

## 3.0

### Sistemas de Informação Geográfica

Neste capítulo será feita uma revisão sobre os temas relacionados aos sistemas de informação geográfica, assim como suas aplicações a transporte. A apresentação do *software* utilizado para o desenvolvimento da base de dados de distribuição também será mostrado neste capítulo.

## 3.1

### Definição e Conceitos Básicos

Segundo Davis (2002), Sistemas de Informação Geográfica são ferramentas projetadas para coletar, manipular e apresentar grandes volumes de dados espaciais. Lewis (1990), define um sistema de localização geográfica como um sistema de gerenciamento de banco de dados computacional para capturar, armazenar, recuperar, analisar e visualizar dados espaciais. Já Soares (2002), define tais sistemas de maneira mais geral, afirmando que são sistemas computacionais que utilizam dados que contenham referências geográficas.

Pestana (2001), ao definir um SIG compara este aos sistemas de informação, afirmando que tais sistemas são considerados como uma classe especial de sistemas de informação criado para modelar aspectos do mundo real (inseridos num espaço geográfico), normalmente com diferentes graus de dependência e relacionados com questões que surgem no domínio da atividade humana. Para Câmara e Davis (2002), o termo sistemas de informação geográfica é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos e recuperam as informações não apenas com base em suas características alfanuméricas, mas também através de sua localização espacial. Para que isto seja possível, os autores afirmam que a geometria e atributos dos dados devem estar georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e representados numa projeção cartográfica.

Para Burrough (1986), um SIG é constituído por um conjunto de ferramentas especializadas em adquirir, armazenar, recuperar, transformar e emitir informações espaciais. Esses dados geográficos descrevem objetos do mundo real em termos de posicionamento, com relação a um sistema de coordenadas, seus atributos não aparentes (como a cor, pH, custo, incidência de pragas, etc) e das relações topológicas existentes. Lanari *et al.* (1999) afirmam que os SIG's consistem em uma integração de *hardware*, *software*, dados geográficos e pessoas, possibilitando aos usuários capturar, armazenar, atualizar, manipular, analisar e exibir todo o tipo de informações geograficamente distribuídas.

Analisando as definições apresentadas acima por diferentes autores, pode-se notar que todos abordam, de maneira geral, a característica principal deste tipo de informação: o tratamento computacional de dados geográficos. Thill (2000), ao definir estes sistemas destaca também que são sistemas de integração de tecnologia da informação, na medida que oferecem um gerenciamento de dados e plataformas de modelagem capaz de integrar uma grande variedade de dados provenientes de diferentes recursos, capturados por diferentes resoluções (segmentos de ruas, análises de zona de tráfego, etc).

Em um estudo comparativo dos softwares existentes no mercado, Rose (2001) afirma que as principais funções que um SIG completo deve ter são: captura dos dados (gráficos ou atributos na forma de importação de dados, digitalização, scanner, importação dos formatos CAD – *Computer Aid Design*, e levantamentos de campo, entre outros), gerência dos atributos (edição, gerência da base de dados), manipulação espacial (edição), análise dos dados (consultas condicionadas, sobreposições, modelagens) e saída dos dados (mapas, relatórios e imagens).

Câmara e Davis (2002), também abordaram estes aspectos, definindo que a estrutura geral de um SIG possui os seguintes componentes: interface com o usuário, entrada e integração dos dados, funções de consulta e análise espacial, visualização e plotagem e armazenamento e visualização de dados (organizados sob a forma de um banco de dados geográficos

A figura 6 abaixo indica os relacionamentos existentes entre cada componente descrito anteriormente.

