alguns problemas típicos:

- Um sociólogo deseja utilizar um SIG para entender e quantificar o fenômeno da *exclusão social* numa grande cidade brasileira.
- Um ecólogo usa o SIG com o objetivo de compreender os remanescentes florestais da Mata Atlântica, através do conceito de *fragmento* típico de Ecologia da Paisagem.
- Um geólogo pretende usar um SIG para determinar a *distribuição* de um mineral numa área de prospecção, a partir de um conjunto de amostras de campo.

¹ Com a colaboração de Cláudio Clemente Faria Barbosa, Clodoveu Davis e Frederico Fonseca.

O que há de comum em todos os casos acima? Para começar, cada especialista lida com conceitos de sua disciplina (*exclusão social, fragmentos, distribuição mineral*). Para utilizar um SIG, é preciso que cada especialista transforme conceitos de sua disciplina em representações computacionais. Após esta tradução, torna-se viável compartilhar os dados de estudo com outros especialistas (eventualmente de disciplinas diferentes). Em outras palavras, quando falamos que o espaço é uma linguagem comum no uso de SIG, estamos nos referindo ao *espaço computacionalmente representado* e não aos conceitos abstratos de *espaço geográfico*.

Do ponto de vista da aplicação, utilizar um SIG implica em escolher as representações computacionais mais adequadas para capturar a semântica de seu domínio de aplicação. Do ponto de vista da tecnologia, desenvolver um SIG significa oferecer o conjunto mais amplo possível de estruturas de dados e algoritmos capazes de representar a grande diversidade de concepções do espaço.

Nesta perspectiva, este capítulo examina os problemas básicos de representação computacional de dados geográficos. Os conceitos apresentados visam esclarecer as questões básicas do Geoprocessamento: *Como representar, em computadores, os dados geográficos? Como as estruturas de dados geométricas e alfanuméricas se relacionam com os dados do mundo real? Que alternativas de representação computacional existem para dados geográficos?*

Para simplificar a discussão, lidaremos neste capítulo com dados individuais (cada mapa considerado em separado dos demais dados). No próximo capítulo (*Modelagem de Dados em Geoprocessamento*) estaremos considerando o problema de modelar uma aplicação complexa, incluindo os relacionamentos entre os diferentes tipos de dados.

2.2 TRADUZINDO A INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA O COMPUTADOR

Para abordar o problema fundamental do Ciência da Geoinformação (o entendimento das representações computacionais do espaço), estaremos utilizando, neste e em outros capítulos do livro, um arcabouço conceitual para entender o processo traduzir o mundo real para o ambiente computacional: o “paradigma dos quatro universos” (Gomes e Velho, 1995), que distingue:

- o universo do *mundo real*, que inclui as entidades da realidade a serem modeladas no sistema;
- o universo *matemático (conceitual)*, que inclui uma definição matemática (formal) das entidades a ser representadas;

- o universo de *representação*, onde as diversas entidades formais são mapeadas para representações geométricas e alfanuméricas no computador;
- o 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.

Esta visão deste paradigma está ilustrada na Figura 2.1.

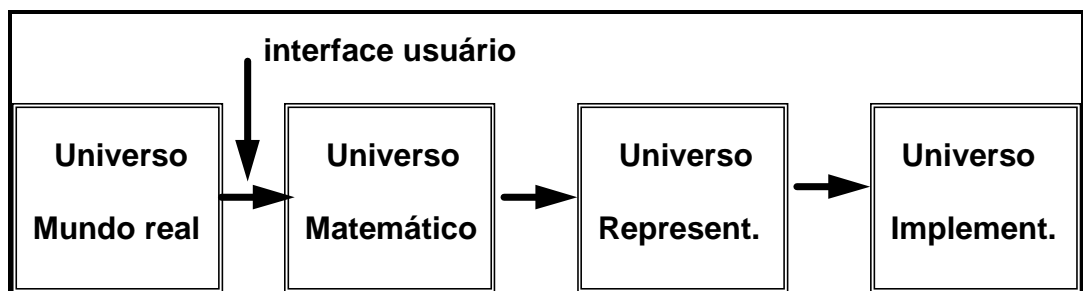


Figura 2.1 - Paradigma dos quatro universos.

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;
- o 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 SIG 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.

2.3 O UNIVERSO DO MUNDO REAL

2.3.1 SISTEMAS DE MEDIDA E DE REFERÊNCIA ESPAÇO-TEMPORAL

Um aspecto central no uso da tecnologia de Geoprocessamento advém da característica lógico-matemática de sistemas de informação; para ser representada em ambiente computacional, temos de associar a cada tipo de informação geográfica uma escala de medida e de referência, que será utilizada pelo GIS para caracterizá-lo.

A visão mais aplicada em Geoprocessamento utiliza uma escala de mensuração que permite associar grandezas numéricas a cada objeto a ser representado computacional. Esta visão deriva do conceito "representacionalista" proposto pelo filósofo Bertrand Russel: as propriedades não são intrínsecas aos objetos, mas são obtidas a partir de medidas. Assim, a representação de um objeto geográfico num GIS dependerá da escala que utilizarmos.

As regras de medida podem ir desde a simples atribuição do valor 0 ou 1 para as amostras (0 = seco, 1 = úmido), até um conjunto de valores extraídos dos números reais (23.3°C, 24.5°C, 28.1°C,....). A regra usada no processo de medição determina o seu nível, e cada nível de medida descreve a entidade de estudo com um determinado grau de detalhe, que varia de informações qualitativas até informações quantitativas. Como a forma de se medir as variáveis do mundo real afeta seus modos de manipulação, é essencial que o nível de medida utilizado seja incorporado a um conjunto de observações.

A referência histórica mais importante sobre os sistemas de medidas aplicados em GIS é o trabalho de Stevens (1951), em que esse autor propõe quatro escalas de mensuração: *nominal, ordinal, intervalo e razão*. Os dois primeiros níveis

são *temáticos*, pois a cada medida é atribuído um número ou nome associando a observação a um tema ou classe. Quando um valor numérico é usado nos níveis de medidas *temáticos*, este valor serve somente como um identificador para nomear ou classificar aquela amostra da variável (1 = latossolo, 2 = podzólico, ...), não podendo portanto ser usado em expressões matemáticas, pois são valores qualitativos e não quantitativos.

A regra para o nível de medida *nominal* baseia-se na diferenciação entre os objetos segundo classes distintas. Como exemplos de classes usadas em medidas nominais tem-se: classes de solo, classes de rocha, classes de cobertura vegetal. Uma característica comum dos níveis binário e nominal é que a classificação dos eventos é feita sem nenhuma ordem inerente e serve apenas para diferenciá-los.

O nível de medida *ordinal* atribui valores ou nomes para as amostras, mas gera um conjunto ordenado de classes, baseado em critérios como tamanho (maior do que, menor do que), altura (1 = baixo, 2 = médio, 3 = alto), etc. Dados temáticos de classes de drenagem e de erosão, são exemplos de variáveis medidas no nível ordinal.

Uma característica importante dos níveis de medidas temáticas, é que elas não determinam magnitude. Quando o estudo necessita de uma descrição mais detalhada, que permita comparar intervalo e ordem de grandeza entre eventos, recorre-se aos níveis de medidas denominados de *numéricos*, onde as regras de atribuição de valores baseiam-se em uma escala de números reais.

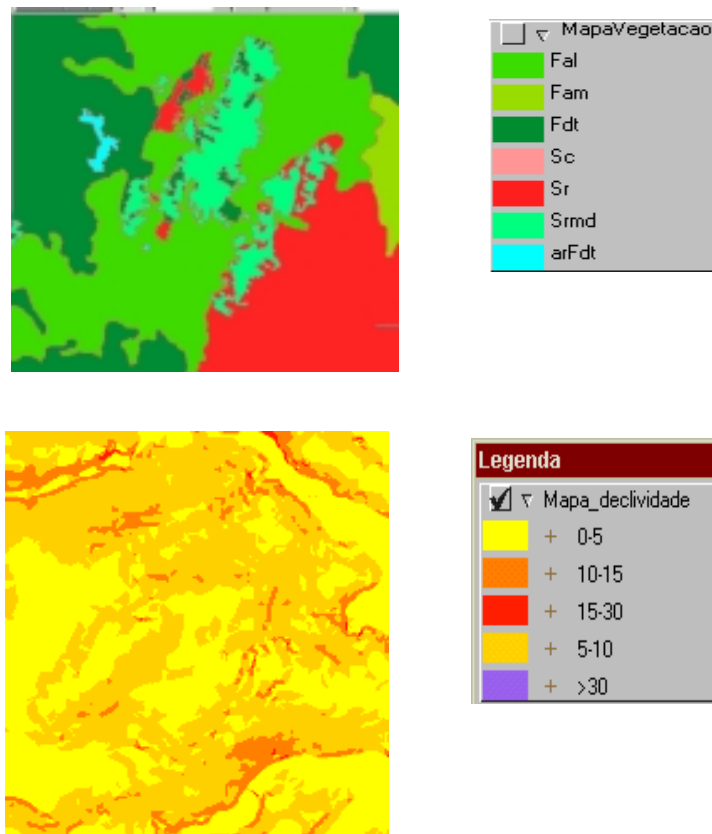


Figura 2.2 - Exemplos de medida nominal (mapa de vegetação) e medida ordinal (mapa de classes de declividade).

Existem dois níveis de medidas baseados em escala de números reais: *o nível por intervalo e o nível por razão*. No nível de medida por intervalo o ponto de referência zero é definido de forma arbitrária, permitindo a atribuição de valores negativos, e positivos $[-\infty, 0, +\infty]$, para as amostras. O equador e o meridiano de Greenwich, usados com referência na determinação de posições sobre a superfície da Terra é um exemplos de referência zero arbitrária e a localização geográfica em latitude/longitude é exemplos de variáveis descritas no nível de medida por intervalo. Por ter um ponto de referência zero arbitrária, valores medidos no nível por intervalo não podem ser usados para estimar proporções.

No nível de medida por *razão* o ponto de referência zero não é arbitrário, mas determinado por alguma condição natural. Por exemplo, na descrição de atributos como o peso, a distância entre dois pontos, a área e o volume de objetos, não faz sentido físico valores negativos, sendo a ausência destes atributos o ponto de origem zero na escala de medida correspondente. No caso de temperatura, a condição natural é o ponto de repouso dos átomos da matéria, a partir do qual não se consegue

temperaturas menores. Este ponto é o zero absoluto para temperatura, zero graus Kelvin. Por ter como referência um ponto de zero absoluto, as medidas feitas no nível de medida por razão permitem estimar proporções e podem ser usadas em operações de multiplicação, divisão e subtração entre amostras.

As medidas temáticas e as numéricas por intervalo não devem ser usadas diretamente em expressões matemáticas. Entretanto, na prática, os modelos ambientais combinam valores por razão com valores por intervalo. Nestes casos, parâmetros devem ser incluídos para permitir a conversão de valores medidos no nível por intervalo para o nível por razão, em unidades apropriadas.

2.4 TIPOS DE DADOS EM GEOPROCESSAMENTO

2.4.1 DADOS 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 2.2 (mapa de vegetação e mapa de declividade) são exemplos de dados temáticos.

