



Universidade Federal do Rio de Janeiro
COPPE - Programa de Engenharia de Sistemas
e Computação

BANCOS DE DADOS DE IMAGENS DE SATÉLITES ARTIFICIAIS

Qualificação apresentada ao Programa de Engenharia de Sistemas e Computação da Universidade Federal do Rio de Janeiro como requisito parcial para a obtenção de grau de Doutor em Ciências, sob supervisão da Dra. Marta Lima de Queirós Mattoso.

Gilberto Pessanha Ribeiro
Banco de Dados (D.Sc.)

Agosto de 1995

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
2. CARACTERIZAÇÃO DE IMAGEM DE SATÉLITE E DE BANCOS DE DADOS PARA IMAGEM	9
3. ASPECTOS SOBRE PROCESSAMENTO DE IMAGENS DE SATÉLITES	12
4. MODELO DE DADOS E METADADOS PARA IMAGENS DE SATÉLITE PROPOSTO PELO SAIF	14
4.1. MODELO DE DADOS	14
4.2. METADADOS PARA IMAGENS	21
5. BANCOS DE DADOS ESPAÇO-TEMPORAIS	25
6. BANCOS DE DADOS GRÁFICOS E ALFA-NUMÉRICOS INTEGRADOS	28
7. ASPECTOS SOBRE LINGUAGENS DE CONSULTAS GEOGRÁFICAS ENVOLVENDO IMAGENS	29
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
9. COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

1. INTRODUÇÃO

A informação geográfica consiste em informação quantitativa e qualitativa relativa a objetos e fenômenos de natureza física e humana, distribuída espacialmente pela superfície terrestre. Ela é base para as atividades e tarefas de planejamento e ordenamento do território. A informação geográfica pode ser encontrada disponível, em arquivos estáticos, como as cartas analógicas ou convencionais, ou em arquivos dinâmicos, como é o caso tratado no contexto dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG's). Essa informação necessita de constante atualização, que, a par dos métodos convencionais, pode também ser realizada através das imagens recolhidas, com frequência muito grande, por satélites artificiais de detecção remota a partir de sistemas orbitais, utilizando a tecnologia de Sensoriamento Remoto. A manipulação e o tratamento da informação geográfica, inclusive quando trata-se de imagens de satélites, em um contexto de Bancos de Dados para suportar SIG's, não é uma tarefa trivial.

A partir da tendência mundial de valorização da informação geográfica, observada nos últimos anos, mais fortemente em países europeus e em outros países de economia avançada, discussões têm sido realizadas sobre o uso dessas tecnologias - Bancos de Dados e SIG's - e sobre a qualidade dos dados geográficos que elas tratam e as suas possibilidades de aplicação. Aspectos organizacionais e administrativos de sistemas geoestatísticos, por exemplo, têm sido tratados em análises e pesquisas geográficas, assim como os estudos sobre o impacto do uso de tecnologias da informação na gerência de dados sócio-econômicos em vários países europeus [Liev94(a)] [Liev94(b)] [Liev94(c)].

A partir de [Worr94] é observado que as interfaces entre os SIG's, a análise espacial e a política pública são temas predominantes em discussões sobre o uso de novas tecnologias, inclusive SIG e Sensoriamento Remoto, em vários setores de administração pública direta e indireta. Assuntos que estão em constante discussão por especialistas da área no contexto são:

- a inexistência de uma adequada integração entre análise espacial e técnicas de modelagem espacial;
- a necessidade de se obter um melhor uso do SIG no gerenciamento estratégico; e
- barreiras organizacional e humana para alcançar mais sucesso no uso do SIG em planos de ação governamental.

Aspectos da integração entre as imagens de satélite artificiais e os SIG's também são temas contemporâneos que têm enriquecido sensivelmente conferências internacionais e eventos nacionais envolvendo áreas correlatas que tratam de mapeamento e uso do solo. [Brow94] confirma que as imagens de satélite representam uma fonte rica de informação para a produção e atualização, de mapas de uso do solo, por exemplo, e aponta as seguintes dificuldades enfrentadas por técnicos e especialistas que limitam um uso mais extensivo desse recurso:

- integração com mapas e com outras informações de uso do solo;

- resolução espacial;
- disponibilidade e tempo gasto para a aquisição dos dados de imagens;
- conversão de dados digitais de uso do solo já existentes.

Um SIG pode ser visto como um conjunto de subsistemas dos seguintes tipos e com as seguintes características [Peuq90]:

- Entrada de dados: coleta e/ou processamento de dados geográficos derivados de medições de campo por técnicas variadas ou a partir de mapas existentes;
- Armazenamento e recuperação de dados: organização dos dados de forma que possam ser acessados de maneira eficiente, rápida e segura para uma determinada análise, além de permitir atualizações sobre a base de dados;
- Manipulação e análise de dados: regras e parâmetros para a determinação do tempo de acesso aos dados, simulações e troca de formatos de dados;
- Emissão de relatórios: exibição do Banco de Dados, na íntegra ou por partes, e visualização de dados geográficos na forma de tabelas ou mapas.

A Ciência da Tecnologia da Informação tem estudado, ao longo dos tempos, dentre outros temas, os Bancos de Dados e seus Sistemas de Gerência para áreas comerciais. Dentre as aplicações ditas não convencionais, ou ainda, não tradicionais, há pesquisas nas áreas científica e médica onde sistemas médicos e os SIG's podem ser classificados como sistemas de apoio/suporte à decisão, e são alvo de estudos, testes e ensaios nos dias de hoje [Esp94], com tendências de expansão. Dentre as aplicações não convencionais de Bancos de Dados destacam-se [Catt94]:

- Engenharia de Software Apoiada por Computador (C.A.S.E.) : desenho, especificação, implementação, análise, procura de erros, manutenção e evolução de programas e de documentação.
- Desenho Mecânico Apoiado por Computador (M.C.A.D.) : desenho de objetos a partir de veículos aeroespaciais para construção, incluindo componentes estruturais, assim como desenhos interdependentes para interconexões mecânicas e elétricas.
- Desenho Eletrônico Apoiado por Computador (E.C.A.D.) : desenhos lógicos e físicos de circuitos integrados e “chips”.
- Manufatura Apoiada por Computador (C.A.M.) : produções discretas (carros em uma linha de montagem) e produções contínuas (síntese química).
- Automação de Escritórios : controle computacional de informações em negócios comerciais, incluindo correio eletrônico, documentos e ordens de trabalho.

- Editoração Apoiada por Computador (C.A.P.) e Hipertexto : ferramentas para armazenamento, manipulação e pesquisa de partes de documentos complexos, incluindo documentos com comportamentos dinâmicos e versões múltiplas.
- Gráficos : pacotes de softwares e ferramentas para armazenamento e manipulação de representações gráficas de objetos complexos, possivelmente como um componente de uma das aplicações dos tipos C.A.D. e C.A.P.
- Aplicações Médicas e Científicas : Manipulação e análise de representações complexas de objetos físicos, biológicos e químicos, assim como moléculas orgânicas complexas e *Sistemas de Informação Geográfica (SIG)*.
- Serviços de Sistemas : operação de sistemas ou sistemas de arquivos para fornecer informações aos programas do cliente, por exemplo, para uma rede de integração de aplicação, rotas de rede, autorização do usuário, etc...
- Manufatura e controle de tempo real : controle de processos por computador, por exemplo, controle de experimentos de laboratório de um reator nuclear.
- Bases de Conhecimento : aplicações de Inteligência Artificial com base em regras e bases de informações muito grandes para armazenar, de forma eficiente, nas estruturas de dados de linguagens de programação.

A utilização de Bancos de Dados para SIG's vem sendo, cada vez mais, divulgada e pesquisada, principalmente por especialistas da área de Informática e de Cartografia [Mede94]. Os dados geográficos (geoespaciais, ou simplesmente, por alguns autores, denominados espaciais) possuem características próprias quanto aos seus formatos e eficientes formas de armazenamento em um ambiente computacional. Não só o armazenamento como a recuperação de tais dados requerem um tratamento diferenciado daquele adotado para os dados convencionais.

As aplicações geográficas requerem um suporte de Banco de Dados, assim como as aplicações médicas também. Essas têm requerido Sistemas de Gerência de Bancos de Dados (SGBD's) eficientes, em especial, quando se trata de dados gráficos ou de imagens de objetos da anatomia e fisiologia humana, uma vez que tecnologias têm sido desenvolvidas no sentido de tornar análises mais rápidas e fornecer diagnósticos mais seguros [Chu94], além de proporcionar controle e monitoramento de doenças de forma mais eficiente.

Quando são tratadas as aplicações geográficas, o panorama geral nos mostra que também têm crescido as exigências e técnicas em torno de gerência de dados e de análises espaciais. Dados cartográficos, por exemplo, têm sido alvo de estudos e pesquisas, no sentido de se criar Bancos de Dados associados a Mapotecas Digitais, a fim de permitir agilidade, segurança e precisão nas consultas sobre cartas e dados sócio-econômicos a eles geralmente associados [IBGE94]. Cartogramas atualmente podem ser gerados por meio de um SIG, assim como outros produtos de cunho cartográfico, ou aqueles que necessitem de uma georeferência, isto é, uma referência espacial terrestre.

A Análise Espacial, em particular a análise regional em projetos de Planejamento Urbano e de Meio Ambiente [Mour93], por exemplo, pode ser realizada com base em um SIG e um Banco de Dados Ambientais integrando dados gráficos e dados textuais de várias naturezas [Silv91]. Outras aplicações de igual importância podem ser citadas, mas esse trabalho não pretende se estender em casos específicos. Ele se voltará a apresentar aspectos gerais sobre alguns dos problemas mais comuns que podem ser enfrentados por um SGBD no armazenamento e recuperação de dados relativos a imagens de satélites artificiais, tão largamente utilizados em projetos de Engenharia e Geociências em geral.

Há casos onde um Banco de Dados de Imagem eficiente proporciona análises de regiões em função do tempo. O acompanhamento da dinâmica de fenômenos e do espaço geográficos em função de fatores variados pode ser um objetivo especial no contexto de um projeto. O monitoramento desse espaço requer dados sendo atualizados em um Banco de Dados de forma a viabilizar as análises temporais que podem ser feitas a partir de mapas ou cartas temáticas. Formas diferentes do uso do tempo em análise espacial podem ser encontradas e, com o emprego dessa nova tecnologia - SIG - podem-se integrar dados geográficos a dados convencionais, buscando gerar produtos complexos que são, normalmente, instrumento de trabalho para interpretações no contexto do espaço geográfico.

Usuários diversos possuem, dentre suas atividades em projetos, a necessidade de georreferenciar dados sócio-econômicos, por exemplo, associar imagens de satélite ao crescimento urbano e aos seus problemas. Imagens têm sido geradas representando cenas para épocas distintas e, algumas instituições que se utilizam desses dados, necessitam não só mantê-los, acessá-los e recuperá-los de maneira sistemática, como também analisá-los em função da variável tempo.