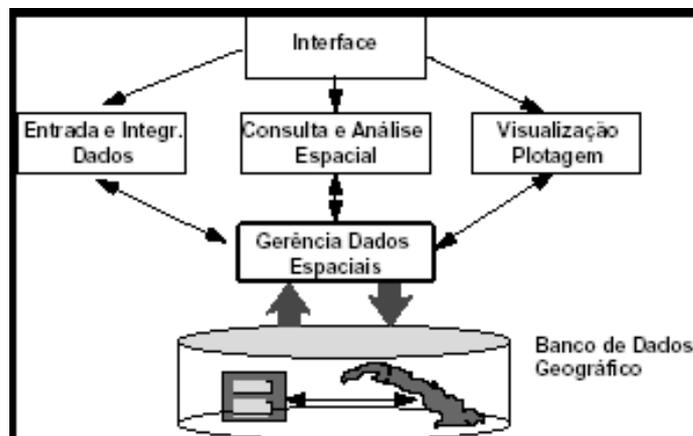


Figura 6: Estrutura interna de um SIG

Fonte: Câmara e Ortiz, 2002

### 3.2

#### Características da Informação Geográfica

Com base na seção anterior, pode-se constatar que os sistemas de informação geográficos distinguiram-se dos demais sistemas de informação pelo tipo de dados envolvidos, que representam majoritariamente localizações na superfície terrestre em termos de coordenadas geográficas.

Para Câmara e Ortiz (2002), uma característica básica e geral num SIG é sua capacidade de tratar as relações espaciais entre os objetos geográficos. Denota-se por *topologia* a estrutura de relacionamentos espaciais (vizinhança, proximidade, pertinência) que podem se estabelecer entre objetos geográficos. Armazenar a topologia de um mapa é uma das características básicas que fazem um SIG se distinguir de um sistema CAD. A outra diferença fundamental é a capacidade de tratar as diversas projeções cartográficas. Para aplicações em análise geográfica e redes, o armazenamento da topologia permite o desenvolvimento de consultas a um banco de dados espacial, que não seriam possíveis de outra maneira. Os autores listam as principais características de SIG's:

- Integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno.
- Combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação, para gerar mapeamentos derivados.
- Consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados geocodificados.

### 3.3

#### Classificação do SIG

Pestana (2001) propõe a classificação dos sistemas de localização geográfica em três grupos distintos, separados segundo o critério de requisitos de sistemas para o processo de desenvolvimento de um SIG e representados no quadro 2.

Quadro 2: Classificação do SIG

GRUPO	OBJETIVO
SIG para Suporte a Decisão	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipicamente usados em problemas de planeamento e gestão;</li> <li>• Partilha muitas características dos Sistemas de Apoio à Decisão;</li> <li>• Requerem o desenvolvimento de ambientes especialmente adequados à resolução de problemas, em que a integração de muitos produtos informáticos e a criação de interfaces Homem-Máquina simples e potentes se colocam como questões centrais;</li> <li>• Destina-se a objetivos que não se encontram completamente definidos quando o sistema é criado.</li> </ul>
SIG Operacionais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resolução de problemas bem definidos que ocorrem com carácter repetitivo;</li> <li>• Caracterizam-se por suportar diversos tipos de funcionalidades, particularmente, para organização e armazenamento de dados e para obtenção de dados pré-definidos;</li> <li>• Solucionar problemas nas áreas de gestão e análise de redes de infra-estruturas, de cadastro e registro de propriedades, etc.</li> </ul>
SIG Operacionais com requisitos de tempo real	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Distinguem-se pelas freqüentes alterações de dados e por envolverem muitas variáveis com características temporais fundamentais;</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Destinam-se a resolver problemas de caráter global e de monitoração de redes;</li> <li>• Utiliza modelos complexos e base de dados volumosos, com recurso a alta tecnologia.</li> </ul>
--	--

Fonte: Pestana, 2001

### 3.4

#### Tipos Básicos de Elementos Espaciais

De acordo com Pestana (2001), os três tipos básicos de elementos utilizados nos mapas para modelar todos os objetos do mundo real são:

- Pontos: define localizações discretas de elementos geográficos demasiadamente pequenos para serem descritos como linhas ou áreas.
- Linhas: são definidas como um conjunto ordenado de pontos interligados por segmentos de reta ou por linhas e são utilizadas na representação de objetos sem largura suficiente para serem consideradas áreas.
- Áreas: é definida como um conjunto ordenado de pontos interligados, em que o primeiro ponto e o último coincidem, utilizados quase sempre na representação de zonas que possuem uniformemente uma dada propriedade; ou seja, figura fechada, cujo os limites encerram uma área homogênea.