2.4.2 DADOS CADASTRAIS

Um dado cadastral distingue-se de um temático, pois cada um de seus elementos é um *objeto geográfico*, que possui atributos e pode estar associado a várias representações gráficas. Por exemplo, os lotes de uma cidade são elementos do espaço geográfico que possuem atributos (dono, localização, valor venal, IPTU devido, etc.) e que podem ter representações gráficas diferentes em mapas de escalas distintas. Os atributos estão armazenados num sistema gerenciador de banco de dados.

A Figura 2.3 mostra um exemplo de dado cadastral da América do Sul, onde os países possuem atributos não-gráficos (PIB e população).

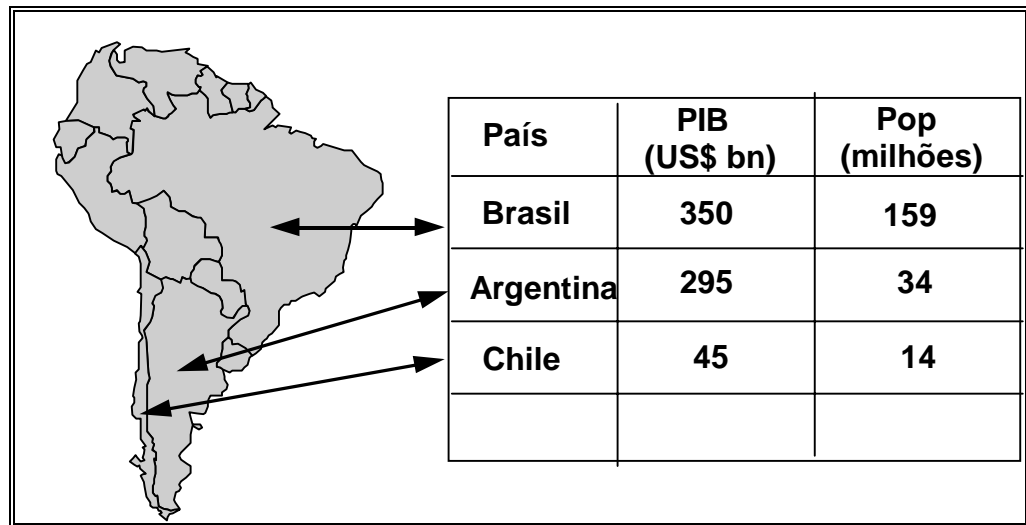


Figura 2.3 - Exemplo de dado cadastral (países da América do Sul).

2.4.3 REDES

Em Geoprocessamento, o conceito de "rede" denota as informações associadas a:

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

No caso de redes, cada objeto geográfico (e.g: cabo telefônico, transformador de rede elétrica, cano de água) possui uma *localização geográfica exata* e está sempre associado a atributos descritivos presentes no banco de dados.

As informações gráficas de redes 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 2.4.

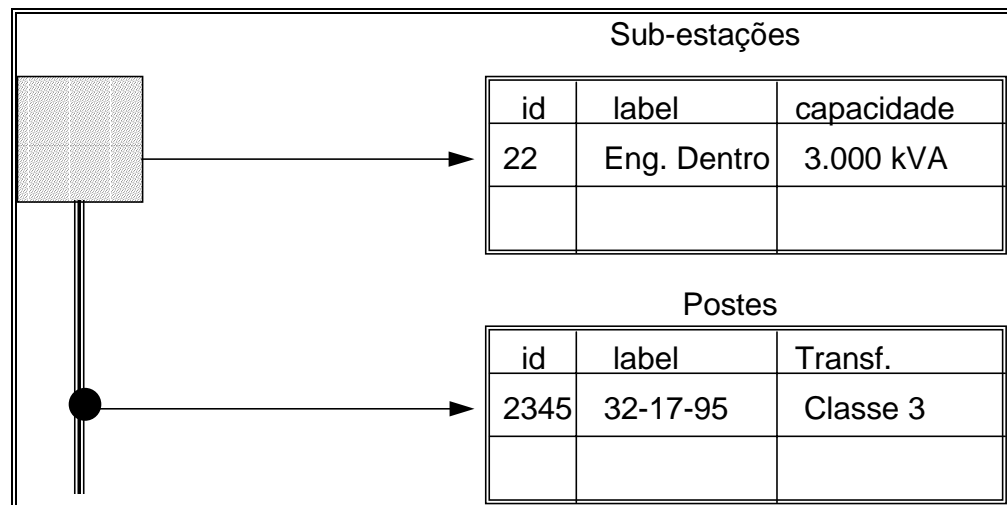


Figura 2.4 - Elementos de Rede.

Como observa Goodchild (1992b), uma rede é um sistema de endereçamento 1-D embutido no espaço 2-D. Para citar um exemplo, tome-se uma rede elétrica, que tem, entre outros, os componentes: postes, transformadores, sub-estações, linhas de transmissão e chaves. As linhas de transmissão serão representadas topologicamente como os arcos de um grafo orientado, estando as demais informações concentradas em seus nós. Note-se que os algoritmos de cálculo de propriedades da rede podem, em sua grande maioria, ser resolvidos apenas com a topologia da rede e de seus atributos.

2.4.4 MODELOS NUMÉRICOS DE TERRENO

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 de z , que descrevem a variação contínua da superfície. Um exemplo de MNT é apresentado na figura 2.5.

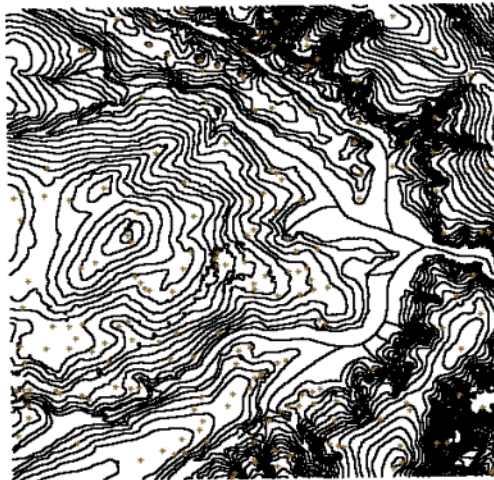


Figura 2.5 - Exemplo de modelo numérico de terreno (isolinhas de topografia).

2.4.5 IMAGENS

Obtidas por satélites, fotografias aéreas ou "scanners" aerotransportados, as imagens representam formas de captura indireta de informação espacial. 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 2.6 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 contidos na imagem, sendo necessário recorrer a técnicas de fotointerpretação e de classificação para individualizá-los.

Características importantes de imagens de satélite são: o número e a largura de bandas do espectro eletromagnético imageadas (*resolução espectral*), a menor área da superfície terrestre observada instantaneamente por cada sensor (*resolução espacial*), o nível de quantização registrado pelo sistema sensor (*resolução radiométrica*) e o intervalo entre duas passagens do satélite pelo mesmo ponto (*resolução temporal*).

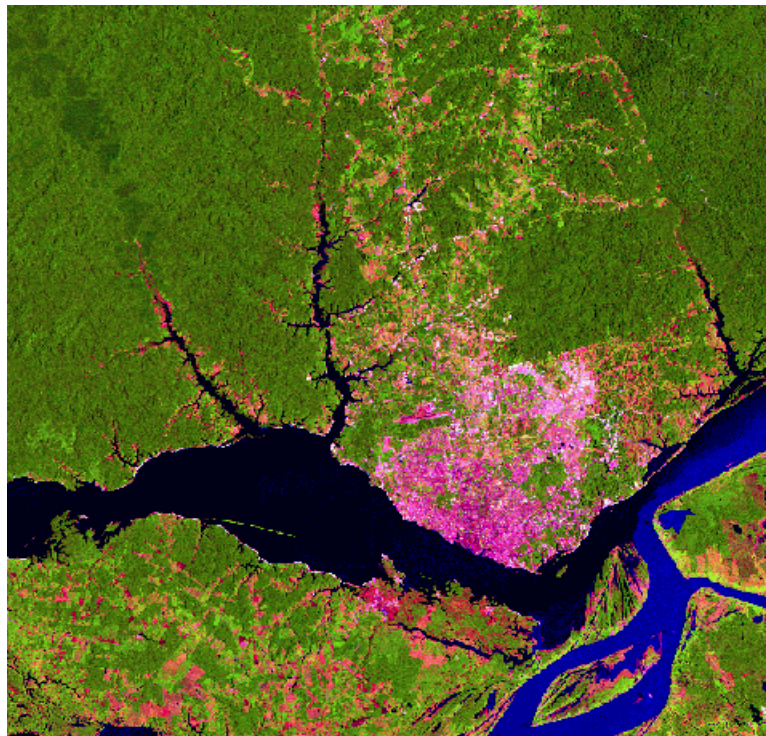


Figura 2.6 - Exemplo de Imagem (composição colorida TM/VIIRS para a região de Manaus).

2.5 O UNIVERSO CONCEITUAL

2.5.1 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, seguir-se-ão os seguintes passos:

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

2.5.2 REGIÃO GEOGRÁFICA

Definição 2.1. 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.

2.5.3 GEO-CAMPOS

Definição 2.2. 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 2.7, apresenta um exemplo de geo-campos.

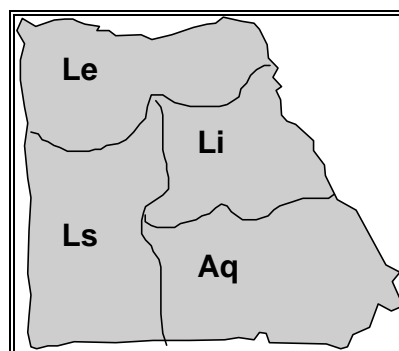


Figura 2.7 - Geo-campo temático (solos).

2.5.3.1 GEO-OBJETO

Definição 2.3. 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 quadrículas 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 alteradas²;

Para ilustrar este conceito, considere-se a Figura 2.8, 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 Xingú têm representações em diferentes particionamentos espaciais do banco de dados.

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

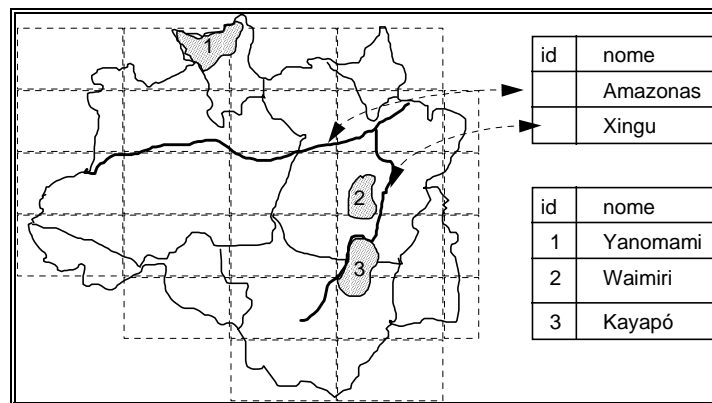


Figura 2.8 - Princípio de identidade em bancos de dados geográficos.

2.5.3.2 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 2.4. 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 SIG.

O exemplo anexo mostra o caso de uma aplicação de cadastro rural, mostrada na Figura 2.9. 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*.

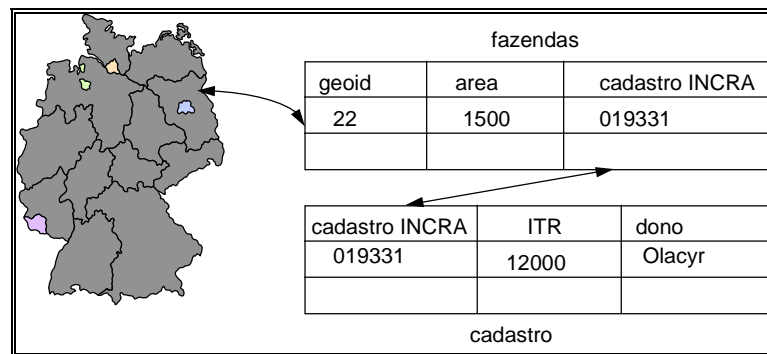


Figura 2.9 - Exemplo de ligação entre geo-objeto e objeto não-espacial.