Uma imagem de satélite é composta de células denominadas “pixels”. Associado a cada “pixel” é possível ter um número que representa um valor médio de radiância relativa a uma certa área, relativamente pequena, de uma determinada cena. O tamanho dessa área afeta a reprodução do detalhe da cena. Como a área de um “pixel” é reduzida, mais detalhes são preservados na representação digital. Imagens digitais podem ser exibidas em qualquer escala por meio de sistemas de tratamento de imagens. O tamanho do “pixel” pode ser usado para controlar a escala final de uma imagem a ser tratada e exibida. O trabalho tratará desses aspectos da imagem de satélite e associá-los ao armazenamento em um Banco de Dados.

Basicamente o tipo de informação, proveniente de uma imagem de satélite, que deve ser armazenado em um Banco de Dados é o “pixel” e os atributos referentes a suas características.

Os tipos de operações que podem ser realizadas sobre imagens de satélite podem ser, por exemplo: realce de imagens: utilizam-se operações de realce de contraste e filtros de frequência espacial; e identificação de temas: técnicas de classificação supervisionada que são utilizadas para identificar na imagem temas pré-estabelecidos.

Os problemas enfrentados no armazenamento e na recuperação de imagens de satélite em Bancos de Dados para suportar SIG's normalmente são associados ao grande volume de informações tratadas, às capacidades de consulta inadequadas e à falta de definição e

organização da informação semântica da imagem. Esses tópicos serão tratados também no contexto desse trabalho.

Uma taxionomia que pode ser adotada para Sistemas de Bancos de Dados de Imagem foi proposta por [Lu93], onde esses sistemas podem ser classificados baseados nas feições usadas para a indexação. Para uma feição, suas classificações podem ser feitas com respeito às representações semânticas usadas para a feição. Um tipo diferente de representação semântica acarreta um diferente tipo de método de indexação. A taxionomia para esses Bancos de Dados são baseadas nessas classificações e são descritas a seguir:

- baseada em atributo: na maioria das vezes os sistemas que suportam objetos de imagens tratam as imagens como objetos complexos. Um SGBD convencional, estendido com capacidade para manipular grandes objetos, pode ser usado para gerenciar imagens. O acesso a imagens não estruturadas é alcançado através de atributos estruturados da imagem. Por isso que nenhum esforço é requisitado para desenvolver a técnica de organização, mecanismos de indexação e métodos de processamento de consultas dos sistemas. Contudo, esse procedimento não é capaz de manipular consultas baseadas em conteúdo de forma amigável;
- baseada em texto: avanços na pesquisa de recuperação tem levado pesquisadores de Sistemas de Recuperação de Documentos a tratar sistemas de Bancos de Dados de imagem com empenho equivalente.
- baseada em conteúdo: para facilitar as recuperações baseadas em conteúdo pesquisadores têm tomado várias direções:
 - feição de forma: a feição de forma é extremamente útil para sistemas de Bancos de Dados de imagem;
 - objetos semânticos: se objetos da imagem são proeminentes e reconhecíveis, então, a recuperação pode ser alcançada baseada nos objetos;
 - relacionamentos espaciais: uma outra maneira de recuperar imagens é especificar a semântica dos objetos em imagens tão bem como os relacionamentos espaciais entre os objetos.
 - cores: uma maneira natural para recuperar imagens coloridas seria através das próprias cores que ela contém.

O tema principal desse trabalho foi escolhido para ser desenvolvido e pesquisado, no âmbito de Engenharia de Sistemas e Computação, uma vez que aspectos de armazenamento e recuperação de dados de imagem e outros temas correlacionados têm sido requisitados para serem alvo de análises onde SIG's são explorados para esse fim, e Bancos de Dados de imagem são projetados de forma a suportá-los de maneira satisfatória.

Esse tema é considerado importante uma vez que dados gráficos têm sido requisitados por instituições de ensino e pesquisa e por empresas comerciais em geral. Os problemas de armazenamento de tais dados e de sua gerência em um Banco de Dados são freqüentemente

encontrados, uma vez que tem aumentado a quantidade de dados a gerenciar e têm sido requisitados por usuários dados com alta qualidade. Além disso, a tecnologia da informação e dos SIG's podem contribuir em muito em várias áreas do conhecimento, tornando procedimentos convencionais de análises obsoletos, mas, ao mesmo tempo, potencializando essas análises.

Na segunda seção desse trabalho são apresentadas as características gerais de imagens de satélite artificial e de Bancos de Dados para essas imagens.

Na terceira seção aspectos sobre processamento de imagens de satélite são, de forma introdutória, apresentados.

Na quarta seção são feitos comentários sobre os Metadados para Imagens de Satélite propostos no contexto do SAIF (Spatial Archive and Interchange Format).

Na quinta seção aspectos gerais sobre Bancos de Dados temporais e espaciais são comentados.

Integração entre dados gráficos e alfanuméricos é o tema principal da sexta seção.

Aspectos gerais sobre linguagens de consulta geográfica ou espacial são abordados na sétima seção, onde são comentadas as consultas realizadas com as feições espaciais e relações de objetos de imagens, explorando: consultas espaciais simbólicas e consultas espaciais diretas.

Considerações finais, comentários e conclusões sobre armazenamento e recuperação de dados de Bancos de Dados de Imagens são apresentados e comentados na oitava e nona seções.

2. CARACTERIZAÇÃO DE IMAGEM DE SATÉLITE E DE BANCOS DE DADOS PARA IMAGEM

Mapas e imagens digitais são dados baseados em arquivos armazenados no formato “raster”, isto é, matrizes bi-dimensionais compostas por valores inteiros que representam a localização da informação.

Os valores armazenados em um mapa podem representar dados por categoria (por exemplo, uso de solo) ou dados contínuos (por exemplo, elevações). Esses valores armazenados em imagens normalmente representam dados contínuos (por exemplo, dados do sensor do satélite). Embora a informação representada por meio dos valores com um mapa ou uma imagem varie, o formato dos dados é o mesmo. Por essa razão, a distinção entre mapas e imagens não existe e o termo mapa pode ser usado, de forma genérica.

Uma imagem de satélite artificial digital é composta de elementos discretos, denominados “pixels” [Scho83]. Associado a cada “pixel” é possível ter um número que representa um valor médio de radiância (“*brightness*”) de uma certa área, relativamente pequena, de uma determinada cena. O tamanho dessa área afeta a reprodução do detalhe da cena. Como a área de um “pixel” é reduzida, detalhes são preservados na representação digital. Imagens digitais podem ser exibidas em qualquer escala por meio de um processamento apropriado. O tamanho do “pixel” pode ser usado para controlar a escala final de uma imagem a ser tratada e exibida.

Para maior qualidade na representação de uma imagem, o tamanho do pixel exibido é normalmente pequeno, isto é, menor do que 0,1 mm, que corresponde à resolução espacial. Sendo assim, “pixels” individuais não podem ser distinguidos a distâncias normais de visão do usuário em uma estação de trabalho, ou em um monitor de vídeo de um computador pessoal. Para classificar mapas, entretanto, freqüentemente é desejável usar “pixels” de exibição maiores para permitir exame e análise visual de objetos.

Em Sensoriamento Remoto o sensor do satélite não mede somente a radiação refletida da superfície terrestre e transmitida para a atmosfera, mas também a radiação que é dispersa pela atmosfera. O valor de cada “pixel” na imagem de satélite da Terra representa uma quantidade total de radiação alcançada pelo sensor que, por sua vez, é transmitida pela ótica do sensor. A imagem é, então, uma representação da radiância do solo que possui várias utilidades e aplicações em Análise Espacial, por exemplo.

No contexto de sistemas de tratamento de imagens desse tipo há atividades que relacionam os “pixels” com parâmetros da própria imagem.

Imagens de satélite artificial correspondem a fotografias tomadas a grandes alturas a partir de sensores remotos localizados em satélites pertencentes a sistemas orbitais como, por exemplo, o *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR) nos satélites do *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) do governo dos Estados Unidos. Os dois primeiros canais coletam medições próximas do infra-vermelho visível e os outros três canais registram medições termais em diferentes resoluções espectrais. O ponto diretamente abaixo

do satélite tem um poder de resolução em torno de 1 km. Após os dados serem transmitidos para estações terrestres as medições são calibradas e corrigidas. Dados são corrigidos geometricamente para reduzir distorções e a informação de georreferência é adicionada.

Essas imagens de satélite são tratadas por sistemas informáticos apropriados e analisadas por usuários especialistas. Pesquisadores de informática focalizam trabalhos sobre estrutura e tratamento de cada imagem como um malha retangular (raster tridimensional). As dimensões para esse conjunto de dados, no exemplo citado, é de 2.889 linhas * 4.587 colunas * 10 níveis de profundidade, banda ou camada. Cada banda é, obviamente, composta de 13.251.843 elementos que correspondem ao produto de 2.889 linhas por 4.587 colunas.

Os SIG's são sistemas informáticos de gerência de base de dados que se destinam à aquisição, ao armazenamento, à recuperação, à manipulação, à análise e à exibição de dados espaciais. A aquisição está relacionada à captura desses dados a partir de fontes como mapas, fotografias aéreas, tabelas, imagens de satélites artificiais, etc... Sistemas de Bancos de Dados representam tecnologias fundamentais e imprescindíveis responsáveis pelo armazenamento e pela recuperação de dados. Quando se relacionam a dados geográficos, surgem operações e tarefas não triviais durante sua manipulação e análise. Os processos de armazenamento e recuperação englobam a gerência de dados de SIG's, garantindo segurança e preservação da integridade das informações.

Sistemas de Banco de Dados de Imagem devem ser claramente distingüidos de Sistemas de Banco de Dados Espaciais.

Os Sistemas de Banco de Dados de Imagem devem incluir técnicas de análises para extração de objetos no espaço a partir de imagens, e oferecem algumas funcionalidades dos Bancos de Dados. Além disso esses sistemas também são preparados para armazenar, manipular e recuperar imagens raster como entidades discretas [Güti94].

Um Sistema de Banco de Dados Espaciais é um sistema onde a informação espacial ou geométrica está na prática conectada com dados não espaciais ou alfa-numéricos, ou ainda, textuais. Esse sistema deve oferecer tipos de dados espaciais em seus modelos de dados e linguagem de consulta. Esses tipos de dados espaciais (por exemplo, ponto, linha e região) fornecem uma abstração fundamental para modelar estruturas de entidades geométricas no espaço, assim como seus relacionamentos e suas operações. Sem esses tipos de dados espaciais um sistema não oferece um adequado suporte na modelagem. Há autores que afirmam que isso nem sempre é verdadeiro, pois a modelagem para imagens pode ser tão boa que não precise desse tipo de dado.

