

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

INSTITUTO DE GEOGRAFIA

LABORATÓRIO DE GEOPROCESSAMENTO

***INTRODUÇÃO AO  
GEOPROCESSAMENTO***

Roberto Rosa

Jun/2013

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO</b>	04
<b>CAPÍTULO 2 - CARTOGRAFIA</b>	07
2.1 - Princípios Fundamentais da Cartografia	09
2.2 - O Mapa Mental	11
2.3 - Elipsóide de Referência e Datum Geodésico	12
2.4 - Orientação	19
2.5 - Escala	21
2.5.1 - Precisão Gráfica	22
2.5.2 - A Escolha da Escala	23
2.6 - Localização	24
2.6.1 - Sistema de Coordenadas Geográficas	26
2.6.2 - Sistema de Coordenadas UTM	27
2.7 - Projeções Cartográficas	32
2.7.1 - Tipo de Superfície Adotada	32
2.7.2 - Grau de Deformação da Superfície	33
2.8 - Nomeclatura e Articulação de Folhas	35
2.9 - Formatos de Apresentação de Mapas	36
2.10 - A Base Cartográfica	37
2.11 - Símbolos Convencionais e Legendas na Elaboração de Mapas	37
2.12 - Diretrizes Gerais para a Elaboração de Documentos Cartográficos	38
2.12.1 - Etapas da Construção de um Documento Cartográfico	38
2.12.2 - A Representação Gráfica (Simiologia Gráfica)	40
2.13 - Tipos de Mapas	41
2.14 - Exemplos de Mapas	42
<b>CAPÍTULO 3 - GPS (Global Positioning System)</b>	
3.1 - O que é o GPS ?	48
3.2 - Componentes do Sistema	48
3.3 - Características do Sinal	49
3.4 - Como Funciona?	50
3.5 - Fontes de Erro: Causas	51
3.5.1 - Erros dependentes dos satélites	51
3.5.2 - Erros dependentes da antena-receptora	51
3.5.3 - Erros dependentes do meio de propagação	52
3.6 - Precisão do Posicionamento GPS	52
3.7 - Fontes de Erro: Soluções	53
3.8 - Métodos de Posicionamento GPS	54
3.9 - Tipos de GPS	55
3.10 - Aplicações GPS	56
<b>CAPÍTULO 4 – GEOPROCESSAMENTO</b>	59
4.1 – Conceitos Básicos	63
4.2 – Escalas de Mensuração	66
4.3 – Formas de Representação de Entidades Espaciais	67
4.4 – Componentes de um SIG	68

4.4.1 – Hardware e Sistema Operacional	68
4.4.2 – Software de Aplicação (SIG)	69
4.4.3 – Banco de Dados	72
4.4.3.1 – Tipos de Banco de Dados	72
4.4.3.2 – Estrutura de Banco de Dados	73
4.4.3.3 – A Importância do Banco de Dados Geográficos	75
4.4.4 – Aspectos Institucionais de um SIG	79
4.5 – Estrutura de Dados	81
4.5.1 – Os Dados Geográficos no Computador	81
4.5.2 – Estrutura de Dados “Raster”	81
4.5.3 – Estrutura de Dados “Vetorial”	82
4.5.4 – Comparação entre as Estruturas de Dados	83
4.6 – Aquisição de Dados	83
4.6.1 – Fontes de Dados	83
4.6.2 – Fontes de Erros e Qualidade dos Dados	85
4.6.2.1 – Erros Comuns	
4.6.2.2 – Erros de Variações Naturais ou Medidas Originais	86
4.6.2.3 – Erros de Processamento	87
4.7 – Manipulação e análise de dados	
4.7.1 – Manipulação de Dados	88
4.7.2 – Análise de Dados	89
4.7.2.1 – Álgebra de Boole	89
4.7.2.2 – Principais Operações de Análise de Dados	91
4.8 – Modelagem espacial	95
4.8.1 – Modelos Digitais de Elevação (MDE)	97
4.9 – Principais Aplicações do Geoprocessamento	98
4.10 – Softwares mais Usados no Brasil	99
4.11 – A ligação do SIG à Internet	102
4.12 – Perspectivas Futuras	104
<b>CAPITULO 5 – SENSORIAMENTO REMOTO</b>	<b>107</b>
5.1 – A Radiação Eletromagnética	108
5.2 – Conceitos Fundamentais	110
5.3 – Efeitos Atmosféricos	111
5.4 – Comportamento Espectral de Alvos	113
5.5 – Sistemas Sensores	114
5.6 – Sistema de Formação de Cores	123
5.7 – Técnicas de Extração de Informações	124
5.7.1 – Técnicas de Interpretação Visual	126
5.7.2 – Técnicas de Classificação	127
5.7.3 – Aplicação no Uso da Terra e Cobertura Vegetal	128
5.7.4 – Validação do Mapeamento	130
5.8 – Processamento Digital de Imagens	130
5.8.1 – Correção de Imagens	132
5.8.2 – Realce de Imagens	134
5.8.3 – Classificação de Imagens	136
5.8.4 – Outras Técnicas de Processamento Digital de Imagens	139

## CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

O panorama mundial da informação e da comunicação vem passando por grandes transformações nos últimos anos, tais transformações são originadas nos avanços tecnológicos os quais tem proporcionado, a cada instante, uma nova opção para a disseminação das informações. Facilmente percebe-se a influência das inovações tecnológicas em nossa vida, seja através de acesso às informações via rede mundial de computadores ou até mesmo através da efetivação de uma simples operação bancária, feita sem o auxílio de funcionários, através de caixas eletrônicos.

Historicamente a observação e a representação da superfície terrestre têm se apresentado como fator relevante na organização e desenvolvimento das sociedades. O conhecimento sobre a distribuição espacial dos recursos naturais, infra-estrutura instalada, distribuição da população, entre outros, sempre fez parte, das informações básicas sobre as quais eram traçados os novos rumos para o desenvolvimento regional.

Desde os tempos remotos até a atualidade, as informações e dados espaciais têm sido apresentados de forma gráfica pelos antigos cartógrafos e utilizados por navegadores e demais profissionais. A coleta de informações sobre a distribuição geográfica de recursos minerais, propriedades rurais e urbanas, animais e plantas sempre foi uma parte importante das atividades das sociedades organizadas. A obtenção de informações sobre a distribuição geográfica dos recursos naturais alavancou o desenvolvimento de inúmeros países, permitindo a ocupação territorial.

No entanto, até meados dos anos 1950, os documentos, cartas e mapas eram elaborados apenas na forma analógica, impossibilitando análises mais precisas e detalhadas, resultantes de combinação entre diferentes mapas e dados. Já a partir dos anos de 1970, com a evolução da tecnologia da informática e do sensoriamento remoto, tornou-se possível obter, armazenar e representar informações geográficas em ambiente computacional, abrindo espaço para o surgimento da Geomática. Paralelo a esse desenvolvimento surgiram inúmeros métodos matemáticos e estatísticos para o tratamento de informações geográficas, possibilitando mapeamentos temáticos de vastas áreas com elevado grau de precisão.

As primeiras tentativas de automatizar o processamento de dados com características espaciais aconteceram na Inglaterra e nos Estados Unidos, nos anos 1950, com o objetivo principal de reduzir os custos de produção e manutenção de mapas. Na década de 1960, no Canadá, surgiram os primeiros Sistemas de Informação Geográfica como parte de um programa governamental para criar um inventário de recursos naturais. Estes sistemas, no entanto, eram muito difíceis de serem usados, pois não existiam monitores gráficos, os computadores eram excessivamente caros, a velocidade de processamento e a capacidade de armazenamento eram muito baixas e a mão de obra tinha que ser altamente especializada. Na época, não existiam soluções comerciais prontas para uso, e cada interessado precisava desenvolver seus próprios aplicativos, o que demandava muito tempo e muito dinheiro.

No final da década de 1960 e início de 1970, o Brasil começou utilizar dados obtidos por satélites americanos, inicialmente os meteorológicos e posteriormente os destinados ao monitoramento dos recursos terrestres, como é o caso do ERTS (Satélite Tecnológico para os Recursos da Terra), posteriormente denominado de LANDSAT. Os dados obtidos por esta série de satélites possibilitaram a formação de uma vasta base de dados, os quais serviram de suporte para a elaboração de diversos planos de desenvolvimento.

Nos anos 1970 com o aprimoramento do hardware foi possível o desenvolvimento de sistemas comerciais, surgindo então a expressão *Geographic Information System (GIS)*, no entanto, devido aos custos e ao fato destes sistemas utilizarem computadores de grande porte, apenas grandes organizações tinham acesso a esta tecnologia.

Na década de 1980 os sistemas de informação geográfica iniciaram um período de acelerado crescimento se beneficiando dos avanços proporcionados pela microinformática, como a evolução dos computadores pessoais, a diminuição dos custos e o desenvolvimento de ambientes mais amigáveis e interativos.

A década de 1990 consolidou definitivamente o uso desta tecnologia como ferramenta de apoio à tomada de decisão, tendo saído do meio acadêmico para alcançar o mercado. Instituições do Governo e grandes empresas começaram a investir no uso de aplicativos disponíveis no mercado, consolidam-se as aplicações desktop que agregavam diversas funções no mesmo sistema (análise espacial, processamento digital de imagens, modelagem 3D, geoestatística, etc.).

No início desse século o uso da WEB já está consolidado e as grandes corporações passam a adotar o uso de [intranet](#), o GIS passa a fazer parte do ambiente WEB, os aplicativos são simples, e os usuários não precisam ser especialistas. Surge o Google Maps, o Google Earth, o Microsoft Virtual Earth, Google Street View e o Wikimapia. Pessoas que até então não tinham qualquer contato com ferramentas GIS, passam de uma hora para outra a ter acesso à qualquer parte do planeta por meio de aplicações que misturam imagens de [satélite](#), modelos 3D e GPS, sendo necessário apenas uma conexão à internet. Fabricantes de aparelhos de celular estão lançando telefones equipados com GPS e mapas. Montadoras fabricam carros com sistemas de rastreamento por satélite. A cada dia dependemos mais desta tecnologia, mesmo sem saber.

Em um país com dimensões continentais como é o caso do Brasil, com uma grande carência de informações adequadas à tomada de decisões sobre os mais diversos problemas, esta tecnologia tem muito a contribuir.

O uso desta tecnologia no Brasil teve início nos anos 1980, na Universidade Federal do Rio de Janeiro, a qual desenvolveu o software SAGA (Sistema de Análise Geo-Ambiental), com forte capacidade de análise geográfica, sendo muito utilizado como material didático e em projetos de pesquisa. Em meados dos anos 1980 a empresa de aerolevanteamento AeroSul desenvolveram o MaxiDATA e o MaxiCAD, um sistema para automatização de processos cartográficos.

Também, em meados dos anos de 1980 com o fim da reserva de mercado de informática no Brasil, e com o aparecimento de ambientes operacionais baseados em janelas, como o PC/Windows e estações de trabalho UNIX, se abre novas possibilidades no desenvolvimento de aplicativos mais interativos e amigáveis, voltados a análise de dados geográficos.

Em 1984 o INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) formou um grupo específico para o desenvolvimento de tecnologia GIS e sensoriamento remoto. De 1984 a 1990 este grupo desenvolveu o SITIM (Sistema de Tratamento de Imagens) e o SGI (Sistema de Informações Geográficas), para ambiente PC/DOS, e, a partir de 1991, o SPRING (Sistema para Processamento de Informações Geográficas) e o TerraVIEW, para ambientes UNIX e MS/Windows.

Em 1990 a TELEBRÁS iniciou o desenvolvimento do SAGRE (Sistema Automatizado de Gerência da Rede Externa), uma aplicação no setor de telefonia, construído com base em um ambiente GIS, com um banco de dados cliente-servidor.

Do conjunto de tecnologias que se inter-relacionam no campo das bases de dados e das análises geográficas podemos destacar: a cartografia, a mais antiga e também já bem definida com seus 2000 anos de existência; o sensoriamento remoto, o segundo mais antigo por ter sua origem histórica associada à fotografia, na segunda metade do século XIX e, muitas aplicações ao longo das diferentes guerras; os sistemas de informação geográfica (ou GIS – Geographic Information Systems) tendo suas origens conceituais bem definidas; e, mais recentemente os sistemas de satélites de navegação global – GNSS (GPS, GALILEO, GLONASS, COMPASS, etc.) surgidos a partir dos anos de 1980.

No Brasil estas tecnologias são conhecidas como: Geomática, Geoprocessamento, Sistema de Informação Geográfica e mais recentemente Geotecnologias. Embora cada termo apresente um conceito diferente, abordam mais ou menos a mesma temática. Estes conceitos são bastante discutidos nas obras de TOMLIN (1990), MAGUIRE et al. (1993 e 1997), CÂMARA et al. (1996), BURROUGH e MCDONNELL (1998), XAVIER da SILVA e ZAIDAN (2004), TOMLINSON (2005) e DEMERS (2009).

O termo Geoprocessamento é usado quase que exclusivamente no Brasil, provavelmente fruto de rivalidades de intelectuais entre as correntes européias e americanas. A seguir apresentamos os conceitos que a nosso ver melhor caracterizam cada uma destas tecnologias.

Geotecnologias – conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e disponibilização de informações com referência geográfica. São compostas por soluções de hardware, software e peopleware que juntas constituem-se em poderosos instrumentos como suporte a tomada de decisão. Dentre as geotecnologias podemos destacar: a cartografia digital, o sensoriamento remoto, o sistema de posicionamento global, o sistema de informação geográfica.

Geomática – Ciência que se utiliza de técnicas matemáticas e computacionais para a análise de informações geográficas, ou seja, informações temáticas “amarradas” à superfície terrestre, através de um sistema de coordenadas. No Brasil, o termo Geoprocessamento e Geomática se referem à mesma coisa, ou seja, Geoprocessamento é utilizado como sinônimo de Geomática.

Sistema de Informação Geográfica – Conjunto de ferramentas computacionais, composta por equipamentos e programas que, por meio de técnicas, integra dados, pessoas e instituições, de forma a tornar possível a coleta, o armazenamento, o processamento, a análise e a disponibilização de informações georreferenciadas, que possibilitam maior facilidade, segurança e agilidade nas atividades humanas, referentes ao monitoramento, planejamento e tomada de decisão, relativas ao espaço geográfico.

## CAPÍTULO 2 - CARTOGRAFIA

Os mapas ocupam um importante lugar entre os recursos de que a civilização moderna pode lançar mão. A produção de mapas cresce proporcionalmente ao crescimento da população, de forma a atender seus interesses nos mais variados ramos de atividade.

A história dos mapas é mais antiga que a própria história, isto se pensarmos na história como a documentação escrita sobre fatos passados. A elaboração de mapas precede a escrita. Isto pode ser concluído do fato comprovado por muitos exploradores dos vários povos primitivos que embora eles não houvessem alcançado a fase de escrita, desenvolveram a habilidade para traçar mapas. A base do sistema cartográfico atual é atribuída por todos aos gregos. Admitiram a forma esférica da Terra, com seus pólos, equador e trópicos. Desenvolveram o sistema de coordenadas geográficas, desenharam as primeiras projeções e calcularam o tamanho do nosso planeta.