2.6 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).

2.6.1 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 e 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 2.10 mostra um mesmo mapa representado por células de diferentes tamanhos (diferentes resoluções), representando diferentes áreas no terreno.

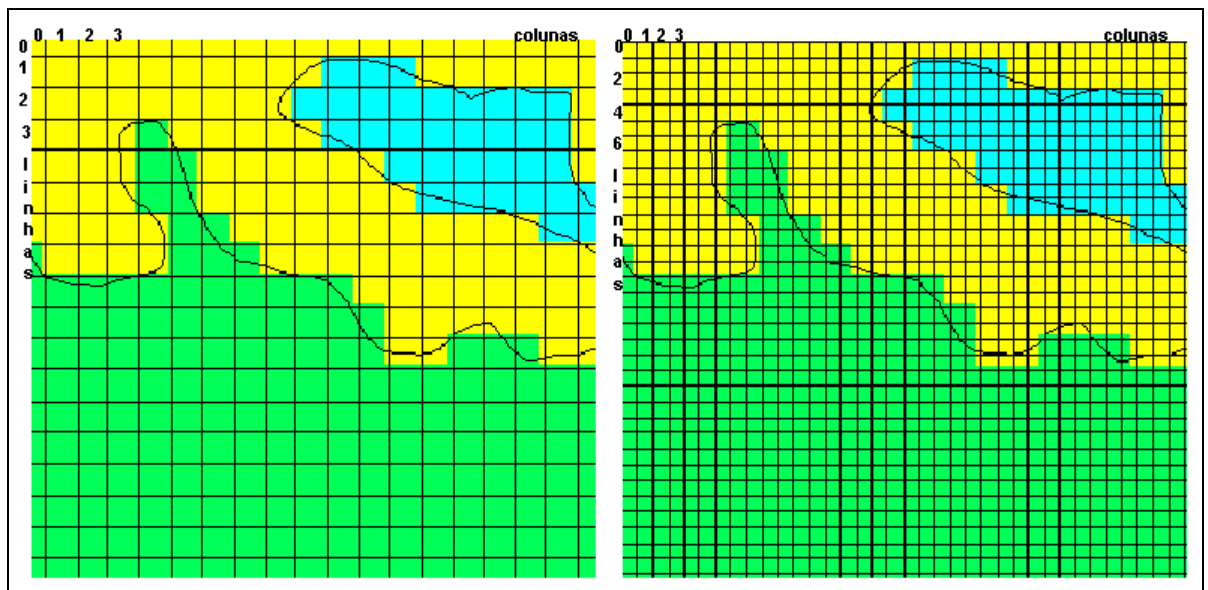


Figura 2.10 - Diferentes representações matriciais para um mapa.

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 à 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 quadrícula. 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.

Hierarquia de Representações Matriciais

A REPRESENTAÇÃO GEOMÉTRICA MATRICIAL pode ser especializada segundo a hierarquia de classes mostrada na Figura 2.11.

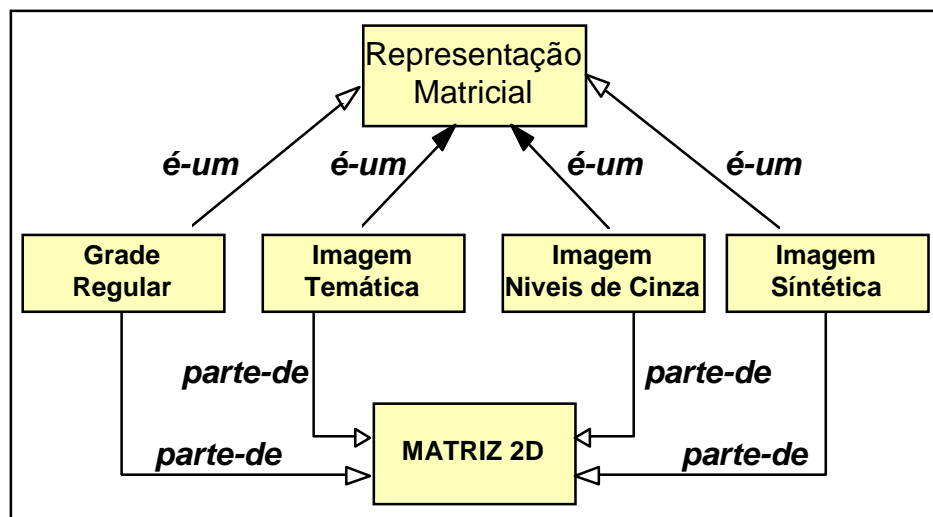


Figura 2.11 - Hierarquia de classes para representação matricial.

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.

2.6.2 REPRESENTAÇÃO VETORIAL

2.6.2.1 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: 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 linhas poligonais conectadas de tal forma que o último ponto de uma linha seja idêntico ao primeiro da próxima.

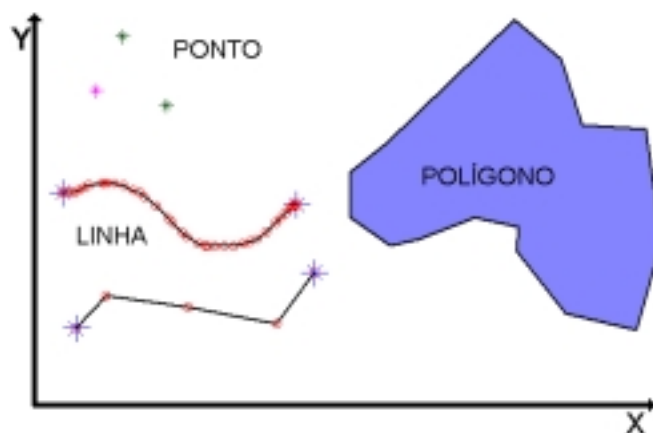


Figura 2.12 - Elementos da representação vetorial

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.

2.6.2.2 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 variadas formas de utilização. 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 relação de adjacência, utilizamos formas específicas de representação vetorial: as representações topológicas.

2.6.2.3 TOPOLOGIA ARCO-NÓ

A topologia arco-nó é a representação vetorial associada a um 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 2.13, que mostra uma parte de uma rede de distribuição elétrica, com os seus diversos componentes (sub-estação, rede, poste, transformador, consumidor).

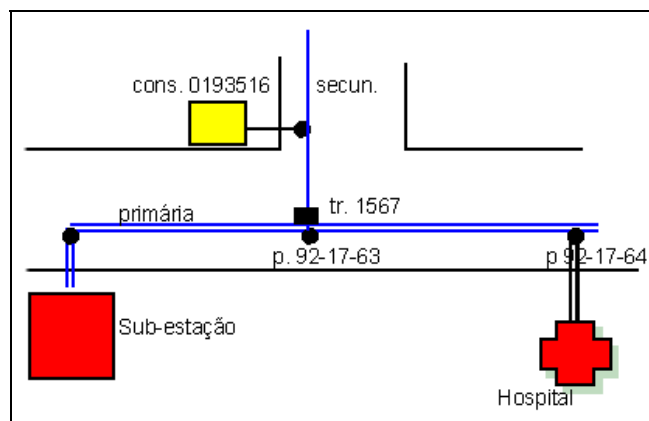


Figura 2.13 - Exemplo de topologia arco-nó (rede elétrica).

2.6.2.4 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 2.14 mostra de forma simplificada um exemplo desta estrutura topológica.

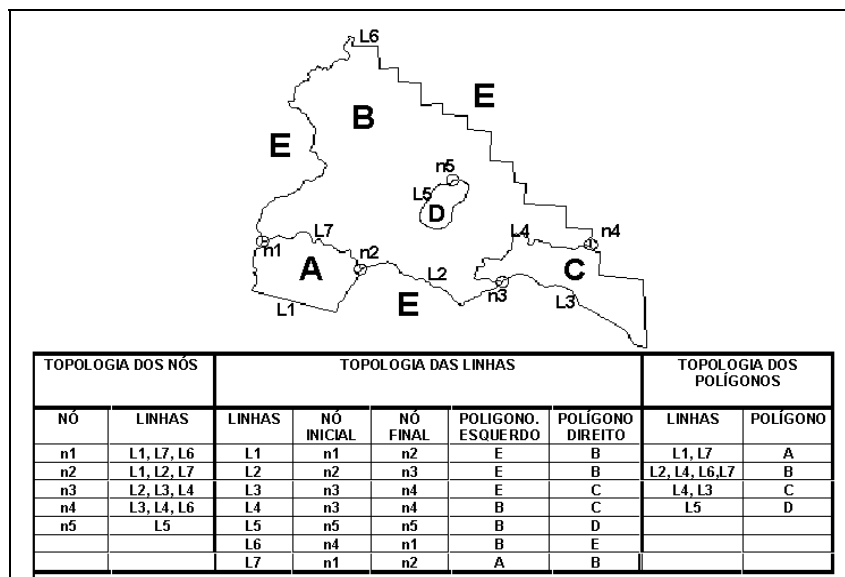


Figura 2.14 - Estrutura topológica do tipo arco-nó-polígono.

2.6.2.5 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 $(x_i, y_j) \in R$;
- COORDENADA3D - Uma coordenada 3D é um objeto composto por uma localização singular (x_i, y_j, z) , onde $(x_i, y_j) \in R$;
- 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 percorrimto;
- 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 percorrimto;
- NÓ 3D - um nó 3D instância desta classe contém uma coordenada 3D (x_i, y_i, z_i) e um 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 2.15, 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”).

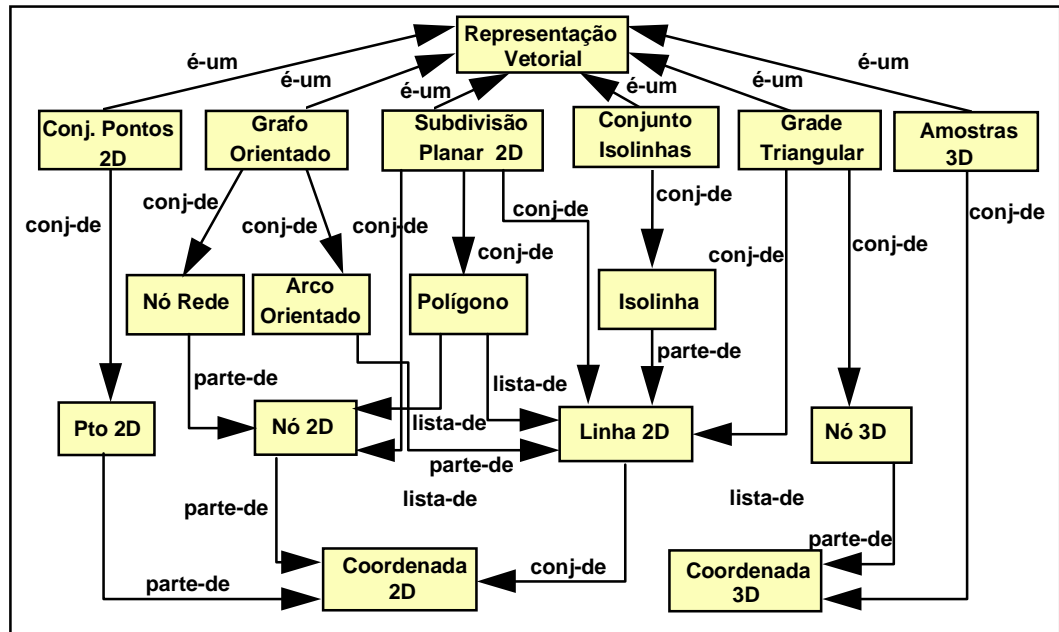


Figura 2.15 - Hierarquia de classes para representação vetorial.