Além disso, um Sistema de Banco de Dados Espaciais deve suportar tipos de dados espaciais em sua implementação, fornecendo, pelo menos, índices espaciais e algoritmos eficientes para a junção espacial. Esse sistema deve também, pelo menos, ser capaz de recuperar dados de uma área particular, a partir de uma grande coleção de objetos georreferenciados, sem ser necessário "scannear" todo o conjunto. Entretanto, indexação espacial é obrigatória. Ele deveria também suportar conexões entre objetos, a partir de diferentes classes de dados, através de alguns relacionamentos espaciais de melhor maneira do que por meio de produto cartesiano, pelo menos para aqueles relacionamentos que são importantes para a aplicação.

Os dados geográficos em forma digital, inclusive aqueles relativos a imagens de satélite, podem ser organizados de maneira que usuários tenham fácil acesso e claro entendimento de seu significado, isto é, de sua semântica, além de poderem ser definidos e formatados sob modelos de dados próprios (relacional ou orientado a objetos, por exemplo). Dicionários de dados para imagens podem ser projetados e metadados digitais podem ser estabelecidos para esse propósito. Esse tema será abordado na seção 4.2..

3. ASPECTOS SOBRE PROCESSAMENTO DE IMAGENS DE SATÉLITES

Para um melhor entendimento sobre as operações (métodos ou serviços) e consultas que um Banco de Dados de imagem pode oferecer, é necessária uma apresentação sucinta de outros aspectos relativos ao tratamento de imagens desse tipo.

A exploração de imagens obtidas por detecção remota consiste em obter, a partir delas, informação necessária para um determinado estudo ou análise. A extração dessa informação se faz através de técnicas de tratamento ou processamento numérico de imagens digitais que são [Novo93]:

- pré-processamento: envolvendo a aplicação de correções dos tipos: radiométrica, geométrica e atmosférica.
- realce de imagens: utilizam-se operações de manipulação de contraste, filtragem de frequência espacial e rotação de imagens. O objetivo é fornecer para interpretação uma imagem cujas diferenças (de contraste, textura, intervalo entre intensidades de tons de cinza, etc...,) torne a tarefa de interpretação mais fácil;
- classificação digital: implicando na implementação de um processo de decisão para que o computador possa atribuir certo conjunto de pontos da imagem a uma determinada classe. Essa classificação pode ser unidimensional ou multispectral.
- * análise digital de dados multitemporais: da mesma forma que é possível manipular um conjunto de imagens em diferentes canais espectrais, utilizando um sistema de análise de dados digitais, pode-se manipular imagens de um mesmo canal em diferentes épocas.
- * identificação de temas: técnicas de classificação supervisionada são utilizadas para identificar na imagem temas pré-estabelecidos. O objetivo desse tipo de tratamento é o de cartografar temas que se apresentam na imagem, com características espectrais semelhantes, em áreas selecionadas.

A utilização integrada de informação geográfica obtida por detecção remota a partir de sistemas sensores e por outros métodos como a Fotogrametria é ainda o modo mais eficiente, e de baixo custo, para se obter informação voltada para o planejamento ordenado do território. A exploração da imagem de satélite em conjunção com a Cartografia disponibiliza um conjunto de dados que se complementam, e em que alguns inconvenientes subjacentes a cada um dos dados são eliminados, como por exemplo, a desatualização da cartografia convencional e a falta de georreferência e de detalhe da imagem de satélite.

A utilização de imagem de satélite no âmbito de um SIG, em que a resolução espacial das imagens tem que ser compatível com a escala da base cartográfica, permite manter o SIG atualizado de modo confortável e pouco dispendioso, avaliar áreas em franca desatualização

para planejar aquisição de informação por outros meios. Por outro lado, permite confrontar a imagem com a informação geográfica útil em algumas tarefas de processamento numérico de imagens, como por exemplo, o melhoramento ou refinamento de classificações automáticas, baseadas na eliminação de zonas erradamente pré-classificadas, por aplicação do resultado da classificação de regras de probabilidade de existência de certos temas, em determinados contextos geográficos.

As imagens de satélite começam a aparecer no mercado a custos acessíveis e constituem o tipo de informação mais adequado para o planejamento, pois permitem manter a ocupação do solo sob vigilância, como é o caso de monitoramento de reservas agrícolas e florestais, assim como o caso de gerência de problemas em áreas urbanas. Desta forma elas permitem a avaliação da necessidade de adquirir informação de outro tipo para análises específicas ou mais detalhadas.

Com o advento de sistemas de aquisição de imagens de detecção remota a partir de sensores orbitais, com um grande número de bandas espectrais e de sensores com uma maior resolução espacial (5 a 2 m), é necessário resolver alguns problemas que dificultam a exploração de tão grande quantidade de informação, de um modo integrado, em um ambiente de Bancos de Dados suportando SIG's, dentre os quais destacam-se:

- * compilação e criação de conjuntos de dados de alta qualidade e representativos, reais e simulados para teste, e validação de modelos de análise integrada desse tipo de informação;
- * melhoramento dos métodos para a apresentação e visualização de produtos e resultados de análise integrada de informação geográfica;
- * determinação de propriedades dos erros dos produtos de análise integrada de informação geográfica e propagação de erros quando utilizados em modelação;
- * melhoramento de interfaces de equipamento e suporte lógico entre sistemas de tratamento e análise de dados, designadamente, sistemas de tratamento de imagem, SIG, gestão de base de dados, pacotes estatísticos, etc...
- * identificação de estruturas de dados espaciais e estratégias de gestão de dados apropriadas para processar (armazenar e recuperar) grandes quantidades de imagens de satélite, incluindo o uso de SIG para guiar a aquisição de imagens e fazer a escolha de resoluções adequadas;
- * desenvolvimento de linhas de rumo científicas e técnicas e padrões de dados para desenvolvimentos futuros de equipamentos e suporte lógico adequado para análise integrada de informação geográfica.

4. MODELO DE DADOS E METADADOS PARA IMAGENS DE SATÉLITE PROPOSTO PELO SAIF

4.1. MODELO DE DADOS

Antes de apresentar o próprio SAIF e seus padrões de conteúdo para imagens, algumas considerações sobre Modelo de Dados Orientado a Objetos [Sond93] são feitas a priori.

Na literatura, o termo modelo de dados é usado de diferentes formas. Algumas vezes no contexto de definições de tipo, isto é, de classe, e outras vezes em um nível mais baixo (e mais fundamental) de uso. Esse último caso será aqui adotado no desenvolver do texto.

Um modelo de dados é definido como um conjunto de conceitos e regras de composição associadas para descrever tipos e relacionamentos entre instâncias desses tipos. Em um contexto relacional, o modelo de dados básico consiste em tabelas definidas através de registros e atributos, seguidos de um número de regras. Em um contexto de orientação a objetos situação equivalente há, mas nesse caso, são tratados conceitos de classes, objetos e as regras são associadas a algo diferente. A definição do modelo de dados inclui uma série de regras de composição. Uma parte integral do modelo relacional considera que um registro pode ter qualquer número de atributos, mas cada atributo deve ser definido em termos de um tipo primitivo (por exemplo: inteiro, real, etc...). Com um modelo orientado a objetos essa regra não se aplica, mas há um número de regras considerando herança, polimorfismo, domínio de atributo e agregação.

Algumas definições fundamentais são apresentadas, no contexto de Banco de Dados Orientado a Objetos, para melhor compreensão do SAIF:

Classe: um tipo de dado abstrato que descreve um grupo de objetos que compartilham de mesmas características. Uma classe é definida por uma única coleção de atributos e métodos que se distinguem de todas as outras classes. Uma classe não armazena dados, ela é meramente um “*template*” a partir dos quais os objetos são criados.

Objeto: é uma unidade de dados que pode ser tratada como indivisível em um nível mais alto de abstração. É uma instância, isto é, um valor de uma classe. Um objeto pode ter um identificador explicitamente definido.

Alguns conceitos temporais e espaciais genéricos:

Objeto geográfico: é um objeto representando um fenômeno do mundo real que existe em um domínio espacial ou espaço-temporal. Um objeto é considerado um objeto geográfico se sua posição no espaço ou no tempo formam uma parte integral do entendimento do objeto. Uma notação de objeto é compreendida inteiramente por texto e/ou símbolos que podem ser referenciados espacialmente (toponímia e símbolos de vegetação são exemplos típicos).

Objeto espacial: considere um dado objeto geográfico sendo definido como uma região ocupada no espaço. Essa região é representada por meio de um objeto espacial. Há dois aspectos a serem analisados no caso do objeto espacial: geometria e referência espacial. A geometria define a forma do objeto e é expressa em função de conceitos de ponto, linha, área (ou região) e volume. Valores de coordenadas são fornecidos como parte da geometria. A interpretação das coordenadas depende da definição de espaço no qual elas residem. A referência espacial está relacionada com os sistemas de coordenadas e os sistemas de referência vertical e horizontal, também denominados referenciais ou data geodésicos.

Objeto espaço-temporal: a próxima consideração é levar em conta um dado objeto geográfico definido como uma região ocupada no espaço e no tempo. Essa região é representada por meio de um objeto espaço-temporal. Nesse caso há quatro aspectos a considerar para o domínio espaço-temporal: geometria, referência espacial, tempo e referência temporal (simultaneamente). Geometria e referência espacial são como descritos anteriormente. Valores de tempo podem indicar tempos relativos e absolutos, assim como duração (período ou intervalo de tempo). Referências espaciais determinam os valores de tempo baseados no Tempo Universal Coordenado (TUC), onde se aplica o tempo adotado no posicionamento terrestre utilizando técnica a partir do Sistema de Posicionamento Global (“Global Positioning System - GPS”), por exemplo.

Um exemplo típico: a ilha da Convivência na embocadura do rio Paraíba do Sul (litoral norte do estado do Rio de Janeiro) é um objeto geográfico que pode pertencer a uma classe Reserva_Nacional. Mais precisamente podemos dizer que é um fenômeno do mundo real representado como um objeto que pode pertencer à classe Reserva_Nacional. O objeto pode também ser considerado como um membro de uma classe Ilha, que é e pode ser uma instância de várias classes. As palavras Oceano Atlântico, por exemplo, sobre um mapa qualquer, compreende uma área com uma notação de objeto.