Esses três tipos de elementos se relacionam no mapa, constituindo-se nas camadas de dados dos mapas temáticos (*layers*), representando o espaço geográfico em estudo. O mapa corresponde a um modelo genérico dos fenômenos espaciais, onde cada camada corresponde a um tema específico, isto é, dados geográficos com características comuns. Esta superposição de camadas pode ser melhor compreendida analisando a figura 7 abaixo.

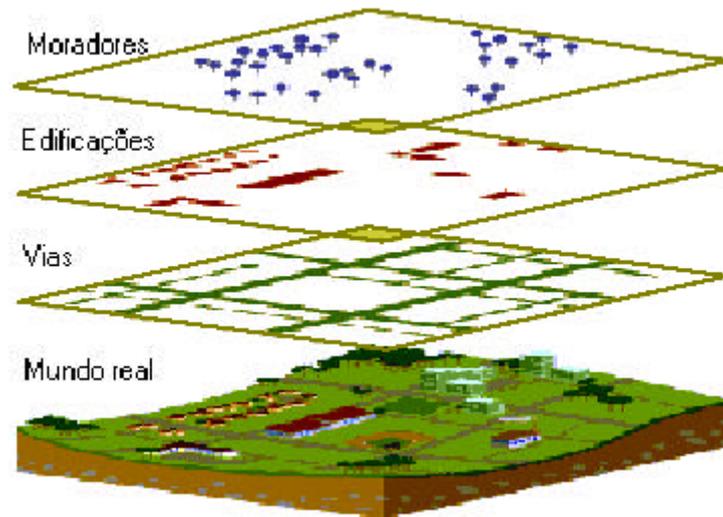


Figura 7: Camada de Dados Geográficos

Fonte: Raia, 2002

### 3.6

#### **Estrutura e Modelagem dos Dados Geográficos**

A estrutura dos dados geográficos contém, basicamente, dois tipos de informações principais: a informação espacial, que descreve o formato do objeto geográfico, bem como sua relação espacial com os outros objetos e a informação descritiva dos objetos, ou seja, a descrição, para o entendimento do usuário, das características não espaciais de cada objeto representado. A maneira como a informação espacial é tratada nos sistemas de informação geográfica constitui a modelagem lógica dos dados, que trata da representação geométrica dos dados.

De acordo com Soares (2000), existem duas abordagens: os modelos vetoriais e os modelos raster. Câmara e Monteiro(2002), apontam as principais diferenças entre estes modelos afirmando que na representação vetorial, a representação de um elemento ou objeto é uma tentativa de reproduzi-lo o mais exatamente possível, quando comparado com a realidade. Neste modelo, qualquer entidade ou elemento gráfico do mapa é reduzido a três formas básicas: pontos, linhas ou polígonos.

A representação matricial (raster) consiste no uso de uma malha quadriculada regular sobre a qual se constrói, célula a célula, o elemento que se 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.

Com relação aos campos de aplicação de tais modelos, Bravo e Cerda (1995), *apud* Rose (2001), afirmam que os sistemas matriciais são utilizados no processamento de imagens de satélite com múltiplas aplicações no campo florestal, marítimo, ambiental e militar, entre outros enquanto os sistemas vetoriais são mais apropriados para modelagem de sistemas, controle terrestre, análise de redes, etc.

### 3.7

#### **Banco de Dados Geográfico**

Para Salgado e Pimentel (1994), o banco de dados de um SIG é formado principalmente por dois grandes módulos: um sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD) e um sistema de processamento de imagens e dados espaciais. Câmara e Ortiz (2002), definem um Banco de Dados Geográficos como o repositório de dados de um SIG, que armazena e recupera dados geográficos em suas diferentes geometrias (imagens, vetores, grades), bem como as informações descritivas (atributos não-espaciais).