Para elaborar um mapa deve-se conhecer muito bem o modelo, a Terra, e ter-se o discernimento científico para se suprimir detalhes de menor importância de acordo com a escala e o objetivo do mesmo. O técnico deve ter, também, o discernimento artístico na escolha de símbolos e cores para representar os diversos elementos que irão compor o mapa. Tanto o profissional que elabora o mapa, como aquele que se utiliza dele, devem ter noções básicas que os orientem tanto no seu uso, como na sua execução.

Uma intensa discussão tem ocorrido, internacionalmente, a respeito de definições básicas em Cartografia, em 1964, visando estudar a padronização de termos técnicos, a Associação Cartográfica Internacional (ACI) estabeleceu uma Comissão, o que levou à constituição de Grupos de Trabalhos nos diversos países-membros, resultando, assim, na publicação do Dicionário Multilíngue de Termos Técnicos em Cartografia.

São várias as definições de Cartografia encontradas na literatura ao longo do tempo e é interessante observar que o avanço tecnológico vem provocando constantes evoluções em tal conceito.

A cartografia é considerada como a ciência e a arte de expressar (representar), por meio de mapas e cartas, o conhecimento da superfície terrestre. É ciência porque, para alcançar exatidão, depende basicamente da astronomia, geodesia e matemática. É arte porque é subordinada as leis da estética, simplicidade, clareza e harmonia.

A palavra mapa é de origem cartaginesa e significa "toalha de mesa", uma vez que na época os navegadores e os negociantes ao discutir sobre suas rotas, caminhos e localidades, rabiscavam diretamente sobre as toalhas (mappas), surgindo daí a denominação "mapa". A palavra carta parece ser de origem egípcia, e significa papel, que vem diretamente do papiro.

Nos países de língua inglesa há uma nítida diferença entre mapa e carta. Em português, como os dois vocábulos coexistem, carta e mapa tem praticamente o mesmo significado. No Brasil há uma certa tendência em empregar o termo mapa quando se trata de um documento mais simples, ao contrário, o documento mais complexo ou mais detalhado costuma-se denominar de carta.

Segundo a ABNT mapa é "representação gráfica, em geral uma superfície plana e numa determinada escala, com a representação de acidentes físicos e culturais da superfície da Terra, ou de um planeta ou satélite" já, a palavra carta é a "representação dos aspectos naturais e artificiais da Terra, destinada a fins práticos da atividade humana, permitindo a avaliação precisa de distâncias, direções e a localização plana, geralmente em média ou grande escala, de uma superfície da Terra, subdividida em folhas, de forma sistemática, obedecendo um plano nacional ou internacional".

Outra definição polêmica proposta pela Associação Cartográfica Internacional é a de cartógrafo, considerado como aquele que pratica a Cartografia, sem menção alguma à educação cartográfica. O profissional habilitado, atualmente, a praticar a Cartografia, é o engenheiro cartógrafo, aquele que se especializa em uma área que se insere entre as Engenharias e as Geociências, ou seja, a Engenharia Cartográfica, a qual pode ser considerada como a área do conhecimento voltada às atividades de planejamento, aquisição, processamento, utilização e comunicação da informação espacial.

Assim como ocorreu com a Cartografia, o conceito de produtos cartográficos também tem evoluído para o de produtos de informação, em parte em função dos avanços tecnológicos, mas principalmente, devido a uma maior preocupação do cartógrafo com seu papel social e político no atual cenário mundial. Tradicionalmente, e em particular no nosso país, a definição e classificação de produtos cartográficos têm se prendido ao aspecto quantitativo, considerando características tais como escala e precisão; entretanto, o aspecto qualitativo tem grande relevância e não pode ser desprezado, uma vez que leva em conta o tipo de informação que se quer transmitir, qual o seu propósito, por quem é produzida e a quem é dirigida.

O conteúdo informativo dos mapas topográficos é geralmente similar em todo o mundo, embora o conteúdo, confiabilidade e a exatidão dos mapas publicados possam variar consideravelmente mesmo de folha para folha dentro da mesma série de mapas, refletindo assim as variações na qualidade do material-fonte.

Atualmente, outros produtos são considerados valiosos em Cartografia, tais como:

*Globo* - representação cartográfica sobre uma superfície esférica, em escala pequena, dos aspectos naturais e artificiais de uma figura planetária, com finalidade cultural e ilustrativa.

*Mapa* - representação no plano, geralmente em escala pequena, dos aspectos geográficos, naturais, culturais e artificiais de uma área tomada na superfície de uma figura planetária, delimitada por elementos físicos, político-administrativos, destinada aos mais variados usos, temáticos, culturais e ilustrativos.

*Carta* - representação no plano, em escala média ou grande, dos aspectos artificiais e naturais de uma área tomada de uma superfície planetária, subdividida em folhas delimitadas por linhas convencionais (paralelos e meridianos) com a finalidade de possibilitar a avaliação de pormenores, com grau de precisão compatível com a escala.

*Planta* - é um caso particular de carta. A representação se restringe a uma área muito limitada e a escala é grande, conseqüentemente o número de detalhes é bem maior.



*Fotografia Aérea* - são produtos obtidos ao nível suborbital, muito utilizados para a elaboração e ou atualização de documentos cartográficos de média a grande escala.

*Mosaico* - é o conjunto de fotos de uma determinada área, recortadas e montadas técnica e artisticamente, de forma a dar a impressão que todo o conjunto é uma única fotografia.

*Ortofotocarta* - é uma fotografia resultante da transformação de uma foto original, que é uma perspectiva central do terreno, em uma projeção ortogonal sobre um plano, complementada por símbolos, linhas e quadriculagem, com ou sem legenda, podendo conter informações planimétricas.

*Fotoíndice* - montagem por superposição das fotografias, geralmente em escala reduzida. Normalmente a escala do fotoíndice é reduzida de 3 a 4 vezes em relação a escala de vôo.

*Imagem de Satélite* - são produtos obtidos ao nível orbital, muito utilizados para elaboração e ou atualização de documentos cartográficos em escalas variadas.

*Carta-Imagem* - são imagens de satélite montadas no formato de folhas de carta, onde informações de coordenadas e toponímia é acrescentada sobre a imagem.

*Atlas* - Uma coleção de mapas comumente publicados em uma linguagem com as mesmas convenções e projeções, mas não necessariamente na mesma escala é chamada de "atlas". Um tipo de atlas que merece destaque é o escolar. Estes atlas apresentam uma grande diversidade de mapas; aspectos geológicos, geomorfológicos, solos, climáticos, políticos, estrutura viária e econômicos, etc. Este tipo de atlas tem três funções básicas: fonte de informação, fornecer as configurações geográficas e estimular o interesse dos alunos.

## **2.1 - Princípios Fundamentais da Cartografia**

O objeto da cartografia consiste em reunir e analisar dados das diversas regiões da terra, e representar graficamente em escala reduzida, os elementos da configuração que possam ser claramente visíveis. Para pôr em evidência a configuração da superfície terrestre, o instrumento principal do cartógrafo é o mapa. Mas, outras representações, tais como modelos de relevo, globos, fotografias aéreas, imagens de satélite e cartogramas, são assuntos próprios para serem tratados em cartografia.

Um mapa é, no seu conceito mais elementar, uma representação convencional da superfície terrestre, vista de cima, na qual se colocam letreiros para a identificação. Alguns mapas são tão abstratos e convencionais que dificilmente se reconhece neles uma representação do quadro original.

Definimos um mapa como uma representação convencional da configuração da superfície da terra. Toda a representação está numa proporção definida com o objeto representado. Esta proporção é chamada de escala. Ou ainda, pode-se definir um mapa como um desenho seletivo, convencional e generalizado de alguma região de uma grande área, comumente da superfície terrestre, como se vista de cima e numa escala muito reduzida. A maioria dos mapas recebem inscrições, isto é, são dados nomes as feições representadas, e são relacionados a um sistema de coordenadas.

Os mapas são:

- Desenhados numa escala predeterminada. Cada forma ou acidente do terreno é colocada exatamente na direção apropriada em relação a outros pontos e numa distância horizontal proporcional à escala do mapa;
- Seletivos, somente são incluídos os acidentes ou formas importantes para a finalidade do mapa;
- Convencionados, todos os acidentes são apresentados por convenções ou símbolos padronizados;
- Generalizados, detalhes intrincados são simplificados, particularmente nos mapas de pequena escala;
- Geralmente relacionados a um sistema de paralelos e meridianos.

Os mapas não estão necessariamente limitados a representar a superfície terrestre, pois existem mapas celestes, da lua, etc.; porém em todos os casos uma grande extensão horizontal apresenta-se reduzida a um tamanho menor.

O cartógrafo deve ser ao mesmo tempo um homem de ciência e um artista. Deverá conhecer perfeitamente o assunto e o modelo que vai representar, isto é, a Terra. Deverá discernir para suprimir mais ou menos detalhes, segundo o sistema de projeção, a escala, e a finalidade de seu mapa. A representação dos elementos é feita mediante linhas, símbolos e cores, cujo uso acertado depende do conhecimento científico e do sentido artístico.

Interpretar é "ler" um mapa. E saber interpretar um mapa é uma excelente forma de conhecermos uma cidade, um município, uma região, um estado, um país, etc. Por exemplo um mapa físico retrata as altitudes de um território, os recursos hídricos, os diferentes tipos de solo, os aspectos geológicos, etc. Um mapa político mostra a divisão dos municípios, dos estados, as principais cidades.

O mapa é uma representação convencional da superfície da Terra, trata-se de um meio de comunicação, e sua leitura requer o conhecimento da linguagem utilizada na sua elaboração. Os mapas podem ser de diversos tipos, transmitindo informações de natureza variada. Grande parte da simbologia empregada nos mapas obedece a convenções aceitas universalmente. Os diferentes profissionais procuram compreender a linguagem empregada nos mapas, a fim de obter muitas informações para seus estudos. Estes profissionais podem apenas interpretar os mapas elaborados pelos cartógrafos, bem como criarem seus próprios mapas, para ilustrar seus estudos e pesquisa.

Em geral, os mapas tem as seguintes finalidades:

- Obter informações sobre a distribuição espacial dos fenômenos, como solos, precipitação, uso da terra, densidade demográfica, etc.;
- Discernir relações espaciais entre os vários fenômenos;
- Coletar, através de medições, dados necessários às análises geográficas, propiciando informações para a descrição e análises estatísticas.

## 2.2 - O Mapa Mental

Muitas pessoas são fascinadas pelos mapas. Eles excitam a imaginação ao se ver milhares de quilômetros quadrados da terra num desenho sobre uma pequena folha de papel. As pessoas gostam de pendurar mapas em paredes, devido às suas qualidades artísticas e científicas. Pode-se considerar o interesse das pessoas pelos mapas, mas os dados constantes nos mesmos tem de ser apresentados de forma verdadeira e harmoniosa, com clareza, simplicidade e ainda um toque de beleza. Tudo isso depende da habilidade do autor do mapa em planejar e desenhar; esses dois aspectos estão intimamente inter-relacionados. Planejar, significa estabelecer o plano geral e o estilo do mapa, a ser decidido antes do traçado da primeira linha; desenhar, significa dispor no papel o que foi planejado. Essas duas atividades não podem ser separadas.

Ao explicar a um estranho como chegar à estação rodoviária, traduzimos em palavras o mapa que esta na nossa mente (mapa mental), e somos levados a acompanhar nossas palavras com gestos semelhantes aos usados no desenho de um mapa. Uma pessoa cega, que se move em torno de um quarto sem bater em qualquer móvel, usa um mapa mental formado pelas várias batidas anteriores. Em cada um desses casos, o mapa foi formado por experiência pessoal, sintetizando numa imagem mental, centenas de impressões de distâncias, direções, voltas e marcas terrestres. Há grandes diferenças entre as pessoas em sua habilidade para figurar mapas mentais. O processo é mais complexo quando temos de figurar mentalmente o mapa de uma vasta região, na sua maior parte desconhecida por nós.

A melhor forma de nos orientarmos numa área desconhecida é desenhar o local que queremos explorar. Por exemplo, para explicar um endereço a alguém, muitas vezes fazemos o desenho do local com as ruas, praças ou avenidas próximas. Esses tipos de desenho podem ser considerados esboços de mapas, porque não mostram a área com exatidão e, principalmente, não têm escala. Os mapas primitivos eram mais ou menos assim, esquemas sem escala e sem as convenções cartográficas que usamos hoje.

A maioria dos mapas elaborados hoje apresentam muita exatidão e muito rigor em relação a áreas, limites, distâncias, etc. Mas, para elaborar um mapa, é preciso antes de tudo fazer um levantamento. Levantamento é o estudo preparatório para mapear uma região. É um trabalho muito minucioso, envolve a aplicação de diversos tipos de produtos e recursos tecnológicos, especialmente as técnicas de sensoriamento remoto, cartografia digital e geoprocessamento. As fotografias aéreas e as imagens obtidas por satélite, hoje em dia, são excelentes fontes de informação para a elaboração de mapas.

Atualmente, a cartografia entra na era da informática. Com o auxílio de satélites e de computadores, a cartografia torna-se um verdadeiro sistema de informações geográficas, visando a coleta, o armazenamento, a recuperação, a análise e a apresentação de informações sobre lugares ao longo do tempo, além de proporcionar simulações de eventos e situações complexas da realidade, tendo em vista a tomada de decisões. Assim, não basta que os mapas respondam apenas à pergunta "onde?". Hoje, eles precisam responder também a outras questões, como "por quê?", "quando?", "por quem?", "para que finalidade?" e "para quem?".

### 2.3 - Elipsóide de Referência e Datum Geodésico

Apesar de se assumir que a forma da Terra é redonda, em estudos onde se exige precisão de posicionamento, como é o caso da maioria das representações da superfície terrestre em mapas e cartas, deve-se considerar mais cuidadosamente as pequenas diferenciações da sua forma.

No século XVII, Isaac Newton demonstrou que não sendo a Terra um corpo rígido e estando animada de um movimento de rotação, ela não deveria possuir uma forma esférica e sim, a de um elipsóide de revolução, sendo achatada nos pólos.

Por meio de triangulações geodésicas, pôde-se verificar que a Terra não possuía uma forma elipsoidal perfeita, mas sim a de um geóide, que não pode ser descrita de forma matemática simples, mas que pode ser determinada a partir de medidas da aceleração da gravidade nos mais diversos pontos da superfície da Terra. Numa primeira aproximação, o geóide seria a forma que a Terra teria se sua superfície fosse completamente coberta com água, pois esta se amolda de acordo com a aceleração da gravidade em cada ponto.

Com o lançamento de satélites artificiais foi possível determinar com melhor precisão o geóide, através das anomalias observadas no movimento destes satélites e provocadas pela distribuição não uniforme da massa terrestre. O geóide difere muito pouco das formas elipsoidal e esférica, quando se considera que o valor do raio terrestre é muito maior do que a diferença entre o geóide e estas duas formas. Por isto, pode-se sem muito erro dizer que a Terra é praticamente esférica.