No contexto do SAIF (*Spatial Archive and Interchange Format*) são propostos padrões quando se referem aos dados relativos a imagens. O SAIF foi desenvolvido por um órgão governamental canadense (*Surveys and Resource Mapping Branch - Ministry of Environment, Lands and Parks - MELP*) como um meio de compartilhar dados espaciais e espaço-temporais, onde seus objetivos principais se relacionam com um padrão que deve [MELP94]:

- * ser apropriado para modelar e mover dados, isto é, deve ser capaz de lidar com informações espaço-temporais e tradicionais;
- * manipular virtualmente qualquer tipo de dado geográfico, incluindo aqueles com ou sem descrição de atributos e com geometria definida por estruturas vetoriais ou matriciais, em duas ou em três dimensões;
- * endereçar tempo de forma que eventos temporais e relacionamentos possam ser manipulados;
- * endereçar requisitos de gerência de dados tais como: suportar atualizações, habilidade para se integrar com dados multimídia, aplicabilidade para manipular

volumes de dados grandes e pequenos, habilidade para uma interface boa com consultas de bancos de dados e compatibilidade com desenvolvimento de catálogos;

- * ser adaptável para operações em ambientes de redes de comunicação de dados, tão bem como apropriado para ser usado com um transferidor de arquivos convencional por meio ótico ou magnético;
- * ser de fácil uso e de baixo custo, e deve ser de fácil manutenção e extensão em resposta para as necessidades do usuário e mudanças de tecnologia;
- * ser capaz de possuir harmonia com novos desenvolvimentos de consultas de bancos de dados e iniciativas de SIG, tão bem como outros padrões geográficos.

O SAIF está apresentado no paradigma de orientação a objetos e foi originalmente desenvolvido para modelar, armazenar, recuperar e permitir intercâmbio de dados espaço-temporais [Murr94]. Dentre suas características, destacam-se:

- * permite herança múltipla no modelo de dados;
- * é extensível, permitindo aos usuários definir classes e herança a partir de muitas classes básicas que são definidas em sua especificação;
- * reconhece que a única maneira prática de processar grandes volumes de dados em tempo real é através do uso do paralelismo;
- * habilita os chamados “Binary Large Objects” (BLOB’s), como imagens, sons ou animação, a se “encaixar” em um conjunto de dados;
- * é uma plataforma independente, isto é, um único conjunto de dados pode ser usado sobre múltiplas plataformas de hardware e software;
- * os conjuntos de dados SAIF têm uma densidade de informação muito alta resultando em uso eficiente de armazenamento e transmissão de fontes.

O modelo de dados do SAIF permite herança múltipla, no paradigma de orientação a objetos, permitindo os usuários a facilmente criar classes, usando técnicas de orientação a objetos, assim como acontece com linguagens de programação orientadas a objetos.

O conjunto de dados SAIF não contém somente atributos, mas contém também relacionamentos, ponteiros de referência para preservar os dados quando são armazenados. Para facilitar a tarefa de definição de esquemas, o SAIF define 300 classes que podem ser usadas por aplicações do cliente. As classes pré-definidas incluem, mas não são restritos a, os seguintes tópicos:

- * tipos primitivos: inteiro, lógico, alfa-numérico e real;
- * enumerações: habilita tipos enumerados a serem definidos;

- * coleções: lista, conjunto e relação;
- * tuplas: habilita novas classes a serem definidas que não são baseadas em qualquer das classes existentes;
- * tempo: tempo, data e intervalo;
- * objetos geométricos: ponto, linha, área, superfície e volume;
- * objetos geográficos;
- * sistemas de coordenadas: cartesianas, esféricas e geodésicas;
- * sistemas de projeção: UTM, Transverso de Mercator, Mercator, Estereográfica, Policônica, Conforme de Lambert, Cartesiano e Polar.

Alguns conceitos sobre um Modelo de Dados:

O modelo de metadados (metaesquema ou metainformações) enfatiza a estrutura dos dados dos objetos, expressos através do paradigma orientado a objetos. Objetos são considerados como instâncias de tipos (classes) que seguem uma hierarquia extensível do usuário. Esses três tipos de associação são conhecidas como:

- generalização ou generalização/especialização, trabalhando com relacionamentos de supertipos e subtipos;
- agregação, relativa a objetos como reunião de componentes representados por outros objetos; e
- simples associações entre objetos.

Cada objeto é único e pode ser referenciado através de um identificador. Um objeto é caracterizado por sua classe a qual ele pertence. Uma classe é definida através de um dado nome, especificação de um ou mais tipos, e pode ser associada a zero ou mais atributos. Há um conjunto possível de valores para cada atributo. Métodos, mensagens ou comportamentos podem ser definidos pelo usuário. Conceitualmente, o modelo de dados trata de modelos de dados e de técnicas de modelagens.

Dados geográficos podem ser classificados em dois níveis de abstração. No nível mais baixo, onde há a abstração de grupos de dados geográficos como classes, cujos elementos têm propriedades comuns (por exemplo, a classe “Cidade” como abstração de Rio_de_Janeiro, São_Paulo, Curitiba, etc...). No mais alto nível, onde há a abstração de grupos com propriedades comuns como metaclasses (por exemplo, a metaclassa de entidade geográfica como abstração das classes “Cidade”, “País”, “Rio”, etc...).

No nível dos metadados, os dados geográficos podem ser classificados, de uma forma geral, através de três metaclasses, levando em conta a natureza descritiva da informação, a natureza geométrico-espacial da informação e o relacionamento entre esses dois aspectos.

De maneira mais específica, podem ser identificadas três metaclasses:

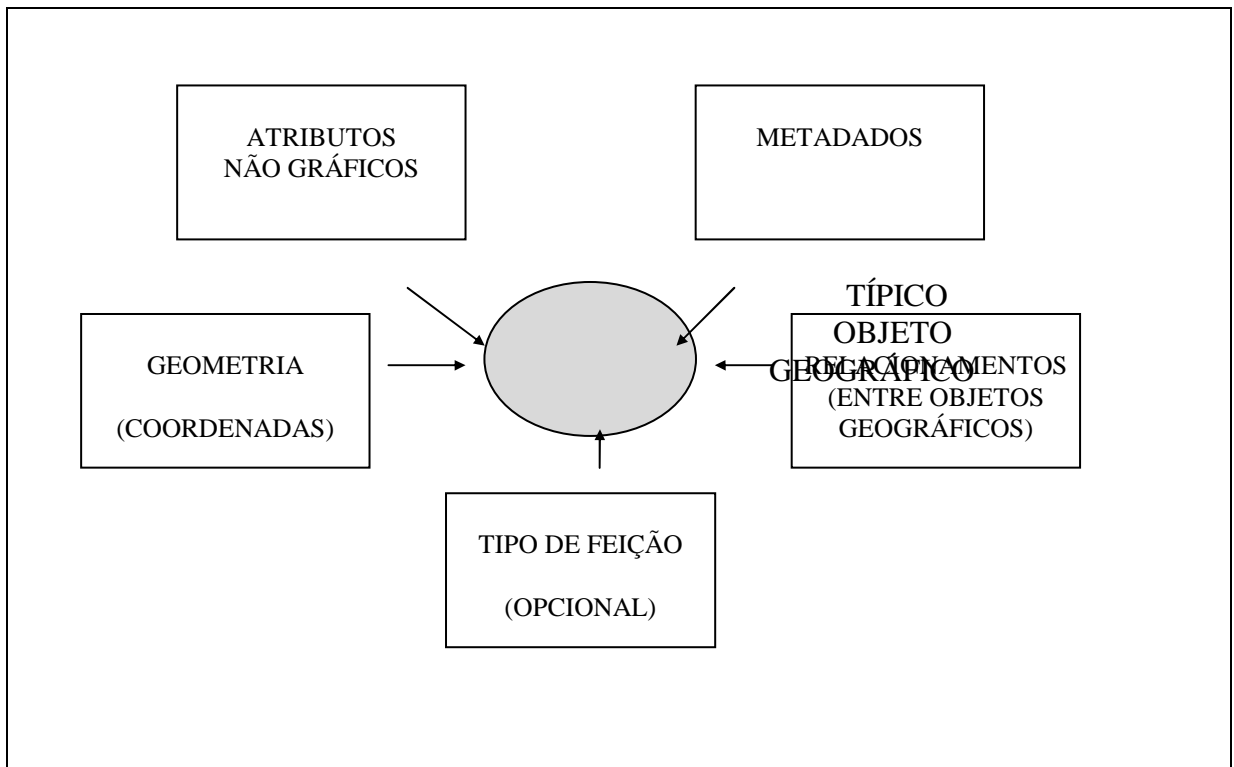
- *Entidade geográfica*: esta metaclassa representa a abstração de todas as formas possíveis de classificação de dados geográficos conforme a sua natureza descritiva: *elemento geográfico* (essa metaclassa é a abstração de todas as classes cujos exemplos são objetos identificáveis através dos seus nomes) e *propriedade geográfica* (essa metaclassa é a abstração de todas as classes cujos itens são valores quantitativos normalmente coletados sobre um elemento predefinido da porção do solo);
- *Referência geométrica*: esta metaclassa representa a abstração de todas as referências geométrico-espaciais possíveis, as quais podem ser associadas aos dados geográficos;
- *Tema geográfico*: esta metaclassa representa a abstração de todas as relações possíveis que associam os tipos de dados geográficos a seus correspondentes valores quantitativos para a referência geométrica-espacial. assegurando, para um determinado datum geográfico, ou melhor, geodésico, seus aspectos descritivos e geométricos.

Considerações sobre o Objeto Geográfico:

A subclasse de Objeto Geográfico pode ser considerada como uma superclasse abstrata. Apenas uma subclasse definida pelo usuário de Objeto Geográfico pode ser usada para a descrição de entidades definidas para representar elementos naturais ou artificiais da Terra. Objeto Geográfico contém um atributo obrigatório: posição de um domínio de um Objeto Espacial. Esse domínio contém dois atributos opcionais que são descritos da seguinte maneira. A geometria do domínio do Objeto Geométrico é obrigatória para aquelas subclasses de Objetos Geográficos que não são subclasses de Conjuntos de Dados Espaciais. As coordenadas são restritas a valores Integer 32, Real 32 ou Real 64, por exemplo. O Objeto Geométrico é restrito a um subconjunto descrito nas seções seguintes.

A Figura 1 a seguir apresenta os componentes de um Objeto Geográfico Genérico ilustrando a riqueza de descrições disponíveis para uma dada entidade qualquer.