De acordo com os autores, os SIG's tradicionalmente armazenavam os dados geográficos e seus atributos em arquivos internos. Este tipo de solução vem sendo substituído pelo uso cada vez maior de sistemas de gerência de banco de dados (SGBD), para satisfazer à demanda do tratamento eficiente de bases de dados espaciais cada vez maiores.

Um SGBD garante três requisitos importantes: eficiência (acesso e modificações de grandes volumes de dados); integridade (controle de acesso por múltiplos usuários); e persistência (manutenção de dados por longo tempo, independentemente dos aplicativos que acessem o dado).

A entrada dos atributos não espaciais é feita, portanto, através de um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados 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 os respectivos atributos não-espaciais armazenados em tabelas de dados no SGBD.

### 3.8

#### Projeto de um SIG

De acordo com Soares (2000), o desenvolvimento do projeto de um SIG é realizado em quatro etapas descritas na figura 8:

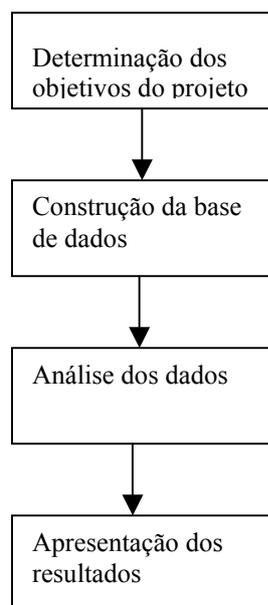


Figura 8: Etapas de desenvolvimento de um SIG

Fonte: Soares, 2000

Segundo o autor, na primeira etapa são levantados as necessidades e objetivos do projeto, sendo determinados o problema a ser resolvido, métodos de solução e produtos esperados (mapas, gráficos, tabelas, etc).

A segunda etapa, que se constitui a mais crítica do projeto, é a etapa de construção da base de dados, e está dividida em três passos: projeto da base de dados, captura e organização dos dados e padronização cartográfica.

No projeto da base de dados são definidas as áreas geográficas em estudo, o sistema de coordenadas e projeção a serem utilizados, o nível de precisão e o nível de detalhamento exigido pelo projeto. As principais entidades, atributos e relacionamentos são levantados e organizados em um modelo de dados do sistema. Segundo Soares (2000), em geral utiliza-se a metodologia de “Diagrama de Entidades-Relacionamentos” proposto por Chen (1976) para a construção deste modelo. Após o levantamento, decide-se pela representação espacial (ponto, linha ou polígono) de cada uma das entidades consideradas.

Na fase de captura e organização dos dados, define-se o modelo lógico (raster ou vetorial) a ser utilizado e a partir deste, são definidas as camadas de interesse para o projeto. Em SIG's, os dados geográficos estão organizados em camadas e para o entendimento da informação geográfica, são construídos mapas temáticos, que reúnem uma ou várias camadas.

Na etapa de análise de dados, utilizam-se às funções de consulta e análise do SIG, geralmente considerando-se a criação de cenários contendo hipóteses em estudo. A combinação destas funções com a possibilidade de sobreposição dos mapas disponíveis na base de dados, juntamente com os conhecimentos do usuário, tornam o SIG uma poderosa ferramenta de auxílio ao processo de tomada de decisão.

A elaboração de novos mapas, relatórios e tabelas resultantes da etapa de análise de dados constituem a etapa de apresentação de resultados.

### **3.9**

#### **Aplicações a Transportes**

A partir das definições e conceitos apresentados acima, pode-se concluir que os sistemas de informação geográficos possuem uma multiplicidade de usos e apontam para uma perspectiva interdisciplinar de sua utilização. Por ser possível a integração em uma única base de dados informações de diversas fontes diferentes e oferecerem mecanismos para recuperar, manipular e visualizar estes dados, através de algoritmos de manipulação e análise, tais sistemas têm sido

amplamente utilizados no setor de transportes. Neste setor, o sistema recebe a denominação de SIG-T.