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.

2.7 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 2.16.

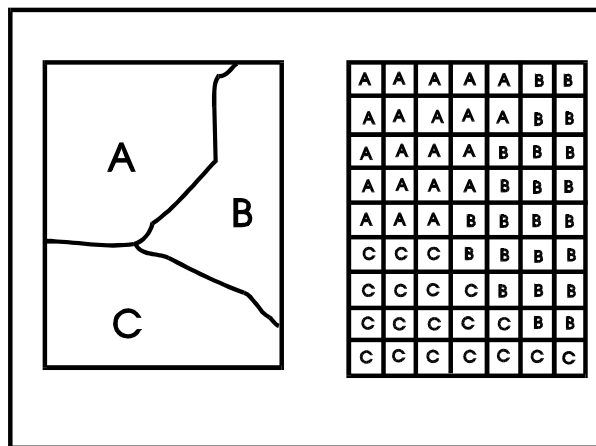


Figura 2.16 - Representação vetorial e matricial de um mapa temático.

A Tabela 2.1 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 2.1

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 fenômenos com variação contínua no espaço Simulação e modelagem mais fáceis
Escalas 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

2.8 REPRESENTAÇÕES DE MODELOS NUMÉRICOS DE TERRENO

2.8.1 GRADE REGULAR

A *grade regular* é uma representação matricial aonde cada elemento da matriz está associado a um valor numérico, como mostra a Figura 2.17. 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.

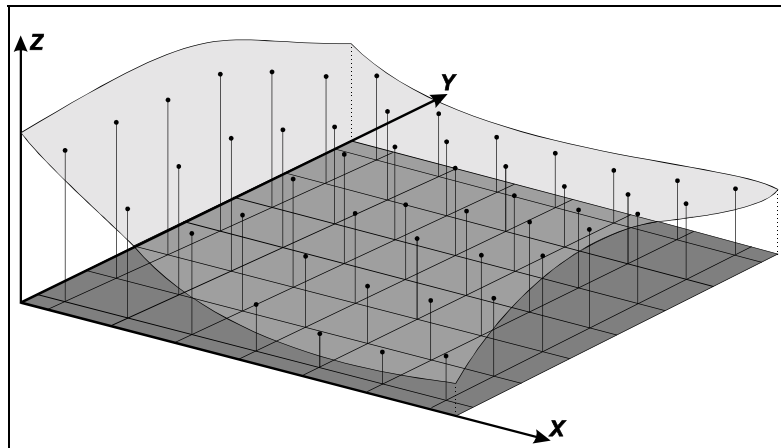


Figura 2.17 - Superfície e grade regular correspondente. (Fonte: Namikawa 1995).

2.8.2 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 armazenados 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 2.18 mostra uma superfície tridimensional e a grade triangular correspondente.

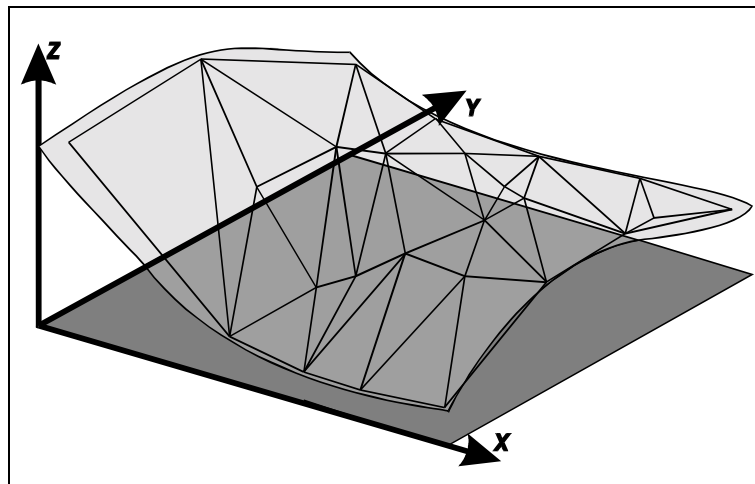


Figura 2.18 - Superfície e malha triangular correspondente. (Fonte: Namikawa 1995).

2.8.3 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 2.2 resume as principais vantagens e desvantagens de grades regulares e malhas triangulares.

TABELA 2.3

COMPARAÇÃO ENTRE GRADES REGULARES E MALHAS TRIANGULARES PARA REPRESENTAR MODELOS NUMÉRICOS DE TERRENO

	Malha triangular	Grade regular
Vantagens	<ol style="list-style-type: none"> 1. Melhor representação de relevo complexo 2. Incorporação de restrições como linhas de crista 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Facilita manuseio e conversão 2. Adequada para geofísica e visualização 3D
Problemas	<ol style="list-style-type: none"> 1. Complexidade de manuseio 2. Inadequada para visualização 3D 	<ol style="list-style-type: none"> 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).

2.9 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 a seguir. Para alternativas, o leitor deverá reportar-se ao capítulo 3 deste texto.

2.9.1.1 ESTRATÉGIA DUAL

Um SIG implementado com a estratégia dual utiliza um SGBD relacional para armazenar os atributos convencionais dos objetos geográficos (na forma de tabelas) e arquivos para guardar as representações geométricas destes objetos. No *modelo relacional*, os dados são organizados na forma de uma *tabela* onde as *linhas* correspondem aos *dados* e as *colunas* correspondem aos *atributos*.

A entrada dos atributos não-espaciais é feita por meio de um SGBD relacional e para cada entidade gráfica inserida no sistema é imposto um identificador único ou *rótulo*, através do qual é feita uma *ligação lógica* com seus respectivos atributos não-espaciais armazenados em tabelas de dados no SGBD, como ilustrado na Figura 2.19.

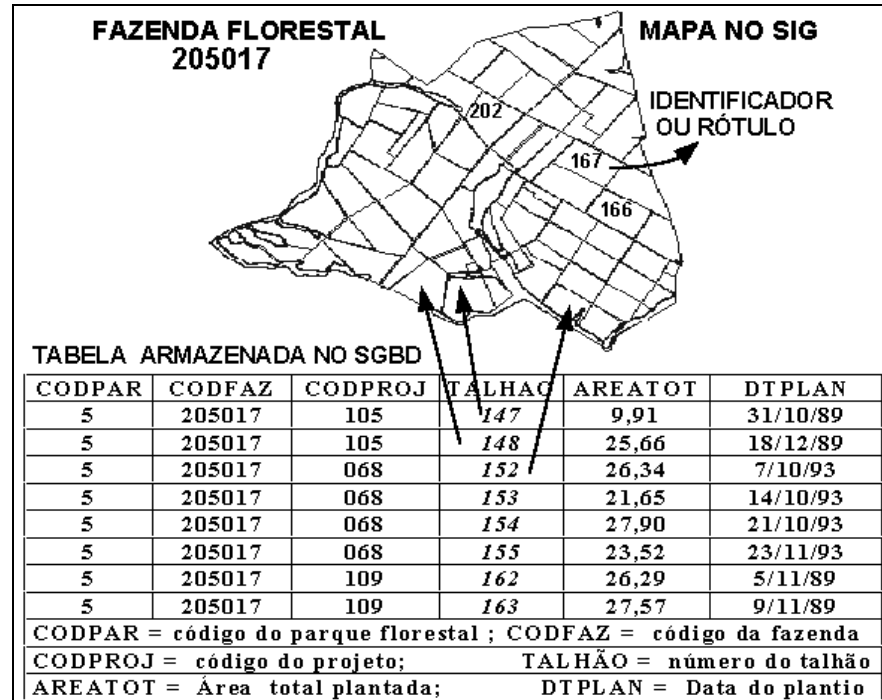


Figura 2.19 - Estratégia dual para bancos de dados geográficos.

A Figura 2.19 exemplifica as ligações lógicas criadas entre os rótulos dos talhões de um mapa florestal e seus atributos correspondentes (registros no “campo” TALHÃO) numa tabela de banco de dados.

O mesmo tipo de relacionamento lógico pode ser feito em outros casos, como por exemplo: moradores em um lote, lotes em uma quadra, quadras em bairro, bairros em uma cidade; hidrantes de segurança ou telefones públicos ao longo de uma avenida; postos de serviço e restaurantes ao longo de uma rodovia.

A principal vantagem desta estratégia é poder utilizar os SGBDs relacionais de mercado. No entanto, como as representações geométricas dos objetos espaciais estão fora do controle do SGBD, esta estrutura dificulta o equacionamento das questões de otimização de consultas, gerência de transações e controle de integridade e de concorrência. Estes problemas só podem ser resolvidos através de implementações sofisticadas das camadas superiores da arquitetura genérica, que operem coordenadamente com o SGBD convencional. Exemplos de sistemas comerciais baseados em estratégia dual são o ARC/INFO (Morehouse, 1992), MGE (Intergraph, 1990) e o SPRING (Câmara et al., 1996).

2.10 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;
- o 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;
- o 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).

2.11 RESUMO

Para compreender melhor a relação entre os diferentes universos (níveis) do modelo, a Tabela 2.4 contém vários exemplos de entidades do mundo real e suas correspondentes no modelo.

TABELA 2.4

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>
Mapa de vegetação	Geo-campo Temático	Matriz de inteiros Subdivisão Planar	Quad-tree Linhas 2D (com R-Tree)
Mapa altimétrico	Geo-campo Numérico	Grade regular Grade triangular Conjunto Pontos 3D Conjunto Isolinhas	Matriz 2D Linhas 2D e Nós 3D Pontos 3D (KD-tree) Linhas 2D
Lotes urbanos Rede elétrica	Geo-objetos Rede	Polígonos e Tabela Grafo Orientado	Linhas 2D e Nós 2D Linhas 2D (com R-Tree)

2.12 ORGANIZAÇÃO DE AMBIENTE DE TRABALHO EM SIG

Num SIG, existem duas grandes formas de organização de um ambiente de trabalho:

- organização baseada num *banco de dados geográficos* (“à la dBASE”);
- organização baseada em *projetos* (“à la AutoCAD”).

No primeiro caso, o usuário define inicialmente o esquema conceitual associado às entidades do banco de dados geográficos, indicando para cada tipo de dados seus atributos não-espaciais e as representações geométricas associadas. Procede-se da mesma forma que num banco de dados tradicional (como o dBASE ou o ACCESS), onde a definição da estrutura do banco precede a entrada dos dados. O SPRING e o MGE são exemplos de sistemas organizados como bancos de dados geográficos. No segundo caso, o usuário define inicialmente um referencial geográfico (que delimita uma região de trabalho) e a seguir, define as entidades geográficas que compõem o projeto. O ARC/INFO, SGI e IDRISI são exemplos desta classe de sistemas.

Note-se que um banco de dados geográficos pode ser particionado em projetos, sendo que as definições do esquema conceitual valem para todos os projetos do banco, mesmo que não haja continuidade espacial entre estes projetos.