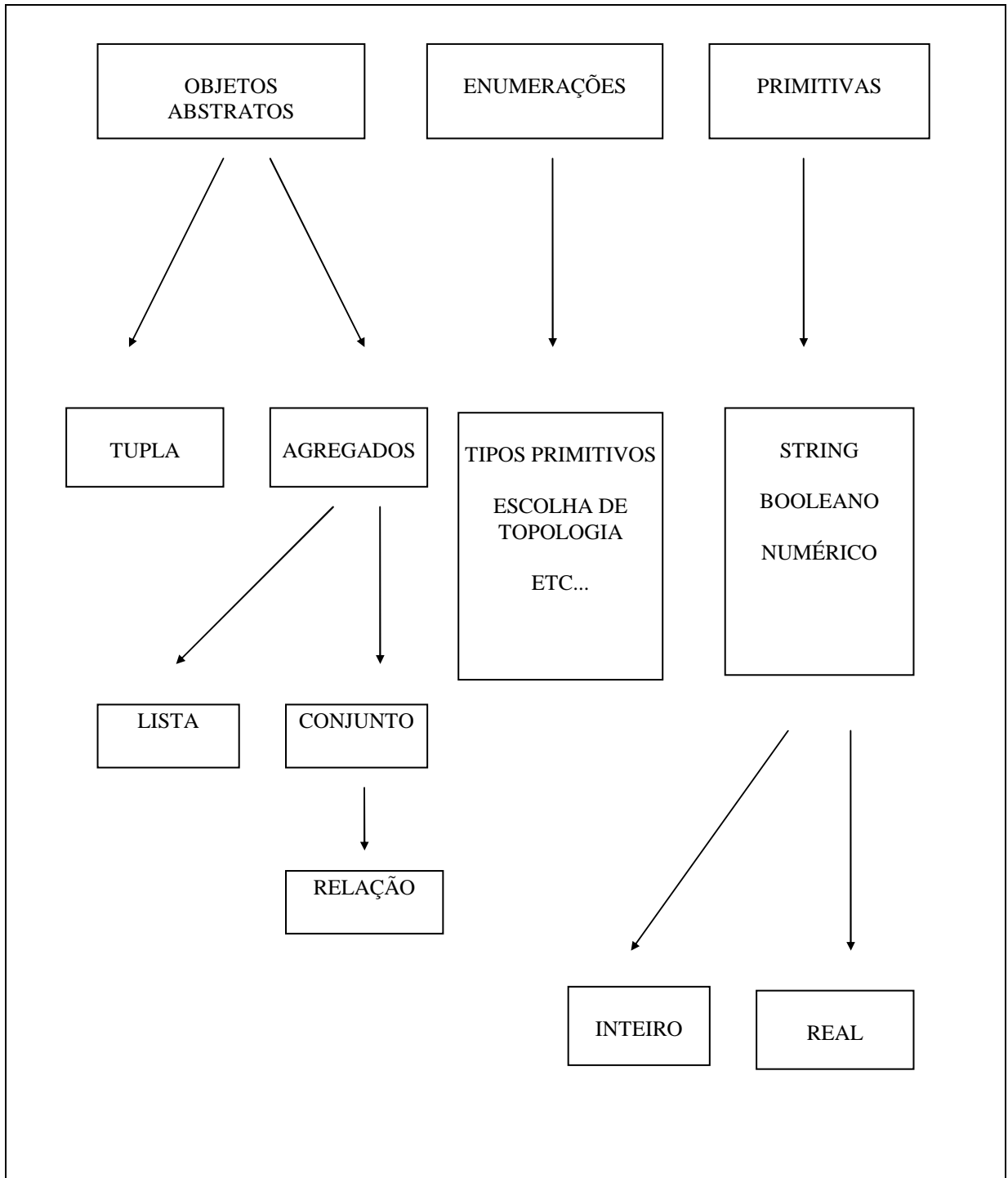
Figura 1: Objeto geográfico no contexto do SAIF.



Hierarquia do modelo de dados do SAIF:

A Figura 2 a seguir ilustra a hierarquia de classes básicas ou primitivas no modelo orientado a objetos, no contexto do SAIF.

Figura 2: Hierarquia de classes no modelo orientado a objetos no contexto do SAIF.



As classes de dados para as imagens de satélite, no contexto do SAIF, são definidas como se segue [Safe94(a)]:

Tipos de classes **GEO_Raster**:

- **GEO_RasterClass**: é uma superclasse abstrata. Com suas subclasses define estruturas de malhas regulares consistindo de pontos, pixels ou voxels que possuem valores associados ou, segundo a terminologia do SAIF, rValores. O significado dos rValores não está definida sob a classe **GEO_RasterClass**, deve ser especificado usando atributos de uma outra classe denominada **GEO_GeographicObject**;
- **GEO_AreaRaster**: é uma superclasse abstrata. Suas subclasses são usadas para definir estruturas raster consistindo de células de duas dimensões com valores raster;
- **GEO_Pixels**: essa superclasse permite definir pixels individuais para um raster bidimensional tradicional ou imagem a ser especificada;
- **GEO_PixelGrid**: essa superclasse fornece valores para todas as posições em uma célula de Malha;
- **GEO_NormalRaster**: essa superclasse permite definir subclasses apropriadas para definir típicos dados raster para SIG;
- **GEO_Imagem**: essa superclasse permite definir subclasses apropriadas para definir típicos dados de imagem.

4.2. METADADOS PARA IMAGENS

Um aspecto muito importante para o desenvolvimento de Bancos de Dados, do tipo multi-usuário e multi-finalitário para suportar SIG's, é, então, a sua DOCUMENTAÇÃO. Sem documentação própria torna-se difícil para os usuários localizar os dados necessários para as suas aplicações. Uma vez encontrados os dados, normalmente é necessário conhecer como foram coletados e que acurácias possuem. As descrições desses dados documentados são comumente denominadas de METADADOS, metainformações ou metaesquema.

Um “dicionário de dados” é usado para organizar os metadados. Ele poderá conter uma seção descrevendo, numa visão geral, de como os dados são subdivididos em arquivos, que campos de registros se relacionam e possuir tópicos tais como convenções adotadas na definição daqueles dados. Uma seção principal desse dicionário de dados deveria conter os metadados assim como as descrições de cada campo. Para cada campo, os seguintes itens poderiam ser incluídos [Jaco94]:

- nome do campo;
- descrição do campo;
- tipo de dados;

- formato;
- métodos da coleção de dados;
- acurácia;
- unidades;
- qualquer outra informação que julgue relevante.

No contexto do Projeto Sequoia 2000 [Gard93] esforços têm sido feitos no sentido de estudos de padrões geoespaciais para acelerar o desenvolvimento e suporte à interoperabilidade entre Sistemas de Banco de Dados. Existem trabalhos feitos nesse sentido, como é o caso do SAIF (*Spatial Archive and Interchange Format*) [Safe94(a)] [Safe94(b)] [Safe94(c)] e do FGDC (*Federal Geographic Data Committee - Content Standards for Digital Geospatial Metadata*) [FGDC94] que se destacam entre as contribuições para o OGIS (*Open Geodata Interoperability Specification*) [Ande94] [OGIS94(a)] [OGIS94(b)]. Um estudo mais detalhado sobre padrões de conteúdo de Metadados Geoespaciais Digitais pode ser encontrado em [Ribe95].

Uma imagem pode ser armazenada como parte de um conjunto grande de dados e uma região deve possuir muitos conjuntos de dados desse tipo. Uns metadados podem ser criados para descrever os dados necessários para uma região sobre a qual usuários estejam interessados em trabalhar. Categorias de metadados, para conjuntos de imagens de satélite, podem ser:

- raster: como foi descrito anteriormente, metadados raster incluem estruturas de malha e informação espaço-temporal;
- linhagem de dados: inclui o histórico do processamento, algoritmos e parâmetros que foram usados para produzir a imagem. Algoritmos melhores podem ser desenvolvidos para processar imagens, ou anomalias podem ser descobertas em imagens, anos após sua criação. Um pesquisador analisando uma imagem pode querer conhecer as etapas de processamento que criaram uma imagem assim como informação detalhada sobre os algoritmos utilizados. Esse pesquisador pode querer também identificar todos os “rasters” que foram processados com um determinado algoritmo, talvez reprocessá-los usando um algoritmo diferente;
- descrição do conjunto de dados: pesquisadores podem querer conhecer que conjuntos de dados estão disponíveis para uma particular localização geográfica, assim como descrição detalhada de cada dado considerado. Catálogos e descrições de conjuntos de dados são normalmente críticos quando se usa ferramentas de edição de dados. Metadados tipicamente incluem uma determinada localização geográfica, atribuem datas para as coberturas dos conjuntos de dados, pesquisam palavras-chave e disponibilidade de dados e, por último, contactam informação;

- descrições de objeto: pesquisadores freqüentemente necessitam conhecer a estrutura de uma tabela da base de dados ou as propriedades específicas de um determinado atributo. Por exemplo, latitude pode ser uma variável de ponto flutuante de precisão simples que deve assumir valores compreendidos entre -180° (hemisfério ocidental) a $+180^\circ$ (hemisfério oriental). A informação do esquema é também necessária para gerar transferência de arquivos em um formato específico.

É proposto, ainda no contexto do SAIF, uns metadados para imagem de satélite do tipo AVHRR, que se estende a outros sistemas sensores orbitais também, com algumas características diferentes. Existem os seguintes casos de como usuários deveriam consultar dados raster [Ande94]:

- selecionar todas as imagens AVHRR para a região sul do Brasil entre as épocas de outubro de 1991 a junho de 1992 e classificá-las cronologicamente;
- procurar a imagem do mapeador temático *Landsat* mais próxima de 2 de abril de 1992, para a área do estado de Maine (EUA) que está livre de nuvens e possui neve. Mapear a área coberta de neve e apresentar um índice de tamanho de flocos de neve lá encontrados.

As duas consultas necessitam de informação de tempo (data) (para recuperar imagens que se adequam à data especificada) e informação geográfica (para restringir a pesquisa espacial para uma especificada região). A segunda consulta adicionalmente requer informação nas bandas. Em outras palavras, os metadados suportando essas consultas devem incluir informação espacial e temporal tão bem como a própria estrutura do raster.

Uns metadados para suportar essas consultas podem ser organizados da seguinte forma, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Metadados AVHRR (tabela adaptada a partir de [Ande94]).

METADADOS AVHRR	CARACTERÍSTICAS	
MALHA	Número de linhas	2.889
	Número de amostras	4.587
	Número de bandas	10
	Bandas	AVHRR: canais 1 a 5
		NDVI
		zênite do satélite
		zênite solar
		azimute relativo
	data da fonte do "pixel"	
REGISTRO ESPACIAL	Sistema de projeção do mapa	Azimutal de Lambert
	Latitude (ϕ) e longitude (λ) do ponto central	100° Oeste de Greensich 45° Norte do Equador
	Falso Norte e Leste (coordenadas U.T.M.)	0 0
	Falso Norte e Leste (coordenadas U.T.M.) do canto	-2.050.000 752.000
	Caixa de vizinhança (ϕ e λ): canto inferior esquerdo canto superior esquerdo canto superior direito canto inferior direito	-119,9722899 e 23,5837576 -128,5300591 e 48,4030555 -65,3946489 e 46,7048989 -75,4163527 e 22,4793919
INFORMAÇÃO TEMPORAL	Data de início	04 de janeiro de 1991
	Data do término	17 de janeiro de 1991

Esses metadados e suas especificações também permitem prever a incorporação de dados de outros sistemas sensores orbitais que tratam imagens de satélite como:

- * Sistema multi-espectral *Landsat* integrados com sistemas sensores de mapeamento temático (EUA);
- * Sistema sensor *SPOT* (França) [CNEE93].

5. BANCOS DE DADOS ESPAÇO-TEMPORAIS

Problemas existem na manipulação de dados geográficos em função das características próprias dos dados analógicos cartográficos: grandes esforços físicos para o armazenamento de mapas convencionais, atualização desses mapas consomem tempo e alto custo, além da inexistência de um mecanismo que possa garantir eficiência e segurança dos processos de atualização. Além desses elementos há ainda problemas de análise e manipulação de entidades espaciais e o alto custo de reprodução de mapas impressos de forma convencional.