De acordo com Rose (2001), o campo de aplicação dos SIG-T é amplo, tanto na área de planejamento como em operações em transportes, tais como: projeto geométrico e vias, monitoramento e controle de tráfego, oferta e demanda em transportes, previsão de acidentes, otimização de rotas, monitoramento e controle de operações rodoviárias, dentre outras. Para Martins (1993), os SIG-T funcionam como plataformas para se integrar Modelos de Análise e Distribuição espacial, rotinas de modelagens em transportes, algoritmos de pesquisa operacional, análises estatísticas e geração de mapas temáticos em diversos formatos.

O uso de SIG's em transportes possui utilidades diversas. Em Wu *et al.* (2001), utilizou-se o SIG-T como um sistema de apoio a decisão para a análise de escolha de rotas em redes de tráfego congestionadas. Já em Kuby *et al.* (2001), utilizou-se um sistema espacial para suporte de decisão para problemas de desenho de redes. Em Thériault *et al.* (1999), para resolver o problema de movimentação de pessoas entre um par origem – destino, onde o objetivo era minimizar o tempo de viagem, um sistema de informação geográfica foi utilizado, com a utilização de modelos de caminho mínimo e fluxo mínimo em redes, modelos de geração de viagens e ferramentas de localização e visualização dos dados geográficos, auxiliando no processo de obtenção e análise dos resultados. Raia (2000), utilizou um SIG, em conjunto com os conceitos de redes neurais, para o auxílio no planejamento da rede de transportes públicos para estimar potenciais viagens urbanas integrando aspectos de acessibilidade e mobilidade. O SIG atuou como ferramenta de análise para incorporar dados de natureza espacial a pesquisa origem – destino de viagens realizada.

Na área de engenharia de tráfego, Thieman (2002), utilizou o SIG-T para análises de acidentes em avenidas, onde o sistema foi aplicado para a visualização de ruas congestionadas devido aos acidentes. Também em engenharia de tráfego, Ganter e Cashwell (2002), utilizaram um sistema de informação geográfica para o monitoramento dinâmico das condições de tráfego, onde através de mapas,

atualizados, o usuário pode ter acesso as condições das vias, com o volume de tráfego em cada uma delas.

Sanches (1997), utilizou um SIG no auxílio ao planejamento de transportes, na definição de zonas de tráfego. Oliveira e Ribeiro (1997) utilizaram um SIG para ajudar no controle de tráfego urbano, mais especificamente na coordenação semafórica. Neste trabalho os autores empregaram o SIG para extrair informações do modelo de representação de redes existente nos SIG-T e também usaram as capacidades de representação gráfica e produção de mapas temáticos. Em Pinto e Lindau (1997) utilizou-se um SIG para resolver problemas de transporte coletivo, onde o sistema foi empregado no auxílio ao planejamento e cadastramento de linhas de ônibus intermunicipais. Marques e Silva (1997) também abordaram a utilização de um SIG no transporte coletivo, porém com enfoque no usuário. O sistema desenvolvido oferece informações desde a localização dos pontos de parada de ônibus até a determinação de rotas ótimas entre a origem e o destino informado pelos passageiros.

Em uma aplicação à logística de distribuição de produtos, Novaes e Rosseto (1993) trataram o problema de dimensionamento e localização de depósitos de distribuição numa determinada região e utilizaram um SIG para representação gráfica do problema, facilitando a análise e melhorando a qualidade dos resultados.

### **3.10**

#### **O Software TransCAD**

O TransCAD é um Sistema de Informação Geográfica projetado especificamente para o planejamento, gerenciamento, operação e análise das características dos sistemas de transportes (Caliper, 1996). Ele possui vários módulos para a manipulação de dados com relação à entrada, armazenagem, análise e apresentação final. Suas aplicações podem ser em nível internacional, nacional, regional e local, podendo ser utilizado para qualquer modo de

transportes, isoladamente ou combinado com outros modos. (Rose, 2001). Neste trabalho será utilizado a versão acadêmica 3.0 do TransCAD.