Um projeto é usualmente composto por um conjunto de *níveis, camadas ou planos de informação (PIs)*, que variam em número, tipos de formatos e de temas, conforme as necessidades de cada tarefa ou estudo. Por exemplo, caso se desejasse fazer um estudo de uso atual do solo e seus impactos sobre o ambiente em uma região, definida em um projeto, seria necessário que este projeto fosse composto de *PIs* com os seguintes temas: 1) rede de drenagem; 2) cidades, rodovias e ferrovias; 3) altimetria; 4) geomorfologia; 5) unidades e associações dos solos; 6) tipologia vegetal; 7) tipos de uso e ocupação das terras. Os *PIs* 1, 2 e 3, quando superpostos, vão formar a cartografia básica da região de estudo ou mapa topográfico, como foi visto no capítulo 2. Os *PIs* restantes são os mapas especiais ou temáticos necessários para atingir o objetivo proposto, isto é, cada *PI* representa uma mesma área mas com informações geográficas diferentes.

Os *PIs* de um projeto podem pertencer a diferentes classes de dados relacionadas com os formatos de representação de dados disponíveis no SIG utilizado.

Esta organização da informação espacial é muito conveniente para permitir que diferentes variáveis sejam integradas ao banco de dados e que diferentes tipos de estudo possam ser realizados, combinando tão somente os fenômenos de interesse.

BIBLIOGRAFIA

- 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.
- DE BERG (ed.), *Computational Geometry : Algorithms and Applications*. Berlin, Springer Verlag, 1997.
- 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.; 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.
- GOODCHILD, M. Geographical information science. *International Journal of Geographical Information Systems*, 6 (2): 35-45, 1992a.
- GOODCHILD, M. Geographical data modeling. *Computers & Geosciences*, 1992, 18(4): 401-408, 1992b.
- GOMES, J.M.; VELHO, L. *Computação Visual: Imagens*. Rio, SBM, 1995.
- 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>>
- VAN KREVELD, M.; ROOS, T, NIEVERGELT, J. (eds.) *Algorithmic Foundations of Geographic Information Systems (Lecture Notes in Computer Science, 1340)*. Berlin, Springer-Verlag, 1998.
- 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.

SAMET, H. *The Design and Analysis of Spatial Data Structures.* Reading, Addison-Wesley, 1990.

STEVENS, S. *Handbook of Experimental Psychology.* New York, Wiley, 1951.

WORBOYS, M.F. *GIS: A Computing Perspective.* London, Taylor and Francis, 1995.

FUNDAMENTOS EPISTEMOLÓGICOS DA CIÊNCIA DA GEOINFORMAÇÃO

Gilberto Câmara

Antônio Miguel Vieira Monteiro

José Simeão de Medeiros

5.1 DA NECESSIDADE DE CONCEITOS

A tecnologia de sistemas de informação geográfica evoluiu de maneira muito rápida a partir da década de 70. Como este desenvolvimento foi motivado desde o início por forte interesse comercial, não foi acompanhado por um correspondente avanço nas bases conceituais da geoinformação; como resultado, o aprendizado do Geoprocessamento tornou-se singularmente dificultado. Ao contrário de outras disciplinas (como Banco de Dados), não há um corpo básico de conceitos teóricos, que sirva de suporte para o aprendizado da tecnologia, mas uma diversidade por vezes contraditória de noções empíricas. Muitos livros-texto e cursos são organizados e apresentados em função de um sistema específico, sem fornecer ao aluno uma visão sólida de fundamentos de aplicação geral.

As raízes deste problema estão na própria natureza interdisciplinar (alguns diriam *transdisciplinar*) da Ciência da Geoinformação. Ponto de convergência de áreas como Informática, Geografia, Planejamento Urbano, Engenharia, Estatística e Ciências do Ambiente, a Ciência da Geoinformação ainda não se consolidou como disciplina científica independente; para que isto aconteça, será preciso estabelecer um conjunto de conceitos teóricos, de aplicação genérica e independentes de aspectos de implementação.

Para estabelecer as bases epistemológicas da Ciência da Geoinformação, será preciso – em primeiro lugar – identificar as fontes de contribuição teórica nas quais poderemos buscar bases para a reflexão. Este trabalho propõe tomar o conceito de *espaço geográfico* como uma noção-chave, a partir do qual podemos construir os fundamentos teóricos desta nova disciplina científica. Consideramos que, apesar de seu caráter interdisciplinar, o fundamento básico da Ciência da Geoinformação é a *construção de representações computacionais do espaço*. Assim, ao revisar as principais concepções da Geografia, na perspectiva da construção de sistemas de informação, estaremos contribuindo não apenas para a fundamentação teórica do Geoprocessamento, como ainda buscando inspiração para o projeto das novas gerações de GIS.

Ao fazer uma revisão das diferentes concepções de *espaço geográfico*, não pretendemos estabelecer juízo de valor, mas estabelecer como a tecnologia de GIS permite a expressão computacional destes conceitos e o que estas diferentes escolas nos podem ensinar sobre as limitações atuais do Geoprocessamento. Para tanto, selecionamos alguns autores

representativos de diferentes correntes da geografia. No caso da Geografia Regional¹, partimos dos conceitos de (Hartshorne, 1936). Para a Geografia Quantitativa (no Brasil também chamada de Teórica), tomamos como base (Harvey, 1969) e (Chorley and Haggett, 1967). No caso da Geografia do Tempo, utilizamos (Hägerstrand, 1967). Nossa discussão da Geografia Crítica está baseada nos trabalhos de (Santos, 1996) e (Harvey, 1989). Para esta revisão, utilizamos ainda os trabalhos de (Christofolletti, 1985) (Moraes, 1995) e (Corrêa, 1995).

5.2 A GEOGRAFIA IDIOGRÁFICA DE HARTSHORNE E O GEOPROCESSAMENTO

Em seu livro “Os Princípios e a Natureza da Geografia”, Hartshorne procurou consolidar um base teórica para os estudos geográficos baseada no conceito da “unicidade”. Na sua visão, o objeto de estudo da Geografia seria “o estudo de fenômenos individuais” e a “a preocupação com o único na geografia não está limitada ao fenômeno mas também se aplica a relacionamentos entre os fenômenos” (Hartshorne, 1936).

O conceito de “unidade-área” é apresentado em por (Hartshorne, 1936) como elemento básico de uma sistemática de estudos geográficos, denominada pelo autor de “estudos de variação de áreas”. Na visão de Hartshorne, uma *unit-area* é uma partição do espaço geográfico, definida pelo pesquisador em função do objeto de estudo e da escala de trabalho, que apresenta características individuais próprias; estas “unidade de área” seriam a base de um sistema de classificação e organização do espaço. A partir da decomposição do espaço em “unidades de área”, o pesquisador poderá relacionar, para cada uma destas partições, as correspondentes características físicas e bióticas que a individualizam em relação a todas as demais componentes do espaço. Hartshorne chamou esta abordagem de “Geografia Idiográfica”.

Hartshorne argumenta que o caráter de cada área seria dado pela integração das diferentes variáveis geográficas, tomadas em conjunto. (Moraes, 1995) assim exemplifica o método proposto por Hartshorne:

“O pesquisador seleciona dois ou mais fenômenos (p.ex. clima, produção agrícola, tecnologia disponível), observa-os, relaciona-os; repete várias vezes este procedimento, tentando abarcar o maior número de fenômenos (tipo de solo, destino da produção, número de cidades, tamanho do mercado consumidor, hidrografia, etc.). Uma vez de posse de vários fenômenos agrupados e interrelacionados, integra-os. (...) Este processo pode ser repetido várias vezes, até o pesquisador compreender o caráter da área enfocada (...)

O pesquisador pode parar na primeira integração, e reproduzir a análise (tomando os mesmos fenômenos e fazendo as mesmas interrelações) em outros lugares. As

¹ No caso das denominações das diferentes escolas de Geografia, adotamos a terminologia de 24. MORAES, A. C. R. **Geografia: Pequena História Crítica**. São Paulo, Hucitec, 1995..

comparações das integrações obtidas permitiriam chegar a um padrão de variação daqueles fenômenos tratados”.

A proposta de Hartshorne contribuiu para dar uma base metodológica para o uso do conceito de “unidade de área” em Geoprocessamento. A representação computacional correspondente aos conceitos de “unidade de área” em Hartshorne é o polígono fechado, que delimita cada região de estudo e um conjunto de atributos, tipicamente armazenados num banco de dados relacional. Um procedimento típico para aplicar a abordagem de Hartshorne em um ambiente de GIS seria:

- Tomando-se como base uma representação pictórica do espaço (como uma foto aérea ou imagem de satélite) e levantamentos preliminares de campo, realiza-se uma delimitação de unidades-área na região de estudo.
- Como alternativa, utilizam-se dados de cartografia temática e análises booleanas do tipo “SE...ENTÃO” para produzir um mapa de interseções dos diversos conjuntos de interesse. Estas interseções delimitam as unidades-área.
- Através de levantamentos de campo ou da integração de dados já disponíveis, como mapas pedológicos e vegetação, caracteriza-se cada unidade-área com os atributos que a singularizam das demais unidades. O resultado é um banco de dados geográficos com unidades-área delimitadas por polígonos, com um conjunto de atributos para cada unidade.
- Através de ferramentas de consulta (por atributos e espacial) do GIS, pode-se inferir as relações conjuntas entre as diversas unidades-área.

Do ponto de vista da representação computacional, o conceito de “unidade-área” de Hartshorne é equivalente aos conceitos de *unidade de paisagem* (Tricart, 1977)) e *land-unit* (Zonneveld, 1989), todos baseados no conceito-chave de delimitação de unidades homogêneas. Numa visão geral, pode-se dizer que a atual geração de GIS permite a realização dos conceitos de Hartshorne (e equivalentes), com poucas limitações.

5.3 A GEOGRAFIA QUANTITATIVA E O GEOPROCESSAMENTO

A base da Geografia Quantitativa (também chamada nos países de língua inglesa de *New Geography*) é a busca da aplicação do método hipotético-dedutivo que caracteriza as ciências naturais nos estudos geográficos. Típico desta perspectiva é o livro *Explanation in Geography* (Harvey, 1969), que propunha uma aplicação dos paradigmas de generalização e refutação, amplamente utilizados por disciplinas como Física, Química e Biologia, para os estudos geográficos. A lógica subjacente ao método hipotético-dedutivo é a de que existe uma realidade externa à nossa existência, e esta realidade pode ser capturada (ainda que de forma aproximada) utilizando os princípios da lógica e da matemática. Através de estudo e análise, os fenômenos podem ser explicados através de teorias científicas, que devem ser passíveis de experimentação e portanto, de refutação (Popper, 1975).

Ao criticar a falta de teorias explícitas na Geografia Idiográfica, os geógrafos desta escola passaram a utilizar teorias disponíveis em outras disciplinas científicas (Christofoletti, 1985). Na perspectiva da Geografia Quantitativa, é preciso construir modelos a ser utilizados na análise dos sistemas geográficos; estes modelos, construídos de forma teórica, devem ser verificados e validados com dados de campo a partir de técnicas estatísticas (Chorley and Haggett, 1967). Neste contexto, o estudo dos padrões de distribuição espacial dos fenômenos (eventos pontuais, áreas e redes) passa a formar uma base para estudos quantitativos do espaço.