Os SIG's são sistemas de informação que têm dentre suas características o aspecto temporal dos dados [Bray94]. Há uma vasta bibliografia que aborda vários aspectos sobre Bancos de Dados Temporais em [Soo91] e Espaço-Temporais em [Al-Ta93]. No que se trata a dados de imagem o fator tempo torna-se um parâmetro fundamental a ser considerado na análise espacial. Os SGBD's que se ocupam com o armazenamento e com a recuperação dos dados geográficos devem possuir as seguintes características [Cava94]:

- Identidade: há duas vertentes: a abordagem baseada em valores (modelo relacional) e a abordagem baseada em identidade (modelo orientado a objetos);
- Diversos tempos: a adoção de modelos de tempo diversos, dependendo da aplicação.
- Diversos formalismos lógicos: o modo como os eventos temporais estão relacionados ao tempo determina a lógica necessária para a dedução temporal;
- Gerenciamento de informação aproximada: o suporte de visões e consultas aproximadas e a gerência da informação associada à precisão;
- Operações de agregação: dando suporte à construção de agregação, à avaliação dos atributos agregados e à operação sobre objetos complexos.

Exemplos de SIG's temporais podem ser encontrados na bibliografia [Barr91]. O primeiro trata de Requisitos para Sistemas Cadastrais envolvendo Sistema de Intervenção Governamental e Sistemas de Registros de Óbitos. Já o segundo exemplo trata de Modelagem de Mudanças Globais do Meio Ambiente através da análise de Modelos de Circulação Geral da Atmosfera. Ambos exemplos necessitam de um suporte de um SIG temporal.

Estudos têm sido feitos para tratar a dimensão do tempo em Sistemas de Bancos de Dados. O conceito de tempo está sendo abordado em pesquisas envolvendo não só Bancos de Dados como também Inteligência Artificial e Engenharia de Software, por exemplo.

O tempo é um importante aspecto de todos os fenômenos do mundo real. Um evento é uma ocorrência instantânea que representa algum fato, ação ou condição satisfeita. Eventos ocorrem em instantes específicos no tempo, objetos e seus relacionamentos existem em certos intervalos de tempo ou de forma instantânea. A habilidade para modelar essa dimensão temporal do mundo real é essencial para várias aplicações, inclusive para aplicações S.I.G..

Bancos de Dados convencionais representam o estado de um fenômeno em um único momento de tempo. Ainda que os conteúdos de um Banco de Dados continue a mudar quando uma nova informação é a ele adicionada, essas mudanças são vistas como modificações de estado, com o dado velho desatualizado sendo excluído do Banco de Dados.

Quando se trata de imagens de satélites artificiais observa-se que há uma necessidade eminente na gerência de cenas de regiões representando localizações geográficas. Por exemplo, pode-se imaginar o município do Rio de Janeiro sendo monitorado a partir de dados de Sensoriamento Remoto com o uso de um Banco de Dados de Imagens. Há, normalmente, grande interesse em analisar aspectos relativos a problemas urbanos com o uso dessas tecnologias. É possível haver várias cenas de diversas regiões metropolitanas para épocas distintas. Um Banco de Dados de Imagem nesse caso se aplica de forma a potencializar as análises e o planejamento urbanos.

Analisando o domínio do tempo, pode-se observar através de [Snod94] que os elementos envolvidos são:

- estrutura: inicialmente considerando o tempo como parâmetro de uma dimensão, ele pode ser classificado em relativo e absoluto. Exemplos: 2 de janeiro de 1993 é um tempo absoluto e 9 horas é um tempo relativo, onde o primeiro é instantâneo e o segundo é um intervalo de tempo.
- dimensionalidade: no contexto de Bancos de Dados duas dimensões de tempo são de interesse geral: *tempo válido* que corresponde ao tempo onde um fato foi verdadeiro na realidade, isto é, o tempo que um evento ocorreu no mundo real, independente de seu registro em alguma base de dados; e *tempo de transação* que corresponde ao tempo em que um fato foi armazenado na base de dados.

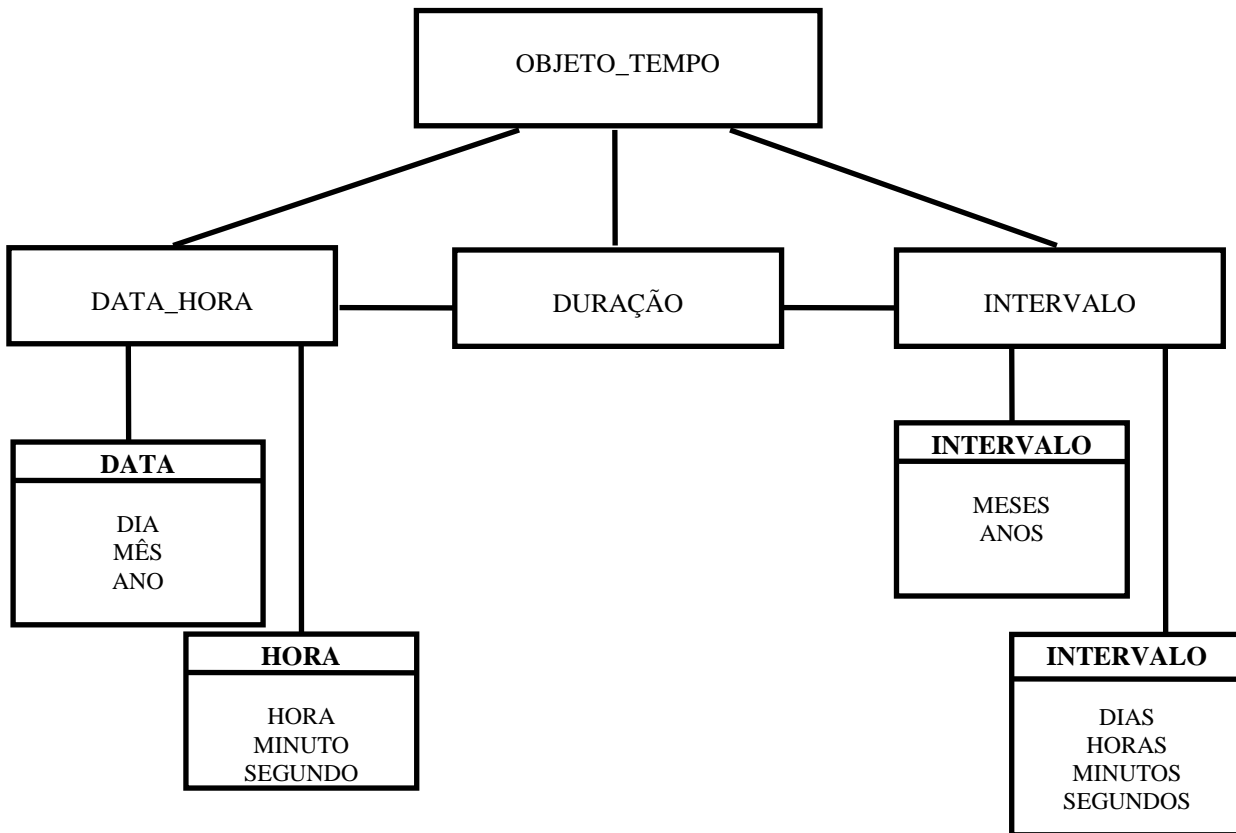
O tempo definido pelo usuário é suportado pela maioria de SGBD relacionais comerciais como outro domínio que pode estar associado a atributos. Trata-se de um domínio de atributo de data e tempo não interpretado.

O tempo é um aspecto muito importante dos fenômenos ocorridos no mundo real. Os Sistemas de Banco de Dados (SBD's) podem ser classificados, considerando aspectos temporais, da seguinte forma:

- instantâneo: onde o SBD trata fenômenos do mundo real para um determinado instante, isto é, onde uma nova informação sobrepõe outra informação mais antiga.
- “rollback”: nesse caso o SBD armazena todos os estados passados do BD utilizando o tempo da transação.
- histórico: o SBD utiliza o tempo válido como parâmetro para o armazenamento da informação que varia com o tempo.
- temporal: o SBD combina as propriedades “rollback” e histórico tratando as duas dimensões do tempo: tempo válido e tempo da transação.

As classes temporais, aplicáveis também para dados de imagens de satélite, são definidas através da seguinte estrutura de alto nível, no contexto do SAIF.

Figura 3: Estrutura de classes de tempo no contexto do SAIF.



6. BANCOS DE DADOS GRÁFICOS E ALFA-NUMÉRICOS INTEGRADOS

Um ponto em desenvolvimento ainda, em um SGBD, é decidir como integrar a representação de dados espaciais e não espaciais (alfanuméricos) simultaneamente. Há métodos sugeridos por [Same94] que independem da arquitetura do sistema. Em uma classificação apresentada por alguns autores podem ser classificadas essas arquiteturas em:

- sistemas dedicados: tem como propósito suportar aplicações em um domínio específico sem um entendimento sobre Banco de Dados, tal como a ausência de facilidades de definição de dados de alto nível. Também esses sistemas não são facilmente extensíveis no senso de que é difícil modificá-los para desempenhar ações não previamente encarados pelos projetistas do sistema. Um caminho alternativo é uma ferramenta de Banco de Dados geral que suporte uma grande variedade de aplicações freqüentemente sem um completo entendimento dos requisitos de tais aplicações. Em ambos os casos, os defeitos e faltas mencionados levam a redução em eficiência das capacidades de processamento de dados do sistema.
- sistemas de arquiteturas duais: são baseados em distinção entre dados espaciais e não espaciais utilizando diferentes modelos de dados para eles. O ARC/INFO é um exemplo. As comunicações entre os sistemas são feitas por meio de identificadores comuns. As desvantagens desse tipo de sistema são relativas às características de Bancos de Dados tradicionais tais como sincronização, segurança e integridade dos dados. Por exemplo, os resultados de ações no modelo de dados espacial devem ser refletidos no modelo de dados não espacial.
- sistemas de arquiteturas integradas ou de arquitetura híbrida: uma arquitetura híbrida é o caso mais geral. Envolvem usuários estendendo o SGBD com seus próprios tipos de dados abstratos para fornecer melhor suporte em aplicações espaciais. Essa extensão normalmente faz uso de um SGBD extensível e representa uma tentativa de fornecer um SGBD generalizado que facilite o suporte a aplicações não convencionais tais como Banco de Dados espaciais. Esses sistemas possuem alguns novos construtores para oferecer melhor poder de modelagem. Entre esse novos construtores há: aqueles que tratam de tipos de dados abstratos, objetos complexos, atributos valorados por conjunto, etc...
- sistemas protótipos: há sistemas baseados em extensão do modelo relacional e alguns sistemas implementam uma base de dados espacial sobre um SGBD relacional. Na maioria desses sistemas dados espaciais são tratados no formato relacional o que significa que dados espaciais são manipulados como se eles fossem dados de atributos regulares. Um importante aspecto que surge no desenvolvimento de sistemas baseados em uma arquitetura integrada é como unir as descrições dos dados espaciais de um objeto ao resto das descrições de objetos não espaciais.