A forma da Terra, girando em torno de seu eixo e movendo-se dentro do Sistema Solar do qual faz parte, é resultado da interação de forças internas e externas tais como: gravidade, força centrífuga, constituição diferente dos materiais que a formam, etc.

As forças tectônicas por exemplo, são forças internas que provocam modificações na superfície do globo terrestre tais como: dobramentos, falhamentos, terremotos, surgimento de vulcões. A ação dessas forças produz sobre a superfície terrestre uma série de irregularidades como: montanhas, vales, planaltos, etc. que formam a superfície topográfica da Terra. Essas irregularidades são muito pequenas se comparadas ao tamanho e volume total da Terra, entretanto, essa superfície aparente é de grande importância para o topógrafo, geodesta, etc., pois é sobre essa superfície que são realizadas as medições e os estudos para as diversas finalidades.

Devido a esses acidentes e irregularidades, a superfície da Terra não tem uma forma simples que possa ser expressa em termos matemáticos. A fim de simplificar o cálculo de coordenadas da superfície terrestre, foram adotadas algumas superfícies matemáticas simples que se aproximam em maior ou menor grau do real. Uma primeira aproximação seria uma esfera. Porém, a esfera seria suficientemente aproximada para solucionar com a precisão requerida, alguns problemas como por exemplo: cálculos astronômicos, navegação e solução de cálculos geodésicos usando a trigonometria esférica. Entretanto, a Terra não é exatamente uma esfera, sendo achatada nos pólos e abalada próximo ao Equador.

Segundo GAUSS (1777-1855), a forma do planeta, em uma definição mais rudimentar, é representada pela superfície delimitada pelo nível médio dos mares, não

perturbados por ventos e correntezas, já que estes, ocupam aproximadamente 72% da superfície do planeta. Esta superfície é denominada GEÓIDE. GEÓIDE é definido como o sólido formado pelo nível médio dos mares supostamente prolongado por sob os continentes.

As diferentes matérias que compõem a superfície possuem diferentes densidades, fazendo com que, em função disso, a força gravitacional atue com maior ou menor intensidade em locais diferentes. As águas do oceano procuram uma situação de equilíbrio, ajustando-se às forças que atuam sobre elas, inclusive no seu suposto prolongamento. A interação de forças buscando equilíbrio, faz com que o geóide tenha o mesmo potencial gravimétrico em todos os pontos de sua superfície, resultando em ondulações e depressões.

Considerando a necessidade de se definir matematicamente a forma do planeta, para as diferentes aplicações das atividades humanas, surge como problema o alto grau de complexidade da representação matemática do geóide, assim, por não ser uma superfície perfeitamente lisa, que possa ser definida matematicamente, o geóide também não serve para que se defina a forma do planeta, sendo utilizado apenas para nivelamento geodésico.

É preciso então buscar um modelo mais simples para representar o nosso planeta. Para contornar o problema lançou-se mão de uma figura geométrica chamada *elipse* que ao girar em torno do seu eixo menor forma um volume, o *elipsóide de revolução*. Assim, o elipsóide é a superfície de referência utilizada em todos os cálculos básicos que fornecem subsídios para a elaboração de uma representação cartográfica. Essa é então a superfície matemática que mais se aproxima da superfície real da Terra (Figuras 3, 4 e 5).

O geóide é, então, a forma adotada para a Terra e é sobre esta superfície que são realizados todas as medições. Como o geóide é uma superfície irregular, de difícil tratamento matemático, foi necessário adotar, para efeito de cálculos, uma superfície regular que possa ser matematicamente definida. A forma matemática assumida para cálculos sobre o geóide é o *elipsóide de revolução*, gerado por uma elipse rotacionada em torno do eixo menor do geóide.

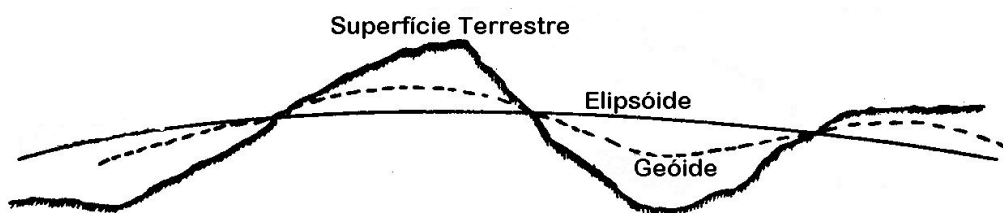


Fig. 3 - Superfície da Terra, geóide e elipsóide

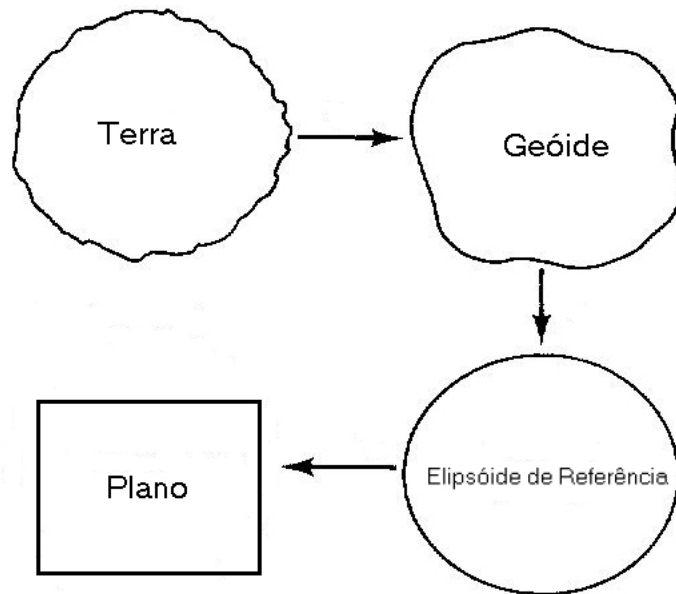


Fig. 4 - Diferentes modelos de representação da superfície terrestre

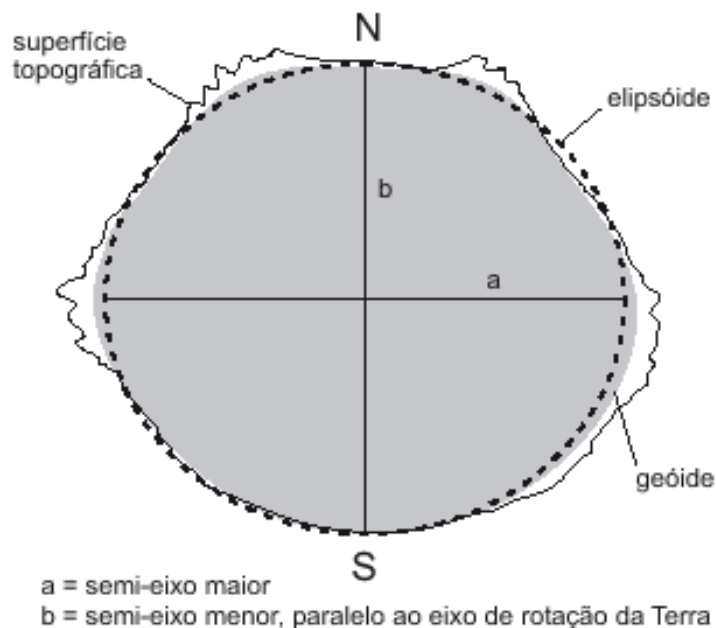


Fig.5 – A terra e os modelos de representação

Como vimos, medições e levantamentos feitos na superfície terrestre (geóide) são matematicamente solucionados no *elipsóide*. Os sistemas geodésicos buscam uma melhor correlação entre o geóide e o elipsóide, elegendo um elipsóide de revolução que melhor se ajuste ao geóide local, estabelecendo a origem para as coordenadas geodésicas referenciadas a este elipsóide, através dos *datum* horizontal e vertical.

Em geral, cada país ou grupo de países adotou um elipsóide como referência para os trabalhos geodésicos e topográficos. São usados elipsóides que mais se adaptem às necessidades de representação das regiões ou continentes.

Para definir um elipsóide necessita-se conhecer os seus parâmetros, ou seja, o seu semi-eixo maior (a) e o semi-eixo menor (b) ou o achatamento (e). O achatamento pode ser calculado por:  $e = a-b/a$ . A posição deste elipsóide em relação à Terra, bem como sua forma e tamanho, constituem um conjunto de parâmetros que são usualmente denominados *Datum Geodésico*.

**Datum** - É um conjunto de pontos e seus respectivos valores de coordenadas, que definem as condições iniciais para o estabelecimento de um sistema geodésico. Com base nessas condições iniciais, um sistema geodésico é estabelecido através dos levantamentos geodésicos. Um sistema geodésico é um conjunto de estações geodésicas (marcos) e suas coordenadas.

**Datum Planimétrico (horizontal)** - é o ponto de referência geodésico inicial que representa a base dos levantamentos horizontais, um seja, é definido por um conjunto de parâmetros, e é um ponto de referência para todos os levantamentos cartográficos sobre uma determinada área. A localização ideal do ponto seria onde houvesse coincidência entre o geóide e o elipsóide ( $h=0$ ).

Existem dois tipos de datums horizontais: Globais - quando o elipsóide for global e não tiver ponto de amarração sobre a superfície terrestre que não os definidos no sistema. Os Locais - quando o elipsóide for local, neste caso deve possuir parâmetros diferenciais.

Existem muitos elipsóides representativos da forma da Terra, que foram definidos em diferentes ocasiões e por diferentes autores. Dentre eles os mais comuns são:

<b>Elipsóide</b>	<b>Datum</b>	<b>a (m)</b>	<b>b (m)</b>	<b>País que adota</b>
Bessel (1841)	Bukit Rimpah	6.377.484	6.356.165	Alemanha
Clarke (1866)	American Samoa 1962	6.378.206	6.356.584	EUA
Krassovsky (1940)	Afgooye	6.378.245	6.356.863	URSS
Hayford (Internacional 1924)	Córrego Alegre	6.378.388	6.356.912	Brasil (antigo)
UGGI-67	South American 1969	6.378.160	6.356.775	Brasil (atual)
UGGI-79	WGS-84	6.378.137	6.356.752	Globo
GRS-80 (1980)	SIRGAS	6.378.137	6.356.752	América do Sul

Ao longo do tempo foram testados vários elipsóides de revolução para melhor definir a Terra. Com instrumentos geodésicos cada vez mais precisos, a cada reunião da UGGI, novos valores de elipsóide são propostos para melhor definir a Terra como um todo. Entretanto, cada parte da Terra possui suas particularidades físicas. Assim, definem-se elipsóides globais que melhor representam a Terra como um todo e elipsóides locais que melhor se ajustam à determinados continentes ou parte da Terra.

Coordenadas definidas em elipsóide globais são menos ajustadas a determinados locais da Terra que as coordenadas definidas em elipsóides locais. Porém, para outros continentes, coordenadas definidas em elipsóides locais podem produzir grandes distorções. A definição de um elipsóide internacional seria um absurdo, se a tal definição tivesse qualquer importância prática. Na realidade a substituição de um elipsóide por outro modifica muito pouco as cartas e mapas de escala pequena (menor do que 1:100.000).



O sistema de coordenadas geográficas definido no WGS-84 (World Geodetic System), utiliza o elipsóide global UGGI-79, enquanto que o sistema SAD-69 (South American Datum 1969) utiliza o elipsóide local UGGI-67, que é o elipsóide para a América do Sul, com ponto de amarração situado no vértice Chuá em MG. Normalmente os dados coletados por GPS (Global Position System) se referem ao este Datum.

No Brasil, até a década de 1970, adotava-se o elipsóide Internacional de Hayford, de 1924, com origem de coordenadas planimétricas estabelecida no Datum Planimétrico de Córrego Alegre. Posteriormente, o sistema geodésico brasileiro foi modificado para o SAD-69 (Datum Sulamericano de 1969), que adota o elipsóide de referência UGGI67 (União Geodésica e Geofísica Internacional de 1967) e o ponto Datum planimétrico Chuá (Minas Gerais).

O Decreto Presidencial No 89.317, de 20 de junho de 1984 que estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional especifica o Datum "South American Datum - 1969", SAD-69, como datum oficial (local) a ser utilizado em toda e qualquer representação cartográfica do Território Nacional (Figura 6). Este datum utiliza o elipsóide UGGI-67, cujos parâmetros são:

- Ponto no terreno (ponto de contato): Vértice de Chuá (MG)
- A altura geoidal:  $h=0$
- elipsóide de referência: Elipsóide Internacional de Referência de 1967
- As coordenadas do ponto: Latitude  $19^{\circ} 45' 41,6527''$  S e Longitude  $48^{\circ} 06' 04,0639''$  W

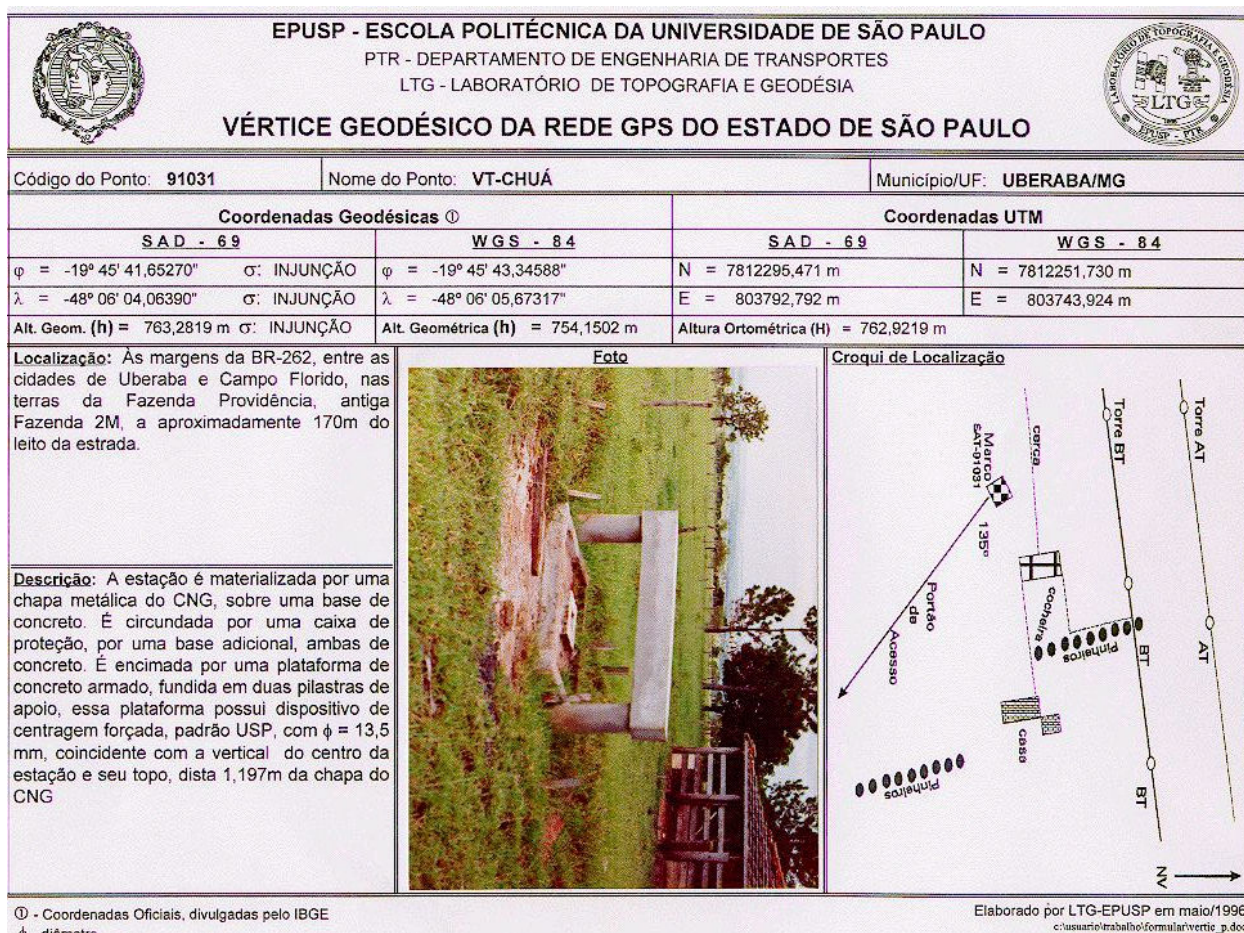


Fig. 6 - Localização do South American Datum - 1969 (SAD-69) datum oficial do Brasil



As coordenadas referenciadas a este datum podem ser geográficas e cartesianas ou planas (ex. UTM).