A Geografia Quantitativa coloca grande ênfase em técnicas de Análise Espacial e Geoestatística (Bailey and Gattrel, 1995) e assim, conceitos advindos da Estatística Espacial passam a fazer parte do repertório dos geógrafos. Em particular, sobressai a idéia de *autocorrelação espacial* (Goodchild, 1988), como expressão básica da dependência entre observações no espaço em regiões vizinhas. Outro forte conceito oriundo da teoria estatística é a noção de *processo estacionário*, que indica uma área de trabalho na qual as relações entre as medidas são função da distância. Estes conceitos permitem a construção de superfícies, a partir de amostras de campos, com o uso de procedimentos geoestatísticos como a krigagem, ao qual podemos associar medidas de *incerteza*. Inicialmente propostas para a modelagem de recursos naturais (Goovaerts, 1997), as técnicas de estatística espacial vem sendo cada vez mais utilizadas para análise espacial de dados sócio-econômicos (Anselin, 1988) (Getis and Ord, 1996).

Vale notar que a caracterização de vizinhanças e processos estacionários é feita no *espaço absoluto* (ou cartesiano), definido a partir das relações espaciais típicas como as relações topológicas, direcionais e de distância. Alternativamente, (Harvey, 1969) advoga o uso do *espaço relativo* (ou *espaço das redes*), definido a partir das relações de *conectividade* entre os objetos, relações estas que implicam custos – dinheiro, tempo, energia – para se vencer a fricção imposta pela conexão (Corrêa, 1995). Entre os fenômenos geográficos representados no espaço relativo, incluem-se relações como fluxo de pessoas ou materiais, conexões funcionais de influência, comunicação e acessibilidade os objetos estabelecem relações entre si que dependem da conectividade.

A Geografia Quantitativa também tem buscado suporte computacional na Inteligência Artificial, em áreas como Redes Neurais, Autômatos Celulares e Lógica Nebulosa (“fuzzy logic”) (Burrough and Frank, 1996; Openshaw and Openshaw, 1997). No caso da lógica nebulosa (para citar um exemplo), a motivação básica parte das limitações das representações exatas (tipicamente realizadas por meio de polígonos). No dizer de Burrough:

“Os limites desenhados em mapas temáticos (como solo, vegetação, ou geologia) raramente são precisos e desenhá-los como linhas finas muitas vezes não representa adequadamente seu caráter. Assim, talvez não nos devemos preocupar tanto com localizações exatas e representações gráficas elegantes. Se pudermos aceitar que limites precisos entre padrões de vegetação e solo raramente ocorrem, nós estaríamos livres dos problemas de erros topológicos associados como superposição e interseção de mapas”(Burrough, 1986)

Com a escola Quantitativa, os estudos geográficos passam a incorporar, de forma intrínseca, o computador como ferramenta de análise. Neste sentido, o aparecimento, em meados da década de 70, dos primeiros sistemas de informação geográfica (GIS), deu grande impulso a esta escola. Ainda hoje, em países como os Estados Unidos, em que a Geografia Quantitativa é a visão dominante, os GIS são apresentados como as ferramentas fundamentais para os estudos geográficos, como indica o recente estudo da “National Academy of Sciences” (National Research Council, 1997).

De uma forma bastante geral, pode-se dizer a forma privilegiada de representação computacional associada à Geografia Quantitativa são as *superfícies*, que no computador correspondem a grades regulares e malhas triangulares e as *redes*, representadas por *matrizes de interação espacial*. As *superfícies* podem ser computadas a partir de dados de campo e também “dissolvendo-se” os limites poligonais que correspondem às unidades-área.

As *redes* são representadas através de matrizes de interação espacial, nas quais cada localidade onde se originam e destinam fluxos é representada por um ponto no espaço e os fluxos entre estas entidades são indicados como entradas numa matriz origem-destino. A partir desta matriz, pode-se computar modelos de alocação de recursos, usualmente apenas baseados em fluxos de recursos ou fluxos de transporte. Dentre estes modelos, destacam-se os *modelos gravitacionais*, assim chamados porque baseados na idéia de “atração” entre localidades a partir de “massas” atribuídas aos atributos destas localidades e da distância entre elas.

Apesar da forte relação entre os conceitos da Geografia Quantitativa e o Geoprocessamento, apenas a partir de meados da década de 90, os GIS passam a dispor de representações computacionais adequadas à plena expressão dos conceitos desta escola. As técnicas de geoestatística ainda estão em processo de integração aos principais sistemas de informação geográfica, e os processos de modelagem e propagação de incerteza (Heuvelink, 1998) ainda precisam ser plenamente incorporados aos GIS.

Adicionalmente, a tecnologia atual de Geoprocessamento ainda enfatiza a representação de fenômenos espaciais no computador de forma estática. No entanto, um significativo conjunto de fenômenos espaciais, tais como escoamento de água da chuva, planejamento urbano e dispersão de sementes, entre outros, são inerentemente dinâmicos e as representações estáticas utilizadas em GIS não os capturam de forma adequada. Deste modo, um dos grandes desafios da Ciência da Informação Espacial é o desenvolvimento de técnicas e abstrações que sejam capazes de representar adequadamente fenômenos dinâmicos.

Para representar os conceitos de modelos espaço-temporais, apenas a representação de superfícies em grades regulares não é suficiente. As leis que governam a dinâmica dos processos (sejam estes físicos ou sociais), precisam ser expressas através de equações iterativas, que incorporadas ao ambiente de GIS, permitem a simulação de fenômenos espaço-temporais (Burrough, 1998). Nos anos recente, o desenvolvimento de técnicas de modelagem dinâmica tem tomado duas grandes direções:

- modelos de processos físicos, tipicamente associados a problemas hidrológicos ou ecológicos, como os disponíveis no ambiente *PCRaster* (Wesseling, Karssenberget al., 1996).
- modelos de sistemas sócio-econômicos, que variam desde modelos de micro-escala baseados em autômatos celulares (Coullelis, 1997) a modelos multi-escala que incorporam efeitos de variáveis exógenas (White and Engelen, 1997).

Deste modo, o desafio de incorporação da Geografia Quantitativa ao GIS ainda não está plenamente realizado. Especialmente no caso de modelos para processos espaço-temporais, os GIS ainda se comportam mais como “sistemas cartográficos de informação” do que como “sistemas de informação geográfica”, devido à natureza estática de suas representações computacionais. Esperamos que os próximos anos tragam avanços substanciais nestas técnicas, especialmente no caso de modelagem dinâmica.

5.4 A GEOGRAFIA CRÍTICA E O GEOPROCESSAMENTO

5.4.1 Introdução

A ênfase da Geografia Quantitativa no uso de grandezas mensuráveis para caracterização do espaço geográfico vem sendo objeto de fortes críticas nas últimas duas décadas. Estas críticas argumentam que, apesar dos resultados obtidos no estudo dos padrões espaciais, as técnicas da Geografia Quantitativa não conseguem explicar os processos sócio-econômicos subjacentes a estas distribuições, nem capturar o componente das ações e intenções dos agentes sociais (Harvey, 1988). A visão desta nova escola (aqui chamada de Geografia Crítica, adotando a terminologia de (Moraes, 1995)) é ainda motivada pelo contexto de uma diferenciação ideológica. Para os críticos mais extremados, a Geografia Quantitativa estaria comprometida com uma grande visão ideológica associada à expansão do capitalismo, e os muitos teóricos da Geografia Crítica tomam por base a filosofia marxista na construção de seus conceitos.

Vale ressaltar que não pretendemos realizar, no contexto deste artigo, que busca examinar os conceitos básicos da Ciência da Informação Espacial, uma análise comparativa entre a Geografia Crítica e a Geografia Quantitativa. Importa considerar aqui a relevância conceitos teóricos de espaço apresentados pelos proponentes da Geografia Crítica para o projeto de uma nova geração de GIS. Neste contexto, estaremos analisando, conceitos propostos por David Harvey, Manuel Castells e Milton Santos.

Em especial, Milton Santos é um dos geógrafos mais empenhados em apresentar novos conceitos de espaço geográfico. Em seus trabalhos, Santos dá especial ênfase ao papel da tecnologia como vetor de mudanças da sociedade e condicionante da ocupação do espaço, no que denomina o “meio técnico-científico-informacional”. Apesar de enfatizar a contribuição da tecnologia para a Geografia, Santos não examina em detalhe o problema do uso direto de ferramentas tecnológicas como GIS em estudos geográficos. Mesmo assim, seus

conceitos são extremamente relevante para a definição de uma epistemologia da Ciência da Informação Espacial, como se verá a seguir.

No caso de Milton Santos, é preciso considerar que o próprio autor apresenta diferentes concepções do espaço geográfico, ao longo de sua carreira. Deste modo, examinaremos nas próximas seções três concepções distintas (mas complementares) de espaço em Milton Santos. Na seção 4.2, a noção que “*o espaço é organizado pelas relações de forma, função, estrutura e processo*” (Santos, 1985), na seção 4.3, a idéia que “*o espaço é um sistema de fixos e fluxos*” (Santos, 1978) e na seção 4.4, o mais recente conceito: “*o espaço é um sistema de objetos e um sistema de ações*” (Santos, 1996).

5.4.2 Milton Santos e as Dualidades Forma-Função e Estrutura-Processo

Em seu livro “Espaço e Método”, (Santos, 1985) utiliza os conceitos de *forma, função, estrutura e processo* para descrever as relações que explicam a organização do espaço. A *forma* é o aspecto visível do objeto, referindo-se, ainda, ao seu arranjo, que passa a constituir um padrão espacial; a *função* constitui uma tarefa, atividade ou papel a ser desempenhado pelo objeto; a *estrutura* refere-se à maneira pela qual os objetos estão inter-relacionados entre si, não possui uma exterioridade imediata - ela é invisível, subjacente à forma, uma espécie de matriz na qual a forma é gerada; o *processo* é uma estrutura em seu movimento de transformação, ou seja, é uma ação que se realiza continuamente visando um resultado qualquer, implicando tempo e mudança. Para citar o autor:

“Forma, função, estrutura e processo são quatro termos disjuntivos associados, a empregar segundo um contexto do mundo de todo dia. Tomados individualmente apresentam apenas realidades, limitadas do mundo. Considerados em conjunto, porém, e relacionados entre si, eles constroem uma base teórica e metodológica a partir da qual podemos discutir os fenômenos espaciais em totalidade”. (Santos, 1985).

A relevância deste conceito de espaço para a Ciência da Informação Espacial é mais conceitual do que prática, pois aponta essencialmente para limitações dos sistemas computacionais de representação de informação. Nesta perspectiva, pode-se afirmar que as técnicas atuais de Geoprocessamento não conseguem resolver de forma plena as dualidades *forma-função* e *estrutura-processo*, pois o uso de representações computacionais geométricas (como polígonos ou grades regulares) e de modelos funcionais (cadeias de Markov, modelos de difusão espacial) sempre implica numa materialização das noções de espaço. Na atual geração de GIS, podemos caracterizar adequadamente a *forma* de organização do espaço, mas não a *função* de cada um de seus componentes; podemos ainda estabelecer qual a *estrutura* do espaço, ao modelar a distribuição geográfica das variáveis em estudo, mas não capturarmos, em toda a sua plenitude, a natureza dinâmica dos *processos* de constante transformação da natureza, em conseqüência das ações do homem.

Mesmo quando utilizamos ferramentas de modelagem dinâmica (Couclelis, 1997; Burrough, 1998), e realizamos aproximações dos processos físicos e urbanos de uso e

transformação do espaço, a ênfase das representações computacionais é sempre nos aspectos *estruturais* do espaço (como no uso de autômatos celulares para modelar transições do uso do solo urbano).