7. ASPECTOS SOBRE LINGUAGENS DE CONSULTAS GEOGRÁFICAS ENVOLVENDO IMAGENS

Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) têm partido de sistemas básicos de armazenamento, recuperação e exibição de dados espaciais, para sistemas de modelagem espacial mais poderosos. Essa transição ocorreu principalmente devido às capacidades robustas de consulta. Linguagens de consulta espacial para dados "raster" podem possuir três classes de operações de mapas, desempenhando funções de células:

- individuais: recodificação de mapa e "overlay" Booleano.
- com vizinhanças: geração de filtros e aspecto de inclinação do terreno.
- com regiões ou zonas: cálculo de áreas.

Essa classificação pode ser tão bem aplicada a operações de processamento de imagem porque esses sistemas, que são baseados em "raster", trabalham com métodos de análise que são muito similares a algumas dessas operações SIG [Burr86].

Fazendo o uso de conceitos cartográficos clássicos, têm sido desenvolvidas interfaces eficientes de um SGBD para SIG's. Por exemplo, as cores podem ser utilizadas para representar depressões e elevações do terreno. Uma legenda é útil para transmitir informação sobre um mapa e operações entre mapas são normalmente desempenhadas por meio de execução de "overlays" de dados. Isso significa que camadas individuais de um mapa deveriam ser iconizadas e um mecanismo hierárquico deveria ser desenvolvido para facilitar a expressão de seus interrelacionamentos. O ponto chave para isso é estudar o trabalho diário de um engenheiro cartógrafo e observar as necessidades e possibilidades dessa manipulação.

Grandes quantidades de dados têm sido manipuladas por usuários de sistemas geográficos. O conteúdo desses dados é variado e inclui informações sócio-econômicas e gráficas em geral. Dados estão sendo carregados e abastecidos a partir de uma variedade de fontes incluindo levantamentos tradicionais, levantamentos geofísicos e detecção remota de imagens de satélite a partir de sistemas orbitais. Todos esses dados fornecem informações sobre o mundo real. Eles comumente são usados de forma integrada no contexto de programas e projetos onde são tomadas decisões em planejamento ou gerenciamento de problemas territoriais.

A fim de estabelecer um entendimento comum de conjuntos de dados geográficos, é essencial ter uma maneira comum de descrever objetos geográficos, seus atributos e seus relacionamentos [Kuce92] [Kuce93(a)] [Kuce93(b)]. Técnicas de modelagem orientada a objetos são particularmente apropriadas para essa tarefa. Tais técnicas podem refletir diretamente um entendimento inteligente do domínio desses dados, mesmo tratando de dados muito complexos.

Interoperabilidade de Bancos de Dados espaciais heterogêneos serão estabelecidos e mantidos se há modelo geográfico baseado em um modelo semântico comum fornecendo um entendimento unificado de fenômenos geográficos, expressos por meio de um vocábulo consistente e estensível [Worb91]. Acessos e análises poderão ser feitos de forma mais simplificada se a informação é compatível em termos de referência temporal e geográfica, qualidade de dados e outros resultados de metadados e, por último, semântica e estrutura. É sabido que o SAIF (*Spatial Archive and Interchange Format*), que é um padrão canadense para intercâmbio de dados geográficos, foi desenvolvido particularmente para descrever os componentes de grandes e interconectados conjuntos de dados, descrevendo muitos tipos de informação geográfica e não geográfica.

Um SIG necessita, basicamente, de três capacidades, no contexto de suas potencialidades funcionais a nível de consultas:

- Apresentação de mapas: esse é o mais importante serviço para a maioria dos usuários. Apresentação de mapas inclui a habilidade de mostrar feições geográficas sobre mapas, assumindo valores de dados e alcances para essas feições, tais como volume de vendas para um determinado distrito, para ampliar ("zoom in") e reduzir ("zoom out") e indicar vários níveis de detalhes além de produzir resultados diversos.
- Uso de mapas como uma ferramenta de organização: mapeamento torna-se um mecanismo pelo qual os usuários podem consultar Bancos de Dados, por exemplo, mostrar as localizações de todas as residências na área metropolitana que foram vendidas no último mês; reorganizar dados em diferentes unidades espaciais, por exemplo, resumir aquelas vendas de residências pela cidade; manter registros de dados espaciais, por exemplo, vendas de lotes por área de atuação; e, finalmente, comparar diferentes feições e informações cruzadas, por exemplo, superposição de vendas de lotes com demanda média por área.
- Análise espacial: esse é o uso dos dados geográficos ou espaciais utilizando modelos matemáticos ou lógicos para propósitos de planejamento e tomada de decisão. Em uma consulta espacial os usuários utilizam o mapa como uma ferramenta de consulta, não apenas como uma escolha de apresentação de dados. Tipicamente, em uma consulta espacial o usuário acessará um Banco de Dados apontando para uma área de uma mapa. O SIG pesquisará, então, para procurar aqueles registros que se encaixam com a janela da consulta e apresentará os resultados de uma pesquisa na forma tabular ou resumida.

Uma linguagem de consulta espacial deve permitir aos usuários consultar sobre dados espaciais e não espaciais, em qualquer operação definida pelo usuário que utiliza a seguinte sentença já familiar do tipo: SELECT-FROM-WHERE (SQL).

As consultas devem fornecer soluções seguindo a seguinte forma: seleção de todos os objetos geográficos que estão em relacionamento especificado com outro dado objeto geográfico. Por exemplo [Kuce94]:

Considere uma consulta onde se queira conhecer o nome de todas as escolas públicas de uma determinada cidade que estão a menos de 50 km a partir da sede municipal. Traduzindo, na linguagem de consulta, tem-se:

```
SELECT escolas_públicas.nome
FROM escolas_públicas, cidades, sede_municipal
WHERE contém (escolas_públicas.localização, cidades.localização)
AND distância (cidades.localização, sede_municipal.localização, km) < 50
```

Essa consulta introduz um operador topológico espacial *contém* que é definido usando teoria de conjuntos da Matemática. O operador espacial distância deve também ser definido na linguagem de consulta SQL3 e é uma função que opera sobre um atributo de localização (geometria) que deveria estar armazenado com qualquer objeto geográfico [Kuce93(a)] [Kuce93(b)] [Kuce94]. Note que o operador está funcionalmente a um nível do objeto geográfico assim como está também a informação georreferenciada que é armazenada em um componente do metadados de todo objeto geográfico. A escala, a projeção e unidades de medidas requisitadas para propriamente executar a consulta estão disponíveis diretamente. Isso não deveria ser o caso se a consulta foi executada a um nível do objeto geográfico que é independente da informação dos metadados.

Quando trata-se de consultas espaço-temporais envolvendo imagens de satélite de forma integrada com dados alfa-numéricos, pode-se ter a seguinte situação, por exemplo: deseja-se exibir a imagem de satélite mais recente de uma determinada cena, em uma escala pré-definida, relativa a uma localização geográfica, que contenha alguns objetos identificados:

- na escala 1/1.000.000;
- pontos ou regiões relativos aos municípios de Casimiro de Abreu e Macaé;
- área da Reserva Biológica Poço das Antas;
- linhas correspondentes à Rodovia BR-101.

```
SELECT áreas_nome
FROM áreas_críticas, cenas_escalas
WHERE contém (cidades.localização, reservas.localização, rodovias.localização)
AND tempo (cenas.época) < 1995,333
```

Nota-se a complexidade de consultas desse tipo. Em SGBD onde há Banco de Dados de Imagem e Banco de Dados alfa-numéricos separados, esse tipo de consulta se torna uma tarefa dificultosa.

Dados espaciais são geométricos e variáveis, consistindo em pontos, linhas, regiões, polígonos, volumes, tempo e dados até de outras dimensões. Esses dados espaciais normalmente são manipulados em conjunto com dados alfanuméricos, por exemplo, o nome de um rio, o tipo de solo de uma região, o tempo decorrido em um intervalo de tempo, etc.... Dados espaciais podem ser discretos ou contínuos. Quando eles são discretos, eles podem ser modelados usando técnicas de Sistemas de Gerência de Bancos de Dados Relacionais (SGBDR's). Quando se trata de dados espaciais contínuos, está se referindo a dados referentes a valores de atributos que assumem mais do que apenas um ponto ou uma instância de tempo.

As consultas típicas em um Banco de Dados Geográficos tratam de dados georreferenciados que podem estar nos formatos vetorial ou matricial (raster ou tesserar). Os dados relativos a imagens de satélite estão no formato matricial e, para cada célula de armazenamento, isto é, para cada unidade de armazenamento, associa-se um determinado “pixel” da imagem, como já foi visto na seção 2. Há métodos próprios para o acesso a esses dados propostos por [Salz91] [Medi94], onde as dificuldades no desenvolvimento desses métodos são apontadas por aqueles autores .

Ainda explorando a complexidade das situações práticas, quando trata-se de consultas e armazenamento de imagens, pode-se haver as seguintes situações:

- armazenar uma imagem de satélite relativa a uma região para uma época (ou instante);
- armazenar uma nova imagem de satélite sobre outra relativa a uma mesma região para épocas distintas;
- recuperar e exibir, através de seus atributos, uma determinada imagem de satélite relativa a uma região para uma época;
- recuperar e exibir várias imagens de satélite e correlacioná-las com outros dados do Banco de Dados;
- recuperar e exibir uma determinada imagem de satélite relativa a uma região;
- recuperar e exibir várias imagens de satélite de uma mesma região, analisando-as em função do tempo;
- recuperar e exibir várias imagens de satélite relativas a várias regiões para uma mesma época;

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Métodos de segmentação da imagem especializados, que tiram proveito das características da imagem, podem também ser utilizados em sua manipulação. Esses métodos envolvem, desde software para a segmentação automática total, até métodos assistidos por computador semi-automáticos. As vantagens de técnicas de segmentação de imagem influenciam fortemente a estratégia de desenvolvimento do sistema de gerência de imagem para extrair seletivamente a informação da imagem, organizar e armazenar essa informação estipulando uma recuperação eficiente baseada em conteúdo. O processamento de imagens segundo [Chu94] consiste, basicamente, nas seguintes etapas:

- * identificação de objetos nas imagens;
- * detecção de vizinhanças de objetos;
- * obtenção de feições espaciais e relações dos objetos da imagem.