**Datum Altimétrico (vertical)** - é a superfície formada pelo nível médio do mar, definida através de um marégrafo estável, à partir de longos períodos de observação para estabelecer a altitude zero. As altitudes são calculadas partindo-se do Datum Altimétrico.

No Brasil - Marégrafo de Imbituba (SC) - 1958 - A altitude do ponto de origem (RN 4X) em relação ao nível médio do mar local: 8,6362 m.

O Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) é constituído por cerca de 70.000 estações implantadas pelo IBGE em todo o Território Brasileiro, divididas em três redes:

- Planimétrica: latitude e longitude de alta precisão
- Altimétrica: altitudes de alta precisão
- Gravimétrica: valores precisos de aceleração gravimétrica

É importante estar sempre atento às informações constantes nas legendas dos mapas utilizados, pois para uma mesma área podem existir mapas em sistemas geodésicos diferentes, já que muitos mapas utilizados ainda hoje, no Brasil, são anteriores a década de 1980 e, portanto, estão referenciados ao Datum Córrego Alegre.

Apesar da proximidade entre os sistemas Córrego Alegre e SAD-69 ser grande, o fato de não se efetuar as transformações devidas para a compatibilização dos documentos utilizados, pode introduzir erros da ordem de 10 a 80 metros, o que pode ser significativo dependendo do objetivo do trabalho e/ou escala utilizada.

O WGS84 é a quarta versão do sistema de referência geodésico global estabelecido pelo Departamento de Defesa Americano (DoD) desde 1960 com o objetivo de fornecer posicionamento e navegação em qualquer parte do mundo. Ele é o sistema de referência das efemérides operacionais do sistema GPS. Daí a importância do WGS84 frente aos demais sistemas de referência. No Brasil, os parâmetros de conversão entre SAD69 e WGS84 foram apresentados oficialmente pelo IBGE em 1989. Uma das principais características do WGS84 diante do SAD69 é este ser um sistema geocêntrico, ao contrário do sistema topocêntrico do SAD69.

O SIRGAS foi oficialmente adotado como Referencial Geodésico Brasileiro em 2005. As alterações são fruto do decreto N° 5334/2005, assinado em 06 de janeiro de 2005 e publicado no Diário Oficial da União de 07/01/2005, que deu nova redação ao artigo 21 do Decreto N° 89.817 - de 20 de junho de 1984 -, que define as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional, onde é alterada a caracterização do Sistema Geodésico Brasileiro, estando atualmente em um período de transição de 10 anos, onde o SAD69 ainda poderá ser utilizado pela comunidade, com a recomendação de que novos trabalhos sejam feitos no novo sistema.

O SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul) foi criado em outubro de 1993, contando com a participação dos países da América do Sul, representados por suas agências nacionais, tendo como principal objetivo estabelecer um sistema de referência geocêntrico para a América do Sul. A adoção do SIRGAS segue uma tendência

atual, tendo em vista as potencialidades do GPS e as facilidades para os usuários, pois, com esse sistema geocêntrico, as coordenadas obtidas com GPS, relativamente a esta rede, podem ser aplicadas diretamente aos levantamentos cartográficos, evitando a necessidade de transformações e integração entre os dois referenciais. Utilizando a concepção de um Sistema de Referência Moderno, onde a componente "tempo" é acrescentada, as coordenadas e vetor velocidades dos vértices são referidos a uma determinada época. O elipsóide utilizado é o GRS-80 (Geodetic Reference System 1980), sendo considerado idêntico ao WGS84 em questões de ordem prática, como é o caso do mapeamento. As constantes dos dois elipsóides são idênticas, com exceção de uma pequena variação no achatamento terrestre (WGS84= 1/298.257223563, GRS80= 1/298.257222101).

A transformação de um datum para outro, pode ser realizada através de rotinas computacionais que estão incluídas, atualmente, na maioria dos sistemas computacionais em uso.

Convém também destacar, que é necessário muita atenção, quando da utilização de GPS na aquisição de dados, para que o equipamento esteja corretamente configurado. Normalmente o GPS está configurado para um sistema global, de uso internacional, como é o caso do WGS-84.

Existem vários órgãos públicos e privados no Brasil, que executam o mapeamento do território nacional. Os órgãos, mais atuantes, no mapeamento sistemático brasileiro, são o IBGE e a DSG - Ministério do Exército.

Os levantamentos geodésicos classificam-se em três grupos:

#### ***Levantamentos Geodésicos de Alta Precisão*** (Âmbito Nacional)

- *Científico* - dirigido ao atendimento de programas internacionais de cunho científico e a sistemas geodésicos nacionais.
- *Fundamental (1ª ordem)* - pontos básicos para amarração e controle de trabalhos geodésicos e cartográficos, desenvolvido segundo especificações internacionais, constituindo o sistema único de referência.

#### ***Levantamento Geodésico de Precisão*** (Âmbito Nacional)

- *Para áreas mais desenvolvidas (2ª ordem)* - insere-se diretamente no grau de desenvolvimento sócio-econômico regional. É uma densificação do Sistema Geodésico Nacional à partir da decomposição de figuras de 1ª ordem.
- *Para áreas menos desenvolvidas (3ª ordem)* - dirigido às áreas remotas ou aquelas em que não se justifiquem investimentos imediatos e, sempre, em função da inexistência ou impossibilidade de se desenvolver levantamentos geodésicos de alta precisão.

## ***Levantamentos Geodésicos para fins Topográficos (Local)***

Possui características locais. Dirigem-se ao atendimento dos levantamentos no horizonte topográfico. Tem a finalidade de fornecer o apoio básico indispensável às operações topográficas de levantamento, para fins de mapeamento com base em fotogrametria. Os levantamentos irão permitir o controle horizontal e vertical através da determinação de coordenadas geodésicas e altimétricas

### **2.4 - Orientação**

A orientação é feita a partir dos pontos cardeais, ou seja, são os pontos de referência. Devido a extensão da superfície terrestre e ao aumento da circulação de pessoas e mercadorias, surgiu a necessidade de posicionar corretamente as localidades e traçar rotas a seguir. Daí resultaram os diversos meios de orientação. A princípio essa orientação era feita pelos astros, depois vieram a bússola e o astrolábio, até chegarmos, atualmente, ao rádio, radares e GPS.

Graficamente, representa-se a orientação pela rosa-dos-ventos. Nela, a orientação norte-sul é considerada sobre qualquer meridiano e a orientação leste-oeste, sobre qualquer paralelo. Para orientar-se, consideram-se os pontos cardeais, os colaterais e os sub-colaterais (Figura 7).

Pontos Cardeais: N = Norte, S = Sul, E = Leste, W = Oeste

Pontos Colaterais: NW = Noroeste, NE = Nordeste, SE = Sudeste, SW = Sudoeste

Pontos Sub-colaterais: NNW = Norte-Noroeste, NNE = Norte-Nordeste, SSE = Sul-Sudeste, SSW = Sul-Sudoeste, ENE = Leste-Nordeste, ESE = Leste-Sudeste, WSW = Oeste-Sudoeste, WNW - Oeste-Noroeste

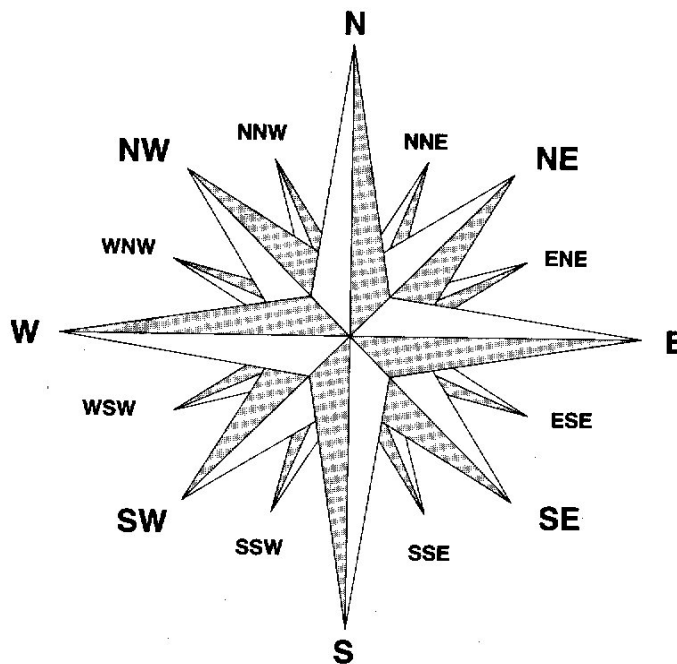


Fig. 7 - Rosa dos Ventos

**Orientação pelo Sol** - é estabelecida pelo movimento aparente do Sol, isto é, devido ao movimento de rotação exercido pela Terra, de oeste para leste, tem-se a sensação de que o Sol está se movimentando no sentido inverso. Para orientar-se pelo Sol, basta posicionar-se com mão direita estendida para o nascente, onde se tem o leste. A mão esquerda indica o oeste, a frente da pessoa é o norte e suas costas, o sul. O norte e o sul apontam na direção dos pólos terrestre; o leste e o oeste apontam para o lado do nascer e por do sol. Convém destacar que, o leste e o oeste não apontam sempre para o ponto onde o sol nasce ou se põe e sim para o lado do nascente ou lado do poente. Durante o ano, o sol nasce em pontos diferentes do lado do nascente e se põe em pontos diferentes do poente. Por isso, não podemos dizer que o sol nasce sempre no leste e se põe no oeste. Dependendo da época do ano a diferença entre o nascente (ponto onde o sol nasceu) e o leste verdadeiro é grande. Portanto, o sol nasce no lado leste de onde estamos e não no ponto cardeal leste, o mesmo acontece com o por, o sol se põe no lado oeste e não no ponto cardeal oeste.

Para encontrar os pontos cardeais através do sol, escolha um local que receba diretamente a luz do sol, pelo menos das 10 horas às 15 horas. O local pode ser um pequeno pátio ou uma área livre que tenha o chão liso, plano (nivelado). No período da manhã finque firmemente no chão uma vareta reta (V), certifique-se que ela não esteja tombada. A vareta irá produzir uma sombra se o sol estiver iluminando-a. Faça uma marca na ponta da sombra projetada pela vareta (S1) e depois trace uma circunferência partindo da marca e tomando como centro o ponto onde a vareta estiver fincada (é possível fazer isso laçando a vareta com um barbante e prendendo um giz na outra ponta). Depois do meio dia a ponta da sombra irá tocar a circunferência novamente. Fique atento a este momento, assim que a sombra tocar a circunferência, faça nova marca (S2). Para encontrar os pontos cardeais siga o seguinte procedimento:

- Ligue o ponto S1 ao S2;
- Ache o meio desta reta e marque o ponto M;
- Ligue o ponto M ao ponto V;
- A reta S1-S2 é a direção oeste-leste; a reta M-V é a direção sul-norte;
- Você poderá verificar que o este está no lado do nascer do Sol, mas dificilmente estará onde o Sol nasceu.

**Orientação pelas estrelas** - outras estrelas, além do Sol, podem ser utilizadas para orientar-se. No hemisfério sul, um bom referencial são as estrelas da constelação do Cruzeiro do Sul. Para orientar-se por esta constelação, basta prolongar quatro vezes e meia a parte maior da cruz e posteriormente estender uma linha imaginária perpendicular até o horizonte, onde se encontra a direção sul. No hemisfério norte, normalmente se utiliza a estrela Polar da Constelação de Ursa Menor. Se traçarmos uma linha imaginária, perpendicular a linha do horizonte, partindo desta estrela até a superfície, encontraremos a direção norte.

**Orientação pela bússola** - o funcionamento da bússola está baseado no princípio físico do magnetismo terrestre. A bússola apresenta uma agulha imantada que aponta sempre para o pólo norte magnético (NM). O norte magnético (NM) da Terra não coincide exatamente com o pólo norte da Terra ou norte Geográfico (NG). A diferença existente entre o NM e o NG é chamada de declinação magnética e está indicada nas folhas topográficas. Esta por sua vez, não é fixa, varia anualmente.

A orientação é indicada por um ponto (ex. N), enquanto que a direção é indicada por dois pontos extremos em linha reta (ex. N-S).