Em um estudo sobre as potencialidades dos *softwares* mais utilizado no mercado, Rose (2001) enumera principais características deste aplicativo. De acordo com a autora, com um banco de dados projetado para capturar e analisar dados de transporte, o TransCAD trabalha com dados de redes de transporte, fluxo de carga, rotas, programação, análise de transportes interzonais, demanda de passageiros, desempenho do sistema de transporte entre outros, que podem ser visualizados e analisados em qualquer escala espacial. Desta forma, o sistema possui potencialidades para analisar vários tipos de redes de transporte público, metrovias, ferrovias, rodovias, aerovias, hidrovias e redes multimodais através de métodos e modelos disponíveis para análises em transportes.

Por se tratar de um sistema de informação geográfica, todos os objetos representados, como a localização geográfica dos elementos de transporte, bem como a infraestrutura relacionada, podem ser combinadas com os atributos (dados descritivos, não espaciais) que as descrevem, sendo que todos os elementos geográficos são representados por pontos, linhas, áreas, redes ou rotas.

Com relação ao gerenciador de banco de dados espacial, os dados geográficos são armazenados utilizando-se de uma estrutura de dados topológica, o que facilita a manipulação dos mesmos (Rose, 2001). Segundo a autora, essa estrutura de dados define a localização e as relações espaciais entre pontos, linhas, áreas e outras entidades geográficas ou objetos. O sistema suporta também a definição de várias estruturas de dados de transporte: como redes (grafos), vias, nós, linhas e matrizes de fluxo.

No que se refere à apresentação de gráficos interativos dos dados, o TransCAD possui várias ferramentas para a definição de símbolos, cores, espessuras de linhas, padrões, sombreamentos, nomeação e outras. Os dados podem ser representados no mapa na forma de número ou textos, com o ajuste de escala através dos comandos *zoom-in* e *zoom-out*.

O TransCAD disponibiliza também ferramentas para projetar e criar banco de dados, preenchendo-os com os registros que os compõem e com os atributos de dados necessários. É permitida a importação de vários arquivos de dados com conversão automática dos sistemas de coordenadas. Com a possibilidade de se importar e exportar e converter arquivos de dados digitais para banco de dados efetivamente acessíveis no SIG, pode-se importar e exportar dados de arquivos do tipo Lótus, dBASE e ASCII, tornando o processo de dados mais rápido e com menor custo.

Para a resolução de problemas de sistemas de transporte, o TransCAD possui ferramentas e procedimentos para análise e modelagem de tais sistemas que incluem, por exemplo, modelos clássicos para o cálculo de demanda de viagens, modelos de geração de viagens, cálculo do caminho mínimo de viagem utilizando as redes de transporte (podendo ser minimizado o tempo de viagem, a distância, custo ou qualquer outra variável), resolução do clássico problema de transporte (alocar cada centro de demanda aos centros de oferta), localização de novas instalações, roteamento de veículos, problema do caixeiro viajante e do carteiro chinês (muito utilizado na programação de coleta de lixo e entrega de cartas), entre outros. Além dos modelos já existentes no sistema, o TransCAD possui uma arquitetura modular, aberta, que pode ser customizada e ampliada com procedimentos descritos pelo usuário, escritos na linguagem de programação específica do TransCAD – o GISDK (*Geographic Information System Development Kit*).

Neste trabalho o TransCAD será utilizado para a criação de uma base própria de dados e para o cálculo do caminho mínimo, nas redes de transporte rodoviária e ferroviária, onde a variável a ser minimizada será a distância entre as instalações. Para o caso do modal dutoviário, não serão calculadas rotas mínimas de transporte, já que para este modal os pontos de origem e destino de transporte já estão estabelecidos. Este *software* também será utilizado como ferramenta para exibição do resultado dos custos logísticos calculados.