Deste modo, as dualidades *forma-função* e *estrutura-processo* apontam para deficiências estruturais de todas os sistemas de informação, no atual estágio do conhecimento. Para remover estes limites, será preciso avançar muito na direção de técnicas de Representação do Conhecimento e Inteligência Artificial (Sowa, 2000), o que leva a considerações mais genéricas (e fora do escopo deste artigo) sobre as próprias limitações do computador enquanto tecnologia de processamento da informação. O leitor interessado deve referir-se a (Penrose, 1989) e (Searle, 1984).

5.4.3 Harvey, Castells, Santos: A Compressão do Espaço-Tempo e a Geografia da Redes

Em “*A Condição Pósmoderna*” (Harvey, 1989), David Harvey faz uma análise abrangente das novas relações de produção da sociedade atual. Para Harvey, a mudança cultural mais importante nos anos recentes é aquela provocada pelo impacto na experiência humana com os novos conceitos de espaço e tempo. Ele lembra que do século XVI ao XIX a velocidade média das diligências e dos navios a vela era de 20 km/h. A partir de meados do século XIX, as locomotivas a vapor chegavam a 100 km/h. Com os aviões a jato a partir de meados do século XX, alcançamos 800 Km/h. Atualmente, com as telecomunicações, podemos trocar documentos e realizar reuniões com pessoas em outros lugares do mundo de forma simultânea.

Segundo Harvey, a compressão do espaço-tempo é uma componente essencial das novas formas de produção capitalista, em que o capital financeiro adquire autonomia com relação ao capital industrial e à própria governabilidade das nações. Neste cenário, o fluxo internacional de recursos (feito quase exclusivamente com suporte de telecomunicações) restringe o poder regulador dos Estados de uma forma inédita na História.

Quais as conseqüências deste conceito para a Ciência da Informação Espacial? Observemos que a maior parte das técnicas de Análise Espacial (Bailey and Gattrel, 1995) está baseada no conceito de *proximidade*. Medidas como o variograma e os indicadores locais e globais de autocorrelação espacial fazem uso implícito da “lei de Tobler”: “no mundo, todas as coisas se parecem; mas coisas mais próximas são mais parecidas que aquelas mais distantes” (Tobler, 1979). A compressão do espaço-tempo subverte esta lógica previsível de organização do espaço e estabelece um substancial desafio conceitual para sua representação computacional. Do ponto de vista da Análise Geográfica, os conceitos de Harvey implicam que a forma tradicional de expressar as relações espaciais entre entidades geográficas (propriedades como *adjacência* e *distância euclidiana*) capturam apenas efeitos locais, e não permitem representar a dinâmica dos fenômenos sociais e econômicos de nosso tempo.

Numa visão mais abstrata do que prática, alguns autores tem se referido a “espaços de geometria variável” (Castells, 1999) para denotar a situação em que as articulações materiais entre os agentes econômicos e sociais ocorrem de forma muitas vezes independentes da contiguidade física. Esta situação nos leva a novos conceitos do espaço, em que os *fluxos*

passam a ser um componente essencial. “Fluxos de capital, fluxos da informação, fluxos de tecnologia, fluxos de interação organizacional, fluxos de imagens, sons e símbolos” (Castells, 1999) tornam-se elementos constituidores de nossa sociedade, questionando a aplicabilidade geral da lei de Tobler.

O resultado da compressão do espaço-tempo gerada pelos avanços da tecnologia e pela crescente integração das práticas econômicas tem levado a novas definições do espaço. Milton Santos fala em “espaço de fixos e espaço de fluxos” (Santos, 1978) e Manuel Castells em “espaço de fluxos e espaço de lugares”. Subjacente a estas noções está o processo de “crescente internacionalização da produção capitalista, que resulta em padrões de localização que alteram profundamente as características do espaço industrial e seu impacto no desenvolvimento urbano” (Castells, 1999).

O “espaço de lugares” representa os arranjos espaciais formados por localizações contíguas, numa interação definida pela própria condição de moradia das pessoas e sua lógica cotidiana. No entanto, o “espaço dos fluxos” é, crescentemente, o determinante das relações de poder e das movimentos de circulação de bens e serviços. Isto gera uma “esquizofrenia estrutural entre duas lógicas espaciais”, que “ameaça romper os canais de comunicação da sociedade” (Castells).

Os desafios para a Ciência da Informação Espacial são aqui consideráveis. Em especial, trata-se de combinar os modelos de interação espacial (que determinam os fluxos), com modelos de escala local (representados, por exemplo, por autômatos celulares). Esta combinação requer a capacidade de propor modelos matemáticos abstratos e de estabelecer relações causais entre fluxos e efeitos locais, problemas ainda não abordados na literatura.

5.4.4 Milton Santos e o Espaço como Sistemas de Objetos e Sistemas de Ações

Sem abandonar as definições anteriores, mas buscando uma visão mais geral sobre os conceitos de espaço (Santos, 1996) afirma que “o espaço geográfico é um sistema de objetos e um sistema de ações”. Esta caracterização objetiva contrapor os elementos de *composição* do espaço (os *objetos geográficos*) aos condicionantes de *modificação* deste espaço (as *ações* humanas e dos processos físicos ao longo do tempo). Numa formulação sintética, Santos enfatiza a necessidade de libertar-nos de visões estáticas do espaço (tais como nos vem condicionando séculos de mapas), ao incluir a componente de *processos variantes no tempo* como parte essencial do espaço. Ele procura diferenciar o conceito de *espaço* do de *paisagem*, afirmando que “a paisagem é o conjunto de formas que num dado momento, exprimem as heranças que representam as sucessivas relações localizadas entre homens e natureza. O espaço são essas formas mais a vida que as anima”.

Do ponto de vista da geoinformação, a noção de “sistemas de objetos e sistemas de ações” coloca-se num nível de abstração ainda maior que as formulações anteriores de Santos. Daí surgem algumas questões cruciais: é possível realizar a transição destes conceitos abstratos para o âmbito de um sistema computacional? Quais as limitações da tradução das noções abstratas propostas para um SIG ?

Numa primeira análise, a tradução do conceito de “sistema de objetos e sistemas de ações” para o ambiente computacional esbarra em três questões: como modelar os “sistemas de objetos”? como representar os “sistemas de ações?” como expressar as interações entre os objetos e as ações ?

Para representar *os sistemas de objetos*, será preciso descrever cada um dos diferentes tipos de objetos componentes do espaço (ou da parcela do espaço em análise). Neste sentido, um dos avanços recentes na área de Geoprocessamento é o uso de Ontologias. Uma *ontologia* é uma teoria que especifica um vocabulário relativo a um certo domínio de, que define entidades, classes, propriedades, predicados e funções e as relações entre estes componentes (Fonseca and Egenhofer, 1999) (Fonseca, Egenhofer et al., 2000). Na visão de (Smith and Mark, 1998), uma ontologia do mundo geográfico pode ajudar a entender como diferentes comunidades compartilham informações e estabelecer correspondências e relações entre os diferentes domínios de entidades espaciais.

Numa perspectiva genérica, pode-se dizer que o uso de Ontologias em GIS é uma maneira de integrar técnicas de Representação do Conhecimento em uma tecnologia com uma forte tradição geométrica e cartográfica. Deve-se lembrar que, apesar da sua atratividade enquanto conceito, o uso de Ontologias em GIS enfrenta essencialmente os mesmos problemas das técnicas de Representação do Conhecimento (Sowa, 2000). Estes problemas incluem a concepção de formalismos para armazenamento de informação e a tradução do conhecimento existente informalmente no domínio de aplicação para representações computacionais. Vale lembrar ainda que a maior parte dos paradigmas atuais de Representação do Conhecimento são essencialmente estáticos, sem modelar adequadamente a dimensão temporal e os relacionamentos dinâmicos e dependentes de contexto entre os objetos.

A representação dos “sistemas de ações” é ainda mais difícil num ambiente computacional. Sendo o computador uma ferramenta matemática e não analógica, a representação de processos depende fundamentalmente de modelagem numérica, usualmente realizada através de equações funcionais. Cabe aqui distinguir dois grandes grupos de processos espaciais: os modelos do meio físico e os de processos sócio-econômicos (que incluem os fenômenos urbanos). Estes grupos possuem variáveis e comportamentos diferenciados que exigem diferentes abordagens de implementação.

Fenômenos físicos tais como modelos hidrológicos e ecológicos são exemplos de fenômenos com alto índice de variação do estado da superfície ao longo do tempo. Sua representação acurada depende da capacidade de derivar equacionamentos matemático-formais que descrevam a variação espaço-temporal do fenômeno.

No caso de fenômenos sócio-econômicos, os processos tem uma complexidade muito maior, por envolver, além de fenômenos físicos, componentes de construção da realidade social. Neste sentido, vale a pena destacar o exposto em (Searle, 1995): a realidade social envolve um componente físico (externo à nossa percepção) e um componente mental, que resulta de consenso estabelecido em procedimentos jurídicos e culturais de cada sociedade.

Deste modo, a aplicação do conceito de *sistemas de ações* à modelagem computacional de fenômenos socio-econômicos não pode ser reduzida à premissa funcionalista de que é possível derivar modelos matemáticos que descrevam o comportamento dos agentes sociais. Apesar disto, os autores consideram ser útil e válido a proposição de modelos que, com crescente sofisticação e inevitável reducionismo, possam simular parte do comportamento dos diferentes processos socio-economicos-ambientais.

Como exemplo, o trabalho de (Engelen, 1995) apresenta uma estrutura de modelagem dinâmica e de suporte a decisão capaz de operar em uma variedade de escalas. Esta estrutura é constituída de dois níveis denominados macro e micro escalas. Na macroescala, estão representadas as variáveis ecológicas e sócio-econômicas que afetam o sistema como um todo. A microescala representa a dimensão espacial do modelo. Estas escalas interagem intensivamente entre si e com um banco de dados geográfico, a partir do qual obtêm os dados necessários para as simulações.

Ainda com respeito ao problema de modelagem computacional dos *sistemas de ações*, (Câmara, 2000) apresentam uma proposta para modelar o processo de produção de informação em bases de dados georeferenciados, levando em conta o objetivo final a ser alcançado com os procedimentos de Análise Geográfica. Esta proposta visa capturar uma das dimensões do conceito de “sistemas de ações”: a intenção do especialista ao modelar o espaço geográfico.

Em resumo, o conceito de Milton Santos de “espaço como sistemas de objetos e sistemas de ações” caracteriza um mundo em permanente transformação, com interações complexas entre seus componentes. Santos apresenta uma visão geral, que admite diferentes leituras e distintos processos de redução, necessários à captura desta definição abstrata num ambiente computacional. Não obstante, a riqueza inerente a este conceito está em deslocar a ênfase da análise do espaço, da *representação cartográfica* para a dimensão da *representação do conhecimento geográfico*. Afinal, como diz o próprio Milton Santos, “geometrias não são geografias”.

5.5 TEORIA GEOGRÁFICA E CIÊNCIA DA GEOINFORMAÇÃO: RUMO A UMA NOVA GERAÇÃO DE GIS

Nesta seção, fazemos um resumo de nossa análise, na perspectiva de projetar uma nova geração de sistemas de informação geográfica. Na Tabela 1 apresentamos, para cada escola, o conceito chave em sua definição de espaço, a representação computacional que melhor aproxima este conceito, e algumas técnicas de Análise Geográfica típicas que estão associadas a esta escola geográfica. Fazemos uma distinção entre os conceitos da escola de Geografia Quantitativa que tem expressão na atual geração de GIS e aqueles que apontam para a futura evolução da tecnologia de Geoprocessamento.