A direção entre dois pontos A e B quaisquer pode ser definida por azimutes ou rumos (Figura 8). O azimute é o ângulo formado pela reta que liga os dois pontos e a direção norte-sul, contado a partir de sua extremidade norte, variando de  $0^{\circ}$  a  $360^{\circ}$  (ex. N135 $^{\circ}$ ). Os rumos são definidos pelo ângulo formado pela reta que une os dois pontos e a direção norte-sul, mas contado a partir da extremidade norte ou sul, variando de  $0^{\circ}$  a  $90^{\circ}$ , são, portanto, leituras em quadrantes (ex. S45 $^{\circ}$ E ou 45 $^{\circ}$  SE)

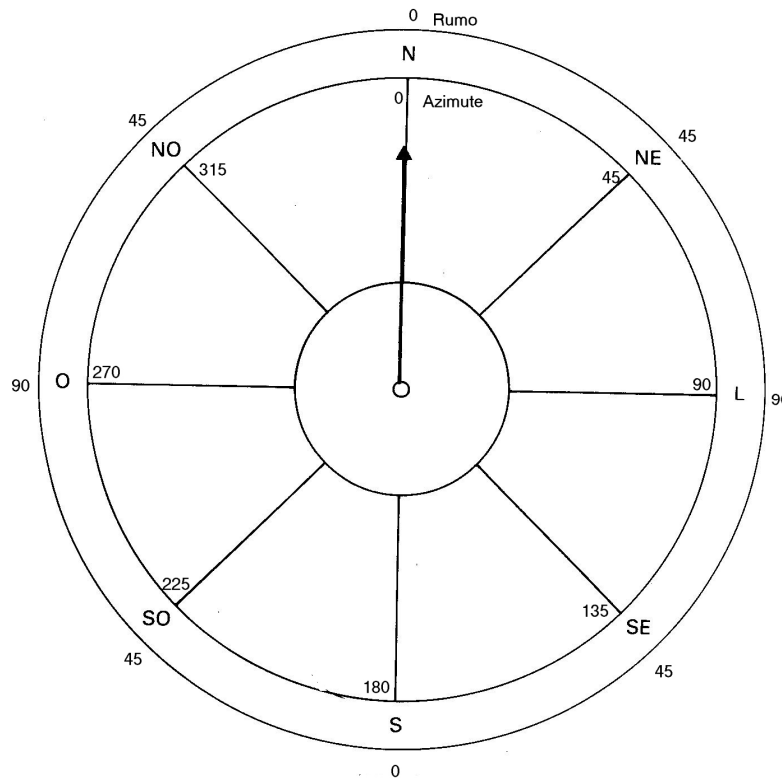


Fig. 8 - Equivalência entre rumos e azimutes

## 2.5 - Escala

A escala é uma proporção matemática, ou seja, uma relação numérica entre o mapa e a realidade que ele representa.

O milímetro, o centímetro, o metro e o quilômetro são medidas de distância. Uma régua por exemplo, é dividida em três unidades: milímetros (mm), centímetros (cm) e decímetros (dm). Um milímetro corresponde, mais ou menos, à largura de um alfinete, um centímetro a 10 mm, um decímetro a 10 cm, um metro a 10 dm ou 100 cm e, um quilômetro 100.000 cm ou 1000 m. Dominar essas noções é importante para se trabalhar com mapas, pois eles normalmente são feitos em centímetros ou milímetros, que na realidade mapeada correspondem a quilômetros ou metros.

A proporção entre a terra e seu mapa chama-se escala. A escala pode ser expressa de diferentes modos, pode também ser numérica e/ou gráfica. Por exemplo, uma escala de 1/25.000 significa que 1 centímetro ou qualquer outra unidade de comprimento, no mapa, está representado 25.000 vezes menor do que no terreno. Este número pode parecer estranho, mas um metro tem 100 centímetros; assim, cada centímetro neste mapa representa exatamente 250 metros no terreno.

A escala pode ser numérica ou gráfica.

**Escala numérica** - é representada por uma fração na qual o numerador representa uma distância no mapa, e o denominador, a distância correspondente no terreno. Assim, escala (E) é:  $E = d / D$ , onde: d é a distância entre dois pontos no mapa e D a distância entre esses mesmos dois pontos no terreno.

Em uma escala 1/100.000, por exemplo, qualquer medida linear no mapa (d) é, no terreno (D), 100.000 vezes maior. A escala numérica pode ser representada por qualquer uma das seguintes formas: 1:100.000 ou 1/100.000 ou  $\frac{1}{100.000}$ .

**Escala gráfica** - é a que representa as distâncias no terreno sobre uma linha graduada. Normalmente, uma das porções da escala está dividida em décimos, para que se possa medir as distâncias com maior precisão. É mais indicada para se visualizar a escala e para medir distâncias. Podemos tomar qualquer comprimento no mapa e lê-lo na escala gráfica em quilômetros, metros, etc. (Figura 9). Necessitando-se medir ao longo de uma estrada curva, usa-se um compasso ou instrumento chamado curvímetro.

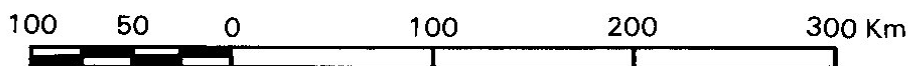


Fig. 9 - Escala gráfica

A escala é a primeira coisa que se procura em um mapa. Se ela é superior a 2 quilômetros por centímetro ou aproximadamente 1:250.000 diz-se ser um mapa de grande escala. As folhas topográficas, mapas básicos que os serviços de levantamento do governo publicam (IBGE, DSG), e dos quais são feitas reduções para todos os mapas de pequena escala, constituem um bom exemplo. Os mapas de escala média vão de 1:250.000 a 1:1.000.000. O mapa deve ser bastante seletivo, convencionado e generalizado.

### 2.5.1 - Precisão Gráfica

É a menor grandeza medida no terreno, capaz de ser representada em desenho por meio da escala mencionada. A experiência tem demonstrado que o menor comprimento gráfico que se pode representar em um desenho varia entre 0,2 e 0,5 mm, sendo portanto, este erro admissível.

Portanto, o erro pode ser determinado por:

$$\text{Erro admissível no terreno} = \text{erro máximo desejável no papel} \times \text{denominador da escala} \times \text{fator de conversão}$$

Exemplo: Para um mapa na escala de 1:100.000, admitindo-se um erro no papel de 0,5 mm, temos:

$$\text{Erro admissível no terreno} = 0,5 \text{ mm} \times 100.000 \times 0,001 \text{ m/mm} = 50 \text{ m}$$

O erro tolerável, portanto, varia na razão direta do denominador da escala e inversa da escala, ou seja, quando menor for a escala, maior será o erro admissível.

Os elementos cujas dimensões forem menores que os valores dos erros de tolerância, não serão representados graficamente. Em muitos casos é necessário utilizar-se convenções cartográficas, cujos símbolos irão ocupar no desenho, dimensões independentes da escala.

O erro máximo aceitável, conforme a classe de precisão e a escala, estão representados no quadro a seguir.

### ***Precisão Exigida para Mapas em função da Escala***

<b>Escala</b>	<b>Classe</b>		
	<b>A (m)</b>	<b>B (m)</b>	<b>C (m)</b>
1:50.000	25,0	40,0	50,0
1:10.000	5,0	8,0	10,0
1:5.000	2,5	4,0	5,0
1:2.000	1,0	1,6	2,0
1:1.000	0,5	0,8	1,0

#### ***2.5.2 - A Escolha da Escala***

A escolha da escala depende da menor feição no terreno que deseja-se representar. Portanto:

$$\text{Denominador da Escala} = \text{menor feição (m)} / \text{erro máximo desejável no papel} \times \text{fator de conversão}$$

Exemplo: Considerando uma região da superfície da Terra que se queira mapear e que possua muitas feições de 10 m de extensão, a menor escala que se deve adotar para que essas feições tenham representação será:

$$\text{Denominador da Escala} = 10 \text{ m} / (0,5 \text{ mm} \times 0,001 \text{ m/mm}) = 20.000$$

Qual a melhor escala ?

Não existe um melhor tipo de escala. A escolha da escala é determinada em função da finalidade do mapa e da conveniência da escala. Assim, pode-se dizer que o primeiro item determina a escala e o segundo, a construção do mapa.

É sempre bom lembrar que o tamanho da escala varia de acordo com a área a ser representada no mapa. Uma área pequena, como um bairro, por exemplo, exige uma escala grande, com denominador pequeno. Uma área grande, como o Brasil, por exemplo, exige uma escala pequena, com denominador grande. Quanto maior for a escala maiores serão os detalhes sobre o espaço mapeado. Por exemplo, um mapa urbano possui muito mais detalhes do que um mapa político do mundo.

## 2.6 - Localização

A Terra possui um movimento de rotação que se processa em torno de um eixo imaginário. Os pontos de interseção deste eixo de rotação com a superfície terrestre são os pólos geográficos. Podemos traçar na Terra um círculo perpendicular ao eixo de rotação e que divide a Terra em duas metades iguais ou hemisférios. Este círculo máximo é chamado de *equador terrestre* ou *equador geográfico*. Todos os círculos menores que podemos traçar na Terra, paralelos ao equador, são denominados *paralelos de latitude terrestre* ou *geográfica*. É possível também traçar outros círculos máximos (que dividem também a Terra em hemisférios), perpendiculares ao equador terrestre. Estes círculos são chamados de *meridianos terrestres* ou *geográficos*. Através destes círculos, podemos determinar as coordenadas geográficas de um lugar.

Assim como as pessoas se utilizam de pontos de referência para se localizar, foi criado um sistema de pontos de referência para localizar qualquer lugar da Terra em um globo ou mapa, que são os sistemas de coordenadas. Eles resultam do desenvolvimento de técnicas cartográficas para a elaboração de mapas, e são linhas neles traçadas com o objetivo de determinar a posição absoluta dos diversos lugares da Terra.

O Sistema de coordenadas da Terra baseia-se na rede de coordenadas cartesianas. Este sistema foi traçado considerando a Terra como uma esfera perfeita. Assim, os pólos foram definidos como os pontos de interseção do eixo de rotação da Terra com a sua superfície e o equador é o raio máximo do planeta.

Para que cada ponto da superfície terrestre possa ser localizado, existe um sistema de coordenadas (linhas imaginárias), que são representadas em um mapa ou carta. Um objeto geográfico qualquer somente poderá ser localizado se pudermos descrevê-lo em relação a outro objeto cuja posição seja previamente conhecida.

Os **meridianos** são as linhas que passam através dos pólos e ao redor da Terra, ou seja, são círculos máximos da esfera cujos planos contêm o eixo de rotação ou eixo dos pólos. Decidiu-se que o ponto de partida para a numeração dos meridianos seria o meridiano que passa pelo observatório de Greenwich, na Inglaterra. Portanto, o meridiano de Greenwich é o meridiano principal (Figura 10). A leste de Greenwich os meridianos são medidos por valores crescentes até  $180^{\circ}$  e, a oeste, suas medidas são decrescentes até o limite de  $-180^{\circ}$ .



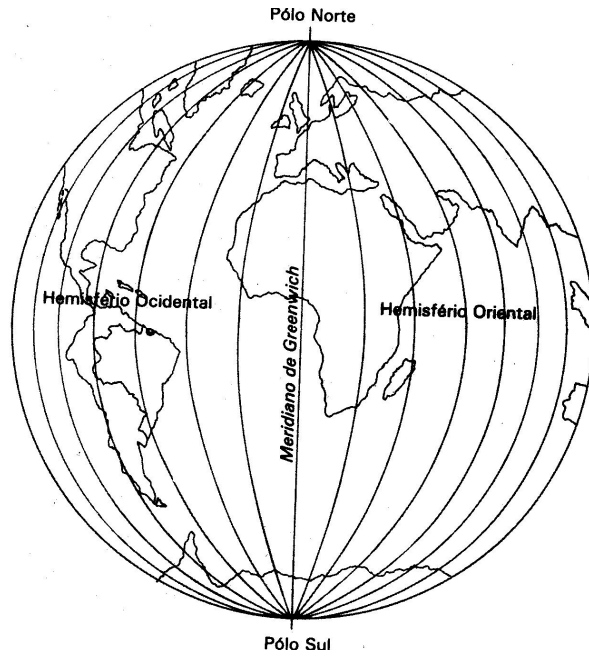


Fig. 10 - Meridianos

Os **paralelos** são círculos da esfera cujo plano é perpendicular ao eixo dos pólos. O equador é o paralelo que divide a Terra em dois hemisférios. O  $0^\circ$  corresponde ao equador, o  $90^\circ$  ao polo norte e o  $-90^\circ$  ao polo sul (Figura 11).

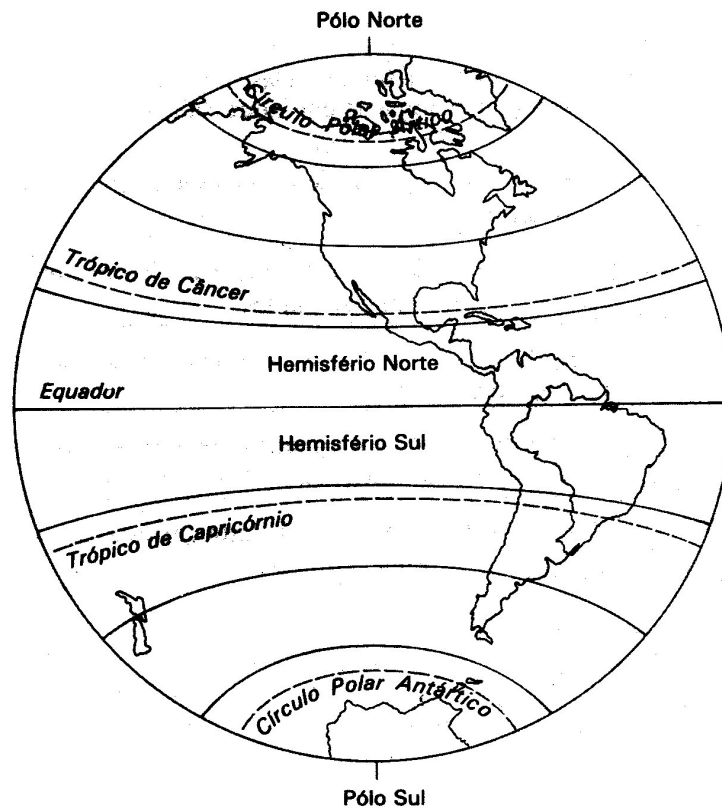


Fig. 11 - Paralelos

O valor da circunferência dos paralelos varia conforme a latitude geográfica. A mesma pode ser determinada por:  $C_P = C_E \text{ Cos } \phi$ , onde  $C_P$  é o valor da circunferência no paralelo desejado,  $C_E$  é o valor da circunferência no equador terrestre (40.000 km) e  $\phi$  é a latitude geográfica do lugar.

### 2.6.1 - Sistema de Coordenadas Geográficas

Trata-se do sistema mais antigo de coordenadas. Nele, cada ponto da superfície terrestre é localizado na interseção de um meridiano com um paralelo. Suas coordenadas são a latitude e a longitude (Figura 12 e 13).