Os tipos de informação extraída de imagens para responder as consultas são:

- * contornos de objetos: são armazenados como mapas de bits no sistema. Um número de características espaciais de um objeto pode ser derivado do contorno, por exemplo, área, volume, circunferência, caixa de vizinhança e restituição em três dimensões;
- * feições espaciais: tais como tipo, forma, área, volume, diâmetro, comprimento e circunferência, descrevem as características espaciais de um objeto da imagem. Por exemplo, a medida de uma circunferência sobre áreas deflorestadas, o contorno mostrando sua vizinhança pode ser detectado e o número de “pixels” do contorno é contado e a circunferência da área atingida é obtida;
- * relações espaciais: descreve as relações entre um par de objetos espaciais, incluindo: relações ortogonais referentes a relacionamentos direcionais entre objetos, tais como Leste, Sul ou Sudoeste; e relações de conteúdo referentes às relações de posição e localização de contatos entre um par de objetos, tais como Invade e Contém.

A partir de experiências exploradas na área médica onde há trabalho importante já feito [Chu94] no sentido de se investigar sobre esse tema, procura-se também aperfeiçoar esses conceitos a objetos espaciais em aplicações geográficas.

9. COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

Os autores verificaram alguns aspectos a nível de considerações finais e conclusões, no contexto de Sistemas de Gerência de Bancos de Dados Geográficos, incluindo aqueles que tratam de Imagens de Satélite:

- é importante em SIG's fazer uma consulta usando informações gráfica e textual. Nos sistemas dedicados e, principalmente, nos sistemas duais, essa tarefa não é trivial e de difícil realização;
- embora importante, gerenciar o aspecto temporal em um Banco de Dados não é uma tarefa simples;
- embora situações diversas possam ocorrer ao nível de consultas, os SIG's não estão preparados para suportá-las de forma genérica, daí a necessidade de existência de um modelo do tipo do SAIF para estabelecer padrões nas definições dos dados geográficos;
- a tecnologia de orientação a objetos ajuda, mas não é totalmente suficiente para resolver os problemas enfrentados na manipulação de dados geográficos;
- tentativas já existem para solucionar problemas a nível de consultas, quando há integração de dados mistos (gráficos e não gráficos), mas há ainda barreiras a serem vencidas;
- metadados geoespaciais digitais podem e devem ser definidos no sentido de se estabelecer padrões para dados *raster* relativos a imagens de satélite.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [Al-Ta93] Al-Taha, Khaled K.; Snoodgrass, Richard T. & Soo, Michael D. Bibliography on Spatialtemporal Databases SIGMOD RECORD Vol. 23 No. 1 - March 1993.
- [Ande94] Anderson, Jean T. & Stonebraker, Michael Sequoia 2000 Metadata Schema for Satellite Images SIGMOD RECORD Vol. 23 No. 4.
- [Barr91] Barrera, Renato; Frank, Andrew & Al-Taha, Khaled Temporal Relations in Geographic Information Systems: A Workshop at the University of Maine SIGMOD RECORD Vol. 20 No. 3 - September 1991.
- [Bray94] Brayner, Ângelo R. A. & Medeiros, Cláudia Bauzer Incorporação do Tempo em um SGBD Orientado a Objetos 9ª Simpósio Brasileiro de Banco de Dados - São Carlos - SP.
- [Brow94] Brown, Robert & Fletcher, Peter Satellite images and GIS: making it work - Revista Mapping Awareness Vol. 8 No. 10 - December 1994.
- [Burr86] Burrough, P. A. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment - Clarendon Press - Oxford University Press - U.S.A..
- [Catt94] Cattell. R. G. G. Object Data Mangement: Object-Oriented and Extended Relational Database Systems - Addison-Wesley Publishing Company - 1994.
- [Cava94] Cavalcanti, A. E. C. & Salgado, A. C. Um estudo para tratar a dimensão tempo em Sistemas de Bancos de Dados - 9ª Simpósio Brasileiro de Banco de Dados - São Carlos - SP.
- [Chu94] Chu, Wesley W.; Jeong, Ion T. & Taira, Ricky K. A Semantic Modeling Approach for Image Retrieval by Content - VLDB Journal, 3, 445-477 (1994), Ralf Hartmut Güting Editor.
- [CNEE93] Centre National d'Etudes Spatiales SPOT Management and Decision Making Tool - SPOT IMAGE.
- [Esp94] Espiago, Javier Valorización de los SIG como Tecnologia Informática Cartografia e Cadastro No. 1 - Instituto Português de Cartografia e Cadastro.
- [FGDC94] Federal Geographic Data Committee - Contents Standards for Digital Geospatial Metadata - June - 1994.
- [Fons94] Fonseca, Ana Maria Utilização de Imagens Obtidas por Satélites de Detecção Remota no Planejamento e Ordenamento do Território Cartografia e Cadastro No. 1 - Instituto Português de Cartografia e Cadastro.
- [Gard93] Gardels, Kenn The Sequoia model of geographic information GIS'93 Symposium Vancouver British Columbia Canada.
- [Güti94] Güting, Ralf Hartmut An introduction to Spatial Database System VLDB Journal 3 (357-399).
- [IBGE94] IBGE/DECAR Projeto INFOCAR do Departamento de Cartografia do IBGE.
- [ISO93] ISO Working Draft SQL Multimedia and Application Packages (SQL/MM) Part3: Spatial September 1993.
- [Jaco94] Jacobson, B. M.; Jennings, G. D. & Stallings, C. Multi-User / Multi-Purpose GIS Databases Computers in Agriculture - 1994 - Proceedings of the 5th International Conference - 6-9 February - Orlando - Florida - ASAE: American Society of Agricultural Engineers.
- [Kuce92] Kucera, H. A. & Sondhelm SAIF - Conquering space and time GIS'92 Symposium Vancouver British Columbia Canada.

- [Kuce93(a)] Hucera, H. A., Chin, R. S. & Jameson, C. L. SAIF - Conceptualization to Realization GIS'93 Symposium Vancouver Canada.
- [Kuce93(b)] Kucera, H., Sondheim, M., Friesen, P. & Keighan Enhancements to SQL3 to satisfy geographic data requirements SQL/MM Yokohama Meeting.
- [Kuce94] Kucera, H., Sondheim M., Varma, H. & Keighan, E. Spatial and temporal operators to extend SQL3 - Canadá.
- [Liev94(a)] Leivesley, Denise & Masser, Ian An overview of geographic information in Europe Part 1: Topographical data - Revista Mapping Awareness Vol. 7 No. 10-December 1993.
- [Liev94(b)] Leivesley, Denise & Masser, Ian An overview of geographic information in Europe Part 2: Availability and content of data - Revista Mapping Awareness Vol. 8 No. 1 - February 1994.
- [Liev94(c)] Leivesley, Denise & Masser, Ian An overview of geographic information in Europe Part 3: Access and pricing - Revista Mapping Awareness Vol. 8 No. 2 - March 1994.
- [Lu93] Lu, Hongjun; Ooi, Beng-Chin & Tan, Kian-Lee Efficient Image Retrieval by Color Contents
- [Mede94] Medeiros, Claudia Bauzer & Pires, Fatima Databases for GIS - SIGMOD RECORD Vol. 23 Number 1 March 1994 - ACM Press.
- [Medi94] Mediano, Maurício R., Casanova, Marco A. & Dreux, Marcelo A Family of Storage Methods for Geographic Data 9ª Simpósio Brasileiro de Banco de Dados.
- [MELP94] M.E.L.P. Spatial Archive and Interchange Format (SAIF): Formal Definition Release 3.1 April 1994 Reference Series Volume 1 - Surveys and Resource Mapping Branch - Ministry of Environment, Lands and Parks (M.E.L.P.) - Province of British Columbia - Canada.
- [Mour93] Moura, Maria Clara Mourão Cartografia aplicada às análises urbanas - XVI Congresso Brasileiro de Cartografia - Rio de Janeiro (RJ).
- [Murr94] Murray, Dom & Lutz, Dale SAIF: An Object Oriented Archival and Interchange Format for the future Safe Software Inc.
- [Novo93] Novo, Evelyn M. L. de Moraes Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações 2ª edição Editora Edgard Blücher Ltda. 1993.
- [OGIS94(a)] The OGIS Project Members The Open Geodata Interoperability Specification Version 1, Draft 1 Editor: Jurt A. Buehler.
- [OGIS94(b)] The OGIS Project Members The Open Geodata Interoperability Specification Draft Base Document - OGIS Project Document 94-025 Editor: Jurt A. Buehler.
- [Peuq90] Peuquet, Donna J. & Marble, Duane F. Introductory readings in Geographic Information Systems - Taylor & Francis.
- [Ribe94] Ribeiro, Gilberto Pessanha & Souza, Jano Moreira de Metadados Geoespaciais Digitais - Trabalho acadêmico - UFRJ / COPPE / Engenharia de Sistemas e Computação.
- [Rodr87] Rodrigues, Marcos Geoprocessamento - Tese de Livre Docência - Escola Politécnica - Universidade de São Paulo - São Paulo (SP).
- [Safe94(a)] Safe Software Inc. SAIF Toolkit API Programmer's Reference Manual Release 0.9 Surveys and Resource Mapping Branch Ministry of Environment, Lands and Parks British Columbia Canada.
- [Safe94(b)] Safe Software Inc. Spatial Archive and Interchange Format: Encoding Schemes SAIF/ZIP Dataset File Format Release 1.3 Surveys and Resource Mapping Branch Ministry of Environment, Lands and Parks British Columbia Canada.

- [Safe94(c)] Safe Software Inc. Spatial Archive and Interchange Format: Formal Definition Release 3.1 Surveys and Resource Mapping Branch Ministry of Environment, Lands and Parks Province of British Columbia Canada.
- [Salz91] Salzberg, Betty & Lomet, David B. Spatial Database Access Methods SIGMOD RECORD Vol. 20 No. 3 - September 1991.
- [Same94] Samet, Hanan & Aref, Walid G. Spatial Data Models and Query Processing.
- [Scho83] Schowengerdt, Robert A. Techniques for image processing and classification in remote sensing - Academic press, Inc.
- [Silv91] Silva, Jorge Xavier da; Saito, Carlos Hiroo; Filho, João Rocha Braga; Oliveira, Osmar Moreira & Pinheiro, Nelson Felipe Um Banco de Dados Ambientais para a Amazônia - Revista Brasileira de Geografia - julho/setembro - 1991.
- [Snod94] Snodgrass, Richard Temporal Object-Oriented Databases: A Critical Comparison Part 1 / Next-Generation Database Technology.
- [Sond93] Sondheim, Mark Modelling the Real World GIS'93 Symposium Vancouver Canada.
- [Soo91] Soo, Michael D. Bibliography on Temporal Databases SIGMOD RECORD Vol. 20 No. 1 - March 1991.
- [Worb91] Worboys, M. F. & Deen, S. M. Semantic Heterogeneity in Distributed Geographic Databases SIGMOD RECORD Vol. 20 No. 4 - December 1991.
- [Worr94] Worrall, Les GIS, spatial analysis and public policy - Revista Mapping Awareness Vol. 8 No. 5 - July 1994.