Tabela 5.1

Teoria Geográfica e Geoprocessamento

Teoria	Tecnologia associada	GIS	Conceito-Chave	Repres. Comput.	Técnicas Análise
Geografia Idiográfica ()	Anos 80 – meados dos anos 90		Unicidade da Região (unidade-área)	Polígono atributos	e Interseção conjuntos
Geografia Quantitativa-1	Final da década de 90		Distribuição Espacial	Superfícies (grades)	Geoestatística + lógica “fuzzy”
Geografia Quantitativa-2	Meados da década de 00		Modelos espaço-tempo	Funções	Modelos multi-escala
Geografia Crítica	Segunda década do século 21 (?)		Objetos e Ações Espaço de fluxos e espaço de lugares	<i>Ontologias e Espaços não-cartográficos</i>	Representação do Conhecimento

À guisa de resumo, apresentamos cada um dos componentes da Tabela 1:

- *Geografia Idiográfica (GIS dos anos 80)*: o conceito-chave é a unicidade da região, expresso através de abstrações como a “unidade-área” (Hartshorne), “unidade de paisagem” (Tricart) e “land-unit” (Zonneveld). A representação computacional associada é o polígono com seus atributos (usualmente expressos numa tabela de um banco de dados relacional) e as técnicas de análise comuns, está o uso da interseção de conjuntos (lógica booleana).
- *Geografia Quantitativa (GIS de hoje)*: o conceito-chave é a distribuição espacial do fenômeno de estudo, expressa através de um conjunto de eventos, amostras pontuais, ou dados agregados por área. A representação computacional associada é a superfície (expressa como uma grade regular) e há uma grande ênfase no uso de técnicas de Estatística Espacial e Lógica Nebulosa (“fuzzy”) para caracterizar com o uso (respectivamente) da teoria da probabilidade e da teoria da possibilidade as distribuições espaciais.
- *Geografia Quantitativa (GIS da próxima geração)*: o conceito-chave são os modelos preditivos com representação espaço-temporal, onde a evolução do fenômeno é expressa através de representação funcional. Para capturar as diferentes relações dinâmicas, as técnicas de Análise deverão incluir modelos multi-escala, que estabeleçam conexões entre fenômenos de macroescala (tipicamente relacionados com fatores econômicos) e fenômenos de microescala (tipicamente associados a transições no uso da terra).
- *Geografia Crítica (GIS do futuro)* : aqui, os conceitos-chave incluem o espaço como “sistema de objetos e sistemas de ações” e a oposição entre “espaço de fluxos” e “espaço de lugares”. Podemos apenas especular sobre as representações computacionais que serão

utilizadas neste contexto, que possivelmente incluam técnicas de Representação de Conhecimento. Nossa hipótese de trabalho é que os GIS do futuro contemplarão representações não-cartográficas do espaço, com uma ênfase no estabelecimento de relações entre os diferentes atores sociais que atuam no espaço.

5.6 ALCANCE E LIMITAÇÕES DO GEOPROCESSAMENTO

Neste capítulo, examinamos diferentes conceitos de espaço de escolas da Geografia e buscamos estabelecer que representações computacionais permitiam a expressão destes conceitos no ambiente de GIS. Embora saibamos que a visão apresentada é reducionista e limitada, consideramos que é muito útil apresentar uma perspectiva genérica como a exposta acima, pois esta nos ajuda a compreender as diferenças entre os conceitos de espaço e melhor compreender os desafios ainda não resolvidos pela Ciência da Geoinformação. O que podemos concluir, ainda que de forma preliminar?

Em primeiro lugar, cumpre indicar que, apesar dos significativos avanços das duas últimas décadas, a tecnologia de sistemas de informação geográfica ainda está longe de dar suporte adequado às diferentes concepções de *espaço geográfico*. Atualmente, os GIS oferecem ferramentas que permitem a expressão de procedimentos lógicos e matemáticos sobre as variáveis georeferenciadas com uma economia de expressão e uma repetibilidade impossíveis de alcançar em análises tradicionais. No entanto, a tecnologia de GIS resolveu apenas os problemas simples de representação computacional do espaço. Os atuais sistemas são fortemente baseados numa lógica “cartográfica” do espaço, exigindo sempre a construção de “mapas computacionais”, tarefa sempre custosa e nem sempre adequada ao entendimento do problema em estudo.

Adicionalmente, mostramos que a Geografia Crítica tem uma importante contribuição para a Ciência da Geoinformação, sendo um de seus principais méritos o de apontar para uma visão muito rica do espaço geográfico, enfatizando a noção do processo em contraposição à natureza estática dos GIS de hoje.

Neste sentido, é fundamental distinguir entre as capacidades da atual geração de GIS e as limitações inerentes a qualquer representação computacional do espaço geográfica. Assim, apesar de ser essencialmente infactível capturar, num ambiente de geoinformação, todas as dimensões do conceitos como “sistemas de objetos e sistemas de ações”, é importante buscar técnicas que permitam aproximar dimensões parciais desta visão. Para tanto, será necessário utilizar abordagens quantitativas, baseadas em técnicas como Sistemas Dinâmicos, Ontologias e Representação de Conhecimento, sem perder de vista que estes modelos serão sempre aproximações reducionistas da realidade geográfica.

Referências

1. ANSELIN, L. **Spatial econometrics: methods and models**. Dordrecht, Kluwer, 1988.
2. BAILEY, T. and A. GATTREL. **Spatial Data Analysis by Example**. London, Longman, 1995.
3. BURROUGH, P. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**. Oxford, England, Oxford University Press, 1986.
4. BURROUGH, P. Dynamic Modelling and Geocomputation. In: P. Longley, S. Brooks, R. McDonnell and B. Macmillan (ed). **Geocomputation: A Primer**. New York, John Wiley, 1998. v.
5. BURROUGH, P. and A. FRANK (ed.). **Geographic Objects with Indeterminate Boundaries**. London, Taylor & Francis, 1996. p.
6. CÂMARA, G. M., A.M.V.; PAIVA, J.A.C; SOUZA, R.C.M. Action-Driven Ontologies of the Geographical Space. In: **GIScience 2000**, Proceedings. Savannah, GA, AAG, 2000.
7. CASTELLS, M. **A Sociedade em Rede**. São Paulo, Paz e Terra, 1999.
8. CHORLEY, R. J. and P. HAGGETT (ed.). **Models in Geography**. London, Methuen, 1967. p.
9. CHRISTOFOLETTI, A. As Perspectivas dos Estudos Geográficos. In: A. Christofolletti (ed). **Perspectivas da Geografia**. São Paulo, Difel, 1985. v.
10. CORRÊA, R. L. Espaço: um conceito chave na geografia. In: I. E. Castro, P. C. Gomes and R. L. Corrêa (ed). **Geografia: Conceitos e Temas**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 1995. v.
11. COUCLELIS, H. From Cellular Automata to Urban Models: New Principles for Model Development and Implementation. **Environment and Planning B: Planning and Design** v.24, p.165-174, 1997.
12. ENGELEN, G. Using Cellular Automata for Integrated Modelling of Socio-environmental Systems. **Environmental Monitoring and Assessment** v.34, p.203-214, 1995.
13. FONSECA, F. and M. EGENHOFER. Ontology-Driven Geographic Information Systems. In: **7th ACM Symposium on Advances in Geographic Information Systems**, Proceedings. Kansas City, MO, ACM Press, N.Y., 1999. p.14-19.
14. FONSECA, F., M. EGENHOFER, et al. Ontologias e Interoperabilidade Semântica entre SIGs. In: **II Workshop Brasileiro em Geoinformática - GeoInfo2000**, Proceedings. São Paulo, 2000.
15. GETIS, A. and J. K. ORD. Local spatial statistics: an overview. In: P. Longley and M. Batty (ed). **Spatial Analysis: Modelling in a GIS Environment**. New York, John Wiley, 1996. v., p.261-277.
16. GOODCHILD, M. A spatial analytic perspective on geographical information systems. **International Journal of Geographical Information Systems** v.1, p.327-334, 1988.

17. GOOVAERTS, P. **Geostatistics for Natural Resources Evaluation**. New York, Oxford Univ. Press, 1997.
18. HÄGERSTRAND, T. **Innovation Diffusion as a Spatial Process**. Chicago, IL, The University of Chicago Press, 1967.
19. HARTSHORNE, R. **Propósitos e Natureza da Geografia**. São Paulo, Hucitec (trad. 1966), 1936.
20. HARVEY, D. **Explanation in Geography**. New York, St. Martin's Press, 1969.
21. HARVEY, D. **Social Justice and the City**. Oxford, Blackwell, 1988.
22. HARVEY, D. **The Condition of Postmodernity**. London, Basil Blackwell, 1989.
23. HEUVELINK, G. **Error Propagation in Environmental Modelling with GIS**. London, Taylor and Francis, 1998.
24. MORAES, A. C. R. **Geografia: Pequena História Crítica**. São Paulo, Hucitec, 1995.
25. NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Rediscovering Geography: New Relevance for Science and Society**. Washington, National Academy Press, 1997.
26. OPENSHAW, S. and C. OPENSHAW. **Artificial Intelligence in Geography**. Chichester, John Wiley, 1997.
27. PENROSE, R. **The Emperor's New Mind: Concerning Computers, Minds, and the Laws of Physics**. Oxford, Oxford Univ. Press, 1989.
28. POPPER, K. **A Lógica da Pesquisa Científica**. São Paulo, EDUSP, 1975.
29. SANTOS, M. **Por uma Geografia Nova**. São Paulo, Hucitec, 1978.
30. SANTOS, M. **Espaço e Método**. São Paulo, Nobel, 1985.
31. SANTOS, M. **A Natureza do Espaço: Técnica e Tempo. Razão e Emoção**. São Paulo, Hucitec, 1996.
32. SEARLE, J. R. **Minds, Brains, and Science**. Cambridge, MA, Harvard University Press, 1984.
33. SEARLE, J. R. **The Construction of Social Reality**. New York, The Free Press, 1995.
34. SMITH, B. and D. MARK. Ontology and Geographic Kinds. In: **International Symposium on Spatial Data Handling**, Proceedings. Vancouver, Canada, 1998. p.308-320.
35. SOWA, J. F. **Knowledge Representation: Logical, Philosophical, and Computational Foundations**. Pacific Grove, CA, Brooks Cole, 2000.
36. TOBLER, W. Cellular geography. In: S. Gale and O. G. (ed). **Philosophy in Geography**. Dordrecht, Reidel, 1979. v., p.379-386.
37. TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro, IBGE-SUPREN, 1977.

38. WESSELING, C. G., D. KARSSENBERG, et al. Integrating dynamic environmental models in GIS: the development of a Dynamic Modelling language. **Transactions in GIS** v.1, p.40-48, 1996.
39. WHITE, R. and G. ENGELEN. Cellular automata as the basis of integrated dynamic regional modelling. **Environment and Planning B: Planning and Design** v.24, p.235-246, 1997.
40. ZONNEVELD, I. S. The Land Unit: A Fundamental Concept in Landscape Ecology, and Its Applications. **Landscape Ecology** v.3, p.67-86, 1989.