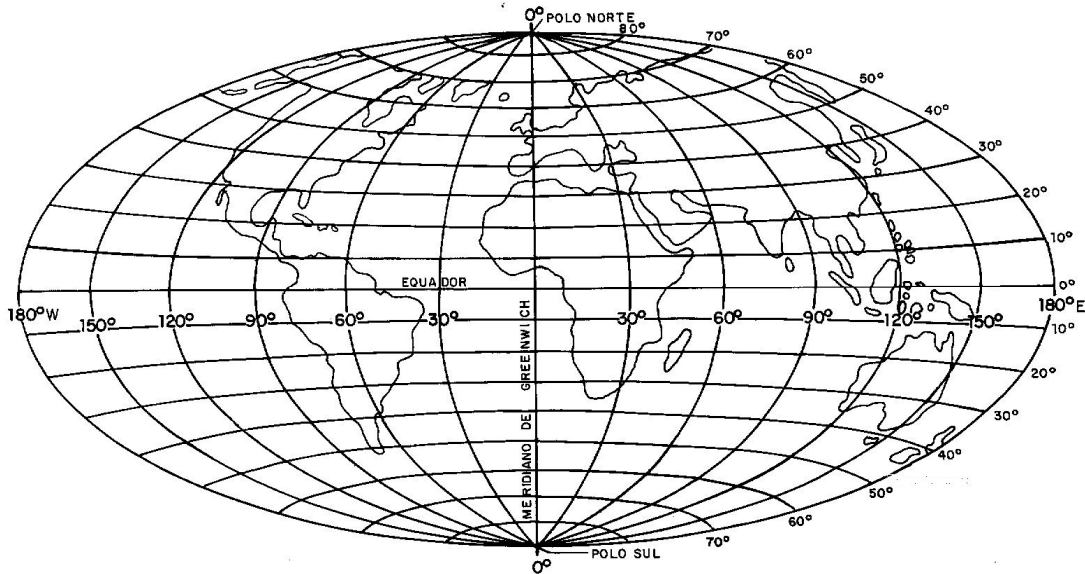


Fig. 12 - Sistema de coordenadas geográficas

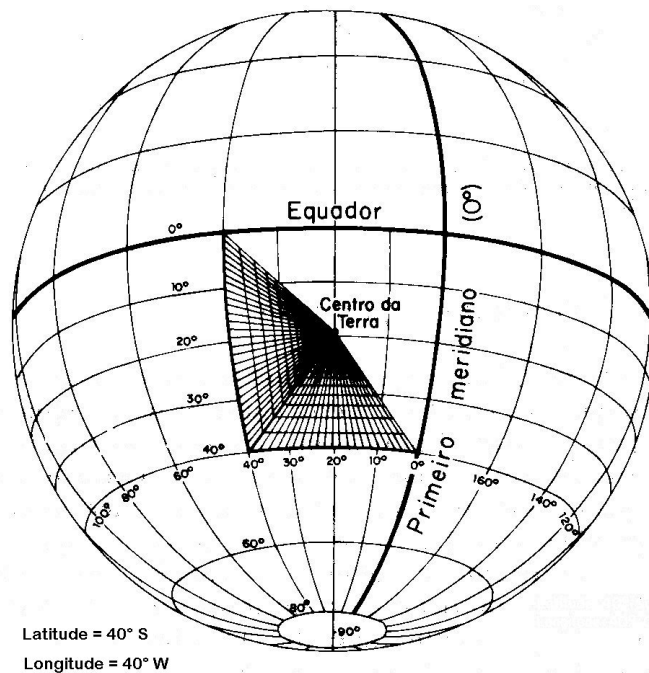


Fig. 13 - Determinação das coordenadas geográficas

*Latitude geográfica* é o ângulo (medido ao longo do meridiano que passa pelo lugar) formado entre o equador terrestre e o ponto considerado. Todos os pontos do equador terrestre têm latitude geográfica igual a  $0^\circ$ . Pontos situados ao norte do equador têm latitudes maiores que  $0^\circ$  variando até  $90^\circ$  que é a latitude do pólo geográfico norte. Da mesma forma variam as latitudes ao sul do equador terrestre, desde  $0^\circ$  a  $90^\circ$ , latitude do pólo geográfico sul. Para se diferenciar os valores, atribui-se sinal positivo para as latitudes norte e negativo para as latitudes sul. Simboliza-se a latitude pela letra grega  $\phi$ .

A latitude é um elemento importante para explicar as diferenças térmicas, isto é, as diferenças de temperatura na superfície terrestre. As temperatura diminuem do Equador para os pólos. Assim, quando menor a latitude, maior a temperatura

*Longitude geográfica* é o ângulo (medido ao longo do equador) formado entre o meridiano que passa pelo lugar e o meridiano que passa pela cidade de Greenwich, Inglaterra. A longitude é medida de  $0^\circ$  a  $180^\circ$ , para leste ou para oeste de Greenwich. Por convenção, atribui-se também sinais para as longitudes: negativo para oeste e positivo para leste. A longitude é simbolizada pela letra grega  $\lambda$ .

Tendo-se os valores da latitude e da longitude de um local desejado, estarão determinadas as coordenadas geográficas do mesmo.

### **2.6.2 - Sistema de Coordenadas UTM**

Além das coordenadas geográficas, a maioria das cartas de grande e média escalas, em nosso país, também são construídas com coordenadas plano-retangulares (a partir de 1955). Estas coordenadas formam um quadriculado relacionado à Projeção Universal Transversa de Mercator, daí serem chamadas de coordenadas UTM. O espaço entre as linhas do quadriculado UTM é conhecido como equidistância do quadriculado e será maior ou menor de acordo com a escala da carta. O sistema de medida usado é o linear em metros, cujos valores são sempre números inteiros, sendo registrados nas margens da carta.

Assim, o quadriculado UTM está estreitamente relacionado à projeção com o mesmo nome, a qual divide a Terra em 60 fusos de  $6^\circ$  de longitude cada um. O quadriculado, se considerado como parte integrante de cada fuso, tem sua linha vertical central coincidente com o meridiano central de cada fuso, o que faz com que a projeção se estenda em  $3^\circ$  para leste e  $3^\circ$  para oeste do meridiano central do fuso.

Os meridianos do fuso ou zona da projeção formam um ângulo com as linhas verticais da quadrícula. Esse ângulo é nulo para o meridiano central mas vai aumentando com a diferença de longitude e também com a latitude. Este ângulo foi chamado de **convergência meridiana**, a qual é variável em relação à situação a cada ponto dentro da zona e representa, para cada ponto, o ângulo formado entre as linhas que indicam o norte geográfico e o norte da quadrícula (Figuras 14 e 15).

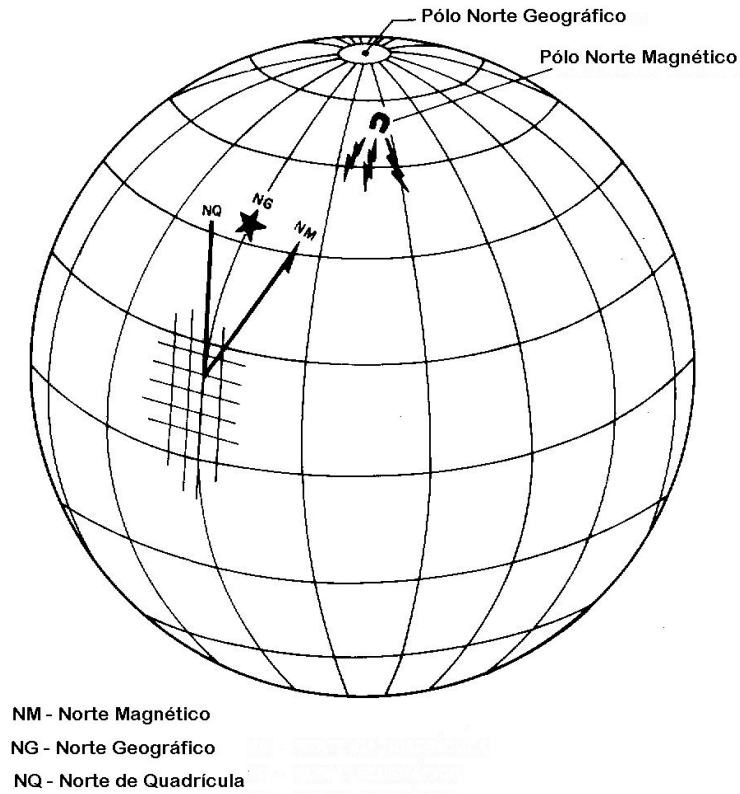
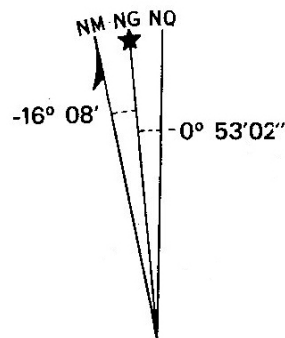


Fig. 14 - Diferença entre o norte de quadrícula, norte geográfico e norte magnético

DECLINAÇÃO MAGNÉTICA EM 1984  
E CONVERGÊNCIA MERIDIANA  
DO CENTRO DA FOLHA



A DECLINAÇÃO MAGNÉTICA  
CRESCE -7' ANUALMENTE

Fig. 15 - Declinação magnética e convergência meridiana para a folha de Uberlândia

- Norte Geográfico - é a direção determinada pelo meridiano do ponto considerado.
- Norte de Quadrícula - é a direção determinada por uma paralela ao meridiano central no ponto considerado.
- Norte Magnético - é a direção determinada pelo meridiano magnético no ponto considerado.

O ângulo formado entre o norte geográfico e o norte magnético é chamado de declinação magnética. O ângulo formado entre o norte geográfico e o norte de quadrícula é chamado de convergência meridiana.

Em latitude, os fusos são limitados ao paralelo de 84° N e 80° S, porque as deformações tornar-se-iam muito acentuadas para latitudes superiores. As regiões polares devem ser representadas pela projeção Universal Polar Estereográfica. Como a limitação em latitude do sistema é até 80° S ou 84° N, o sistema neste sentido é escalonado em 4° e designado pelas letras do nosso alfabeto, maiúsculas, em disposição crescente, no mesmo sentido dos módulos das latitudes, acrescidas do símbolo da latitude, ficando assim, primeira zona ao sul, designada por **SA**, segunda zona ao sul **SB**, e inversamente para o norte do equador **NA**, **NB**, etc (Figura 16). Os paralelos na projeção UTM apresentam-se como arcos de curvatura, voltando sua concavidade para os pólos.

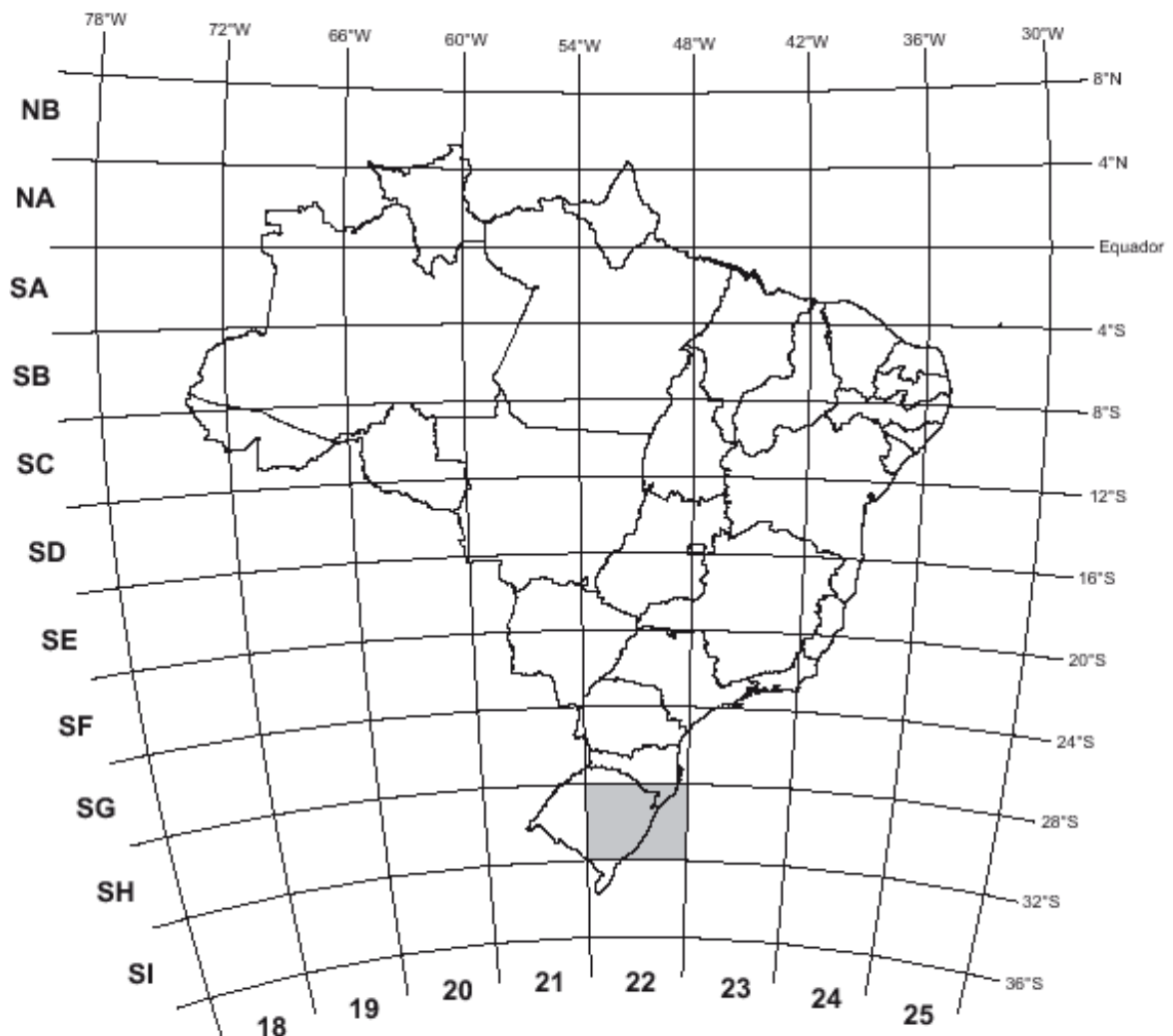


Fig. 16 - Folhas na escala 1:1.000.000 que abrangem o território brasileiro

Como são 60 fusos para toda a Terra, cada fuso é numerado a partir do antimeridiano de Greenwich para a direita. No Brasil estão os fusos de numeração de 18 a 25, com ordem crescente do Acre para o Oceano Atlântico.

A origem das medidas do quadriculado é o cruzamento do meridiano central com o equador, ao qual foram atribuídos arbitrariamente os seguintes valores: para o meridiano central, 500.000 m E, determinando as distâncias em sentido leste/oeste, e para o equador, 10.000.000 m para o hemisfério sul, e 0 m para o hemisfério norte (Figura 17).

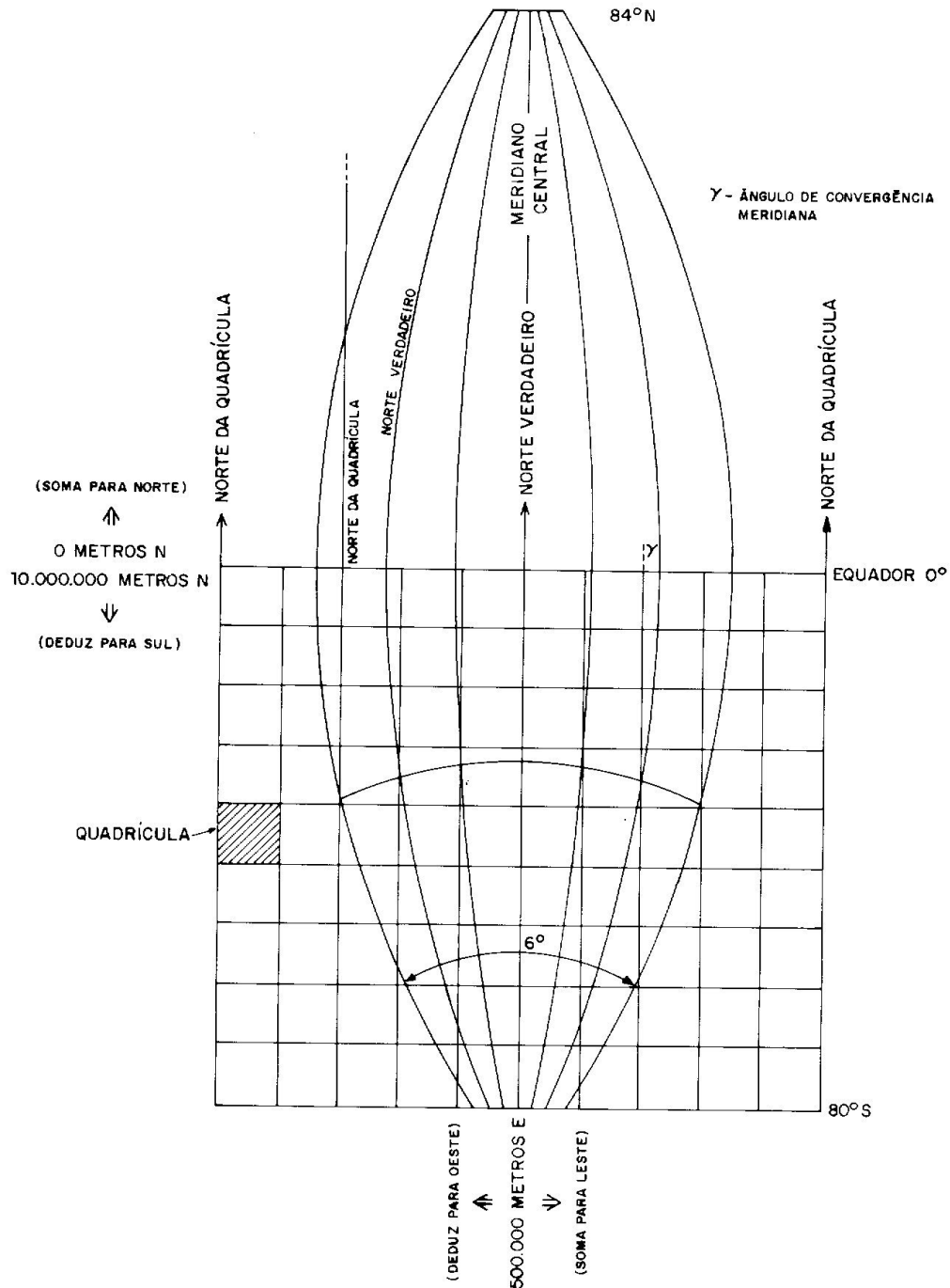


Fig. 17 - Origem das coordenadas UTM

Assim, localizam-se:

- longitude de um ponto à direita do meridiano central de uma zona ou fuso como sendo a distância, em metros, entre esse ponto e o meridiano central, somada aos 500.000 m para se obter o valor quadricular real do ponto;
- a longitude de um ponto à esquerda do meridiano central como sendo a distância, em metros, entre esse ponto e o meridiano central, deduzida de 500.000 m para obter-se o valor quadricular real do ponto;
- a latitude de um ponto a sul do equador como sendo a distância, em metros, entre esse ponto e o equador, deduzida de 10.000.000 m para obter-se o valor quadricular real do ponto - este valor refere-se como norte (N), porque aumenta do sul para o norte;
- a latitude de um ponto a norte do equador como sendo a distância, em metros, entre esse ponto e o equador, somada a 0 m para obter-se o valor quadricular real do ponto. Este valor também se refere como N quadricular, porque aumenta para o norte.

Para o Brasil, quase totalmente inserido no hemisfério sul, considera-se as coordenadas acima do equador, crescendo sequencialmente, a partir dos 10.000.000 m adotados para as áreas do hemisfério sul, ou seja, não se considera o equador como 0 m, para contagem das coordenadas da porção do Brasil situada no hemisfério norte.

A simbologia adotada para as coordenadas UTM é: N - para as coordenadas norte-sul; e E - para as coordenadas leste-oeste. Logo, uma localidade qualquer será definida no sistema UTM pelo par de coordenadas E e N.

Cada fuso UTM possui meridiano central com uma taxa de deformação em escala o fator  $K = 0,9996$  para pontos sobre o meridiano central o qual recebe a designação de  $K_0$ . Para qualquer outro ponto dentro do fuso o coeficiente de deformação linear é dado pela seguinte formulação:

$$B = \cos(\phi) \operatorname{sen}(\lambda - \lambda_0) \qquad K = K_0 / (1 - B^2)^{1/2}$$

Onde:  $\lambda_0$  é o meridiano central do fuso UTM,  $\lambda$  é o meridiano do lugar,  $\phi$  é a latitude do lugar,  $K_0$  é o coeficiente de deformação linear no meridiano central e  $K$  é o coeficiente de deformação linear do lugar.

Os sistemas de coordenadas comumente usados para representar os dados espaciais são: latitude/longitude e UTM (Universal Transversa de Mercator).

O conhecimento acerca do fuso é fundamental para o posicionamento correto das coordenadas do sistema UTM. O seu cálculo pode ser efetuado facilmente através da seguinte fórmula:

$$\text{Fuso} = \text{inteiro}((180 \pm \lambda)/6 + 1)$$

Usa-se o sinal (+) para longitudes leste de Greenwich e (-) para longitudes oeste de Greenwich.

O registro de dados da superfície a partir do sistema de coordenada UTM é um processo relativamente simples, sendo portanto o sistema mais utilizado. No entanto, todos os

dados tem que ser registrados no mesmo sistema de coordenadas, caso contrário não serão possíveis sobreposição e/ou cruzamento dos mesmos por meio de um SIG.

## 2.7 - Projeções Cartográficas

Para entender o que são projeções cartográficas, precisamos lembrar de que o nosso planeta tem a forma arredondada e que o mapa é desenhado sobre uma folha de papel, isto é, numa superfície plana. Por isso foram criadas as projeções cartográficas, que permitem representar uma realidade esférica numa superfície plana. A Terra é redonda, mas os papéis são planos. Representar em um desenho a superfície do planeta obriga, então, a prolongar aqui, apertar ali, cortar aquele lado. Resumindo: as deformações são inevitáveis.

As projeções cartográficas são, portanto, formas ou técnicas de representar a superfície terrestre em mapas. Essas técnicas ajudam os cartógrafos a amenizar o problema do arredondamento do planeta na elaboração de mapas. Quando representamos uma área pequena, por exemplo, uma cidade, um bairro, uma fazenda, a projeção cartográfica não é tão importante, no entanto, não podemos ignorá-las quando da representação de grandes áreas, como por exemplo, um estado um país.

Uma projeção cartográfica consiste num conjunto de linhas (paralelos e meridianos), que formam uma rede, sobre a qual são representados os elementos do mapa: terras, mares, rios, etc.

Todos o mapas e/ou cartas são representações aproximadas da superfície terrestre, uma vez, que a forma esférica da Terra é desenhada sobre uma superfície plana. A elaboração de um mapa/carta, consiste em um método pelo qual se faz corresponder a cada ponto da superfície terrestre, como sendo a um ponto no mapa. Para se obter esta correspondência utilizam-se os sistemas de projeções cartográficas. Os sistemas de projeções cartográficas são classificadas quanto ao tipo de superfície adotada e pelo grau de deformação da superfície.

### 2.7.1 - Tipo de Superfície Adotada

Quanto ao tipo de superfície adotada, são classificadas em: cilíndricas, planas ou azimutais e cônicas, segundo represente a superfície curva da Terra sobre um plano, um cilindro, um cone ou um poliedro tangente ou secante à esfera terrestre (Figura 18).

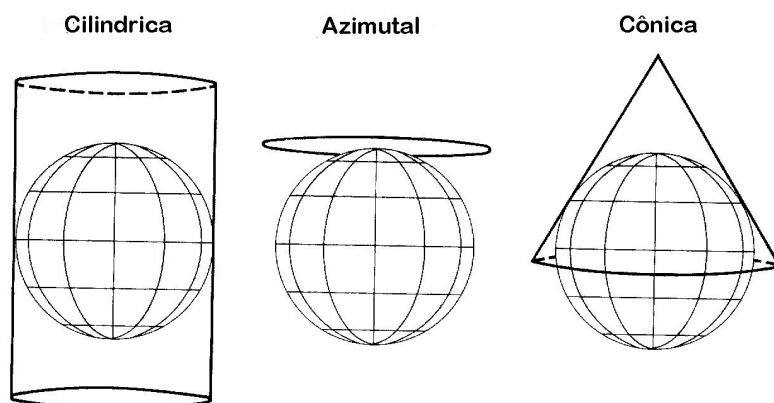


Fig. 18 - Classificação das projeções quanto ao tipo de superfície adotada



**Projeção Plana ou Azimutal** - o mapa é construído imaginando-o situado num plano tangente ou secante a um ponto na superfície da Terra. Ex. Projeção Esterográfica Polar.

**Projeção Cônica** - o mapa é construído imaginando-o desenhado num cone que envolve a esfera terrestre, que é em seguida desenrolado. As projeções cônicas podem ser também tangentes ou secantes. Nas projeções cônicas os meridianos são retas que convergem em um ponto e todos os paralelos, circunferências concêntricas a esse ponto. Ex. Projeção Cônica de Lambert.

**Projeção Cilíndrica** - o mapa é construído imaginando-o desenhado num cilindro tangente ou secante à superfície da Terra, que é depois desenrolado. Pode-se verificar que em todas as projeções cilíndricas, os meridianos bem como os paralelos são representados por retas perpendiculares. Ex. Projeção Mercator.

### 2.7.2 - Grau de Deformação da Superfície

Quanto ao grau de deformação das superfícies representadas, são classificadas em: conformes ou isogonais, equivalentes ou isométricas e eqüidistantes.

**Projeções Conformes ou Isogonais** - possuem a propriedade de não deformar os ângulos de pequenas áreas. Nestas projeções os paralelos e o meridianos se cruzam em ângulos retos, e a escala em torno de um ponto se mantém para qualquer direção. Porém, ao se manter a precisão dos ângulos, distorce-se a forma dos objetos no mapa. Ex. Mercator

**Projeções Equivalentes ou Isométricas** - não deformam áreas, conservando uma relação constante, em termos de área, com a superfície terrestre. Devido a suas deformações não são adequadas a cartografia de base, porém são muito utilizadas para a cartografia temática. Ex. Azimutal de Lambert

**Projeções Eqüidistantes** - são as projeções que não apresentam deformações lineares, ou seja, os comprimentos são representados em escala uniforme. Esta condição só é conseguida em determinada direção. Estas projeções são menos empregadas que as projeções conformes e equivalentes, porque raramente é desejável um mapa com distâncias corretas apenas em uma direção. Ex. Cilíndrica Eqüidistante.

**Projeções Afiláticas** - não possui nenhuma das propriedades dos outros tipos, isto é, equivalência, conformidade e equidistância, ou seja, as projeções em que as áreas, os ângulos e os comprimentos não são conservados.

Todos os sistemas de projeções apresentam deformações, já que não é possível "achatar" uma superfície esférica em uma superfície plana sem a deformar. Estas deformações podem ser lineares, angulares, superficiais ou, uma combinação destas três.

O importante é ter-se capacidade de decidir a melhor projeção para a aplicação que se deseja, analisando-se as propriedades geométricas oferecidas por cada projeção, de modo a preservar as características mais importantes para cada tipo de uso, pois, frequentemente,

precisamos conhecer a distância entre lugares, a área de cidades, estados, países, ou outras parcelas de terra.

Todo o mapa apresenta algum tipo de distorção, que depende da natureza do processo de projeção. Dependendo do objetivo do mapa, estas distorções podem ser minimizadas quanto à forma, área, distância ou direção. Portanto, quando utilizamos mapas, devemos procurar escolher as projeções que preservem as características mais importantes para o nosso estudo e que minimizem as outras distorções.

Normalmente em um país, é utilizado um conjunto padrão de projeções, previamente definido, para atender às demandas específicas de utilização e à representação em escala. No Brasil, para o mapeamento sistemático, utiliza-se o seguinte padrão para projeções:

- Escala 1:25.000 a 1:250.000 - Projeção UTM
- Escala 1:500.000 a 1:1.000.000 - Projeção Conforme de Lambert
- Escala 1:5.000.000 - Projeção Policônica.

A seguir apresentamos alguns tipos de projeções cartográficas mais usadas na elaboração de mapas:

***Projeção de Mercator*** (conforme) - Também conhecida como Projeção Cilíndrica de Mercator, procura traçar um mapa de toda a superfície terrestre. Ela reproduz bem o tamanho e o formato das áreas situadas na zona intertropical, mas exagera na representação das áreas temperadas e polares. Para se ter uma idéia desses exageros, basta observarmos um mapa muni, observe que a Groelândia, parece ter a mesma área que a do Brasil, quando na verdade é cerca de quatro vezes menor.

***Projeção de Peters*** - Essa projeção tem como objetivo fazer uma projeção oposta a de Mercator. Procura fazer um retrato mais ou menos fiel do tamanho das áreas, só que acaba muitas vezes distorcendo as formas. Na verdade, essa projeção não se preocupa com a forma, mas com a proporção, isto é, com o tamanho relativo de cada área, trata-se de uma projeção equivalente.

***Projeção Plana ou Polar*** - Segundo esta projeção, as diversas partes da superfície terrestre estariam supostamente dispostas num plano, que está centrado num ponto qualquer do globo. Esta projeção tem a vantagem das áreas próximas do centro ficam muito bem representadas, bem detalhadas, mas as áreas distantes vão ficando cada vez mais distorcidas.

***Projeção de Aitoff*** - Essa projeção é um meio termo entre as projeções de Mercator e Peters. Essa projeção é muito usada na representação dos mapas mundi.

***Projeção Policônica (afilática)*** - Apropriada para uso em países ou regiões de extensão predominantemente norte-sul e reduzida extensão este-oeste. É amplamente utilizada nos EUA. No Brasil é utilizada em mapas da série Brasil, regionais, estaduais e temáticos. Não é conforme nem equivalente, só tem essas características próxima ao Meridiano Central. Apresenta pequena deformação próxima ao centro do sistema, mas aumenta rapidamente para a periferia.

**Projeção Cônica Conforme de Lambert** (conforme)- A existência de duas linhas de contato com a superfície nos fornece uma área maior com baixo nível de deformação. Isto faz com que esta projeção seja bastante útil para regiões que se estendam na direção este-oeste, porém pode ser utilizada em quaisquer latitudes. A partir de 1962, foi adotada para a Carta Internacional do Mundo ao Milionésimo.

Existem ainda outros tipos de projeções, mas estas são as mais usadas atualmente, embora todas tenham aspectos positivos e negativos. Nenhuma projeção é melhor ou pior que as outras. A escolha de uma delas vai depender da finalidade do mapa: viajar, comparar áreas, navegar, etc.

## 2.8 - Nomeclatura e Articulação de Folhas Topográficas

O sistema de referência utilizado para as folhas topográficas e geográficas é baseado no sistema da Carta do Brasil ao Milionésimo. A Carta do Brasil ao Milionésimo faz parte da Carta Internacional do Mundo (CIM), na escala 1:1.000.000, para a qual foi adotada a Projeção Cônica Conforme de Lambert, até as latitudes de 84° N e 80° S. Para as regiões polares foi utilizada a Projeção Estereográfica Polar. Como sabemos, o sistema todo abrange um fuso de 6° de longitude por 4° de latitude. Sabemos também que os fusos são numerados em ordem crescente a partir do antimeridiano de Greenwich de 0 até 60 e são escalonados para o sul em **SA, SB, SC**, etc. e para o norte em **NA, NB, NC**, etc. Assim sendo, uma carta do mundo ao milionésimo será denominada, por exemplo, como SA-23, NB-22, etc.

Porém, a área abrangida por uma carta na escala de 1:1.000.000 oferece poucos detalhes da superfície. Como solução, para aumentar os detalhes, as escalas das cartas são ampliadas, para as escalas de: 1:500.000, 1:250.000, 1:100.000, 1:50.000, 1:25.000, etc. Ampliando-se a escala os graus de arco abrangidos pela carta/folha são diminuídos (conforme quadro a seguir).

### *Articulação Sistemática de Folhas de Cartas*

<b>Escala 1/</b>	<b>Área <math>\phi \times \lambda</math></b>	<b>Medidas da Folha no Terreno (Km)</b>	<b>Folhas contidas numa de 1:1.000.000</b>	<b>Nomenclatura</b>
1.000.000	4° x 6°	444,48 x 666,72	1	-
500.000	2° x 3°	222,24 x 333,36	4	V, X, Y ou Z
250.000	1° x 1,5°	111,12 x 166,68	16	A, B, C ou D
100.000	30' x 30'	55,56 x 55,56	96	I, II, III, IV, V ou VI
50.000	15' x 15'	27,78 x 27,78	384	1, 2, 3 ou 4
25.000	7,5' x 7,5'	13,89 x 13,89	1.536	NE, NO, SE ou SO

A Figura 19 seguir mostra a articulação das folhas UTM para a cidade de Uberlândia desde a escala de 1:1000.000 até a escala de 1:25.000.

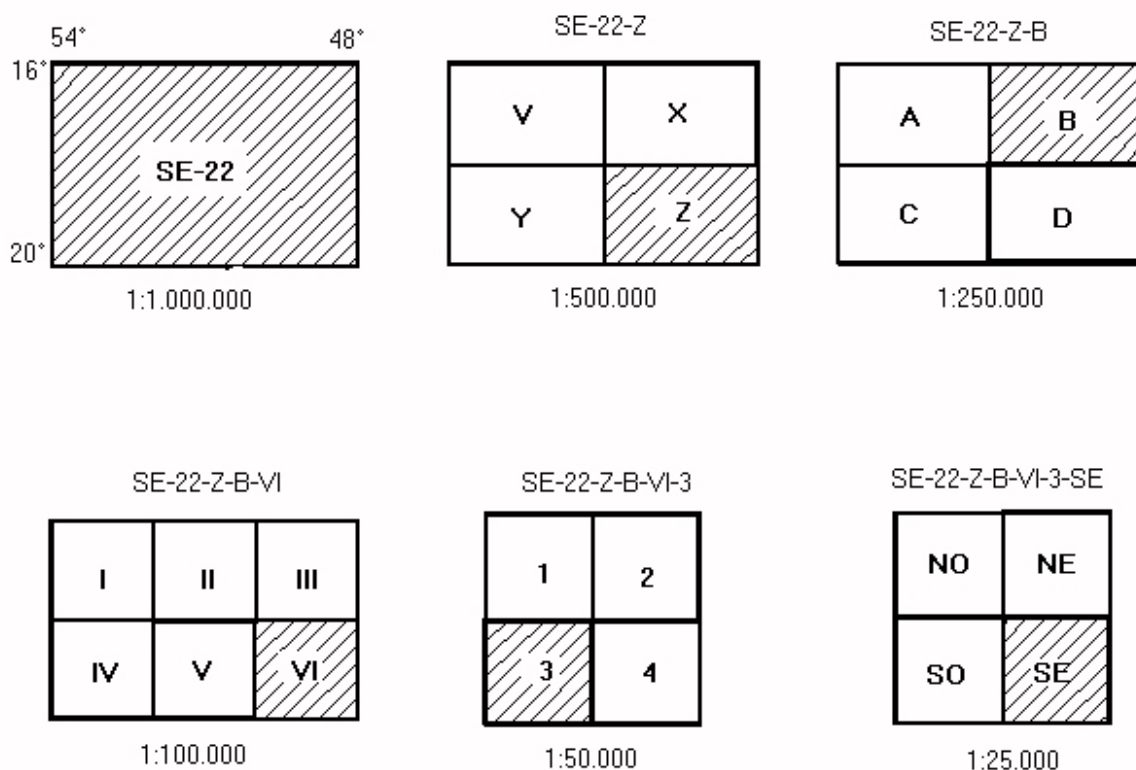


Fig. 19 - Sistema de articulação das folhas topográficas

## 2.9 - Formatos de Apresentação de Mapas

Para a apresentação de desenhos, a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, estabelece formatos de papel, os quais devem ser sempre utilizados em trabalhos oficiais. O formato básico é o A0, do qual derivam os demais formatos. Neste formato, considera-se a linha de corte, isto é, a linha da margem externa que é a indicação do corte do papel. Da linha de corte para a linha da margem interna, deve-se conservar 25 mm no lado vertical esquerdo e 10 mm nos demais lados. Muitas vezes o formato considerado ideal pode fugir aos padrões estabelecidos pela ABNT.

### *Formato de desenhos da ABNT*

Formato	Altura (mm)	Comprimento (mm)
A0	841	1189
A1	594	841
A2	420	594
A3	297	420
A4	297	210

## **2.10 - A Base Cartográfica**

Para se elaborar qualquer mapa temático, deve-se ter primeiramente um documento cartográfico que contenha informações concernentes à superfície do terreno que esta sendo estudado. É o que se chama de mapa-base ou base cartográfica.

Esta base não deve ser encarada como uma informação isolada do tema a ser representado, mas como parte dele, sendo o pano de fundo sobre o qual se passa o fenômeno ou fato analisado. Deve fornecer, assim, indicações precisas sobre os elementos do terreno, tanto geográficos como antrópicos, sendo que estes últimos devem ser os mais atualizados possíveis.

Normalmente o técnico não tem a possibilidade financeira de estabelecer para base uma carta executada especialmente para seu projeto. Deve então aproveitar cartas e/ou mapas já existentes, com a possibilidade de modificá-los de acordo com o tema que esteja sendo estudado.

A quantidade e os detalhes das indicações da base irão variar de acordo com a escala de trabalho, além do tema a ser representado. Deve haver um equilíbrio entre a representação das informações do terreno e a das informações temáticas, pois a base não deve diminuir a legibilidade do mapa e mascarar os dados temáticos, o que comprometeria o seu objetivo. De acordo com o tema e o objetivo do mapa, a base pode ser planimétrica, planialtimétrica, hidrográfica, administrativa, etc.

## **2.11 - Símbolos Convencionais e Legendas na Elaboração de Mapas**

Um mapa é um desenho que retrata um lugar ou uma determinada porção do espaço, em um certo momento. A finalidade dos mapas é facilitar a orientação no espaço e aumentar nosso conhecimento sobre ele. Ou seja, os mapas nos permitem conhecer melhor uma área, uma cidade, uma região, um país.

Os elementos ou fenômenos ou objetos, são representados em um mapa através de símbolos ou desenhos especiais chamados de convenções cartográficas. Precisamos criar as convenções cartográficas porque não podemos desenhar as coisas exatamente como elas são na realidade. Os objetos são representados de um único ângulo, ou seja, como se fossem vistos de cima. A explicação das convenções cartográficas utilizadas se encontra na legenda do mapa.

Um mapa é um meio de informação, é como se fosse um livro, feito de figuras e palavras, que podemos "ler", interpretando sua legenda. E, a partir das informações que ele nos fornece, conseguimos descobrir alguns fatos da área mapeada.

Os mapas fornecem uma visão gráfica da distribuição e das relações espaciais. Mais precisa do que um relato verbal, a linguagem dos mapas baseia-se no uso de símbolos. Cada símbolo precisa satisfazer quatro requisitos fundamentais:

- ser uniforme em um mapa ou em uma série de mapas;
- Ser compreensível, sem dar margens a suposições;
- Ser legível;
- Ser suficientemente preciso

Preenchendo tais requisitos, os símbolos possibilitam o estudo adequado da localização e da distribuição dos fenômenos representados nos mapas, permitindo sua identificação e classificação. Por exemplo, quanto aos aspectos hidrográficos, os símbolos devem permitir ao leitor distinguir os diferentes tamanhos dos rios, sua perenidade ou não, se existem cursos que sofreram canalização e distingui-los dos naturais, etc. Em relação aos transportes, deve-se observar os diferentes tipos de estradas, se existem obras arquitetônicas, o tipo de piso, etc.

É importante observar a maneira como estão escritas as palavras e os nomes das localidades nos mapas. O tamanho das letras empregadas (maiúsculas ou minúsculas) indica, muitas vezes, diferença em uma mesma categoria de fenômenos, como, por exemplo, entre vilas, cidades e capitais. A área representada no mapa deve ter localização em relação as coordenadas geográficas, escala, título e outros elementos.

## **2.12 - Diretrizes Gerais para a Elaboração de Documentos Cartográficos**

É relativamente fácil visualizar os mapas como modelos representativos do mundo real, mas é importante compreender que eles são também modelos conceituais que contêm a essência de generalizações da realidade. Nessa perspectiva, mapas são instrumentos analíticos úteis que ajudam os investigadores a verem o mundo real sob nova luz ou até a proporcionar-lhes uma visão inteiramente nova da realidade. Há duas fase principais no ciclo de construção de mapas. Primeiro, o mundo real é concentrado sob a forma de modelo; segundo, o modelo é testado em relação à realidade.

A elaboração de um documento cartográfico constitui um processo complexo. Nem sempre, quem pretende elaborar este documento percebe as várias etapas do caminho para chegar ao seu fim.

As informações com as quais trabalhamos podem provir de duas fontes principais: documentos cartográficos (fotografias aéreas, imagens de satélite, radar, etc.) e estatísticas - fontes secundárias, e levantamentos de campo - fontes primárias.

Frequentemente, o autor, após a escolha do tema, a seleção da fonte e dos dados, elabora um rascunho do mapa, desenhando diretamente o fundo do mapa e/ou simbologia sem fazer uma análise prévia do que se pretende mostrar e ainda muito menos uma análise da representação final. Estando o documento pronto, ele se lembra de desenhar legenda, escolher ou reconsiderar a escolha do título, por a escala, as coordenadas e eventualmente a fonte.

Desse procedimento decorre a maior parte dos problemas relativos a estes documentos: o título não introduz a informação de modo completo, ou é inadequado; os dados escolhidos não são os melhores ou os mais relevantes para o tema; o sistema de coordenadas usado não é o mais indicado; a simbologia escolhida não traduz o significado da informação, dificultando a análise do mapa

### ***2.12.1 - Etapas da Construção de um Documento Cartográfico***

***Escolha do Tema*** - É o ponto de partida, esta etapa depende do contexto no qual será inserido o documento que pode ser um artigo, uma aula, uma palestra, um capítulo de livro

didático, etc.. Portanto, a escolha depende da finalidade. Por exemplo, o tema "População de Minas Gerais" pode ser tratado de vários modos, a critério do autor, como também em função das fontes existentes, de suas pertinências e atualização. Os aspectos de quantidade absoluta, relativa, densidade, crescimento, migração, estrutura etária e outros, são os modos de tratar o tema "População". Porém, o pesquisador deve escolher o (s) aspecto (s) mais relevante (s) para ser (em) cartografado (s) a fim de completar o texto pretendido. A escolha do tema também é dependente das informações disponíveis, portanto, das fontes.

**Tratamento das Informações** - Antes de serem utilizadas ou cartografadas, as informações devem ser trabalhadas no espaço estatístico. Pode-se calcular percentagens, agrupamentos de classes, coeficientes, índices, etc. Neste caso os dados passam a serem derivados. Para que os dados sejam transcritos graficamente é feita uma classificação. É a generalização ou perda de detalhes, pois não é possível representar tudo. A idéia básica a ser transmitida deve ser de maneira prática e simples.

**Definição do Formato da Apresentação Definitiva** - Esta etapa deve ser pensada paralelamente à escolha da escala. Esse cuidado evita problemas inerentes a reduções que podem dificultar a leitura da nomenclatura e/ou simbologia. A falta de contraste entre as informações, ou ainda, a forte concentração ou dispersão, conforme o caso, também pode acarretar o mesmo problema. O formato definitivo deverá incluir a identificação completa do documento, a saber, o título (e sub-título, se necessário), local, a legenda, a escala, a orientação, as coordenadas, a data dos dados, a fonte, o autor, o órgão divulgador e data de publicação. Eventualmente um encarte.

**Escolha do Fundo do Mapa** - Esta etapa é sempre delicada. O fundo do mapa é o conjunto de traços, específicos ou não, que servem de suporte para as informações que compõem a legenda. Podem ser: limites (políticos, administrativos, naturais), rios, estradas, etc.

**Elaboração do Rascunho do Mapa** - É de grande utilidade para se testar a escolha da legenda. Os principais problemas que podem ser encontrados no momento da análise do rascunho são:

- Escolha inadequada do fundo do mapa. Este fundo por demais complexo, formando a chamada imagem parasita (ou imagem inútil), ou inadequada à informação;
- Desajuste entre o fundo do mapa e o tamanho dos símbolos utilizados. Os símbolos devem ser proporcionais às subdivisões do fundo do mapa. Sendo pequenos ou grandes demais, estes dificultam a leitura e por conseqüência a interpretação do documento;
- Superposição de símbolos, torna a leitura difícil ou mesmo impede-a de ser realizada. Neste caso deve ser feito um encarte ampliando a região crítica;

**Análise Crítica da Qualidade da Representação** - É a última etapa na elaboração de um documento cartográfico, onde é feita a avaliação do nível de leitura do documento em relação à informação a ser transmitida. A leitura da (s) informação (s) mais importante (s) deve ser imediata e global. As informações secundárias serão lidas no nível secundário, ou seja, na leitura detalhada do documento. Se o documento for acompanhado de um texto, uma análise do conteúdo de ambos poderá verificar eventuais desajustes. Se o documento foi

concebido apenas para ilustrar o texto, é o documento que deverá ser corrigido. Porém, se o texto for um comentário do documento cartográfico, é o texto que deverá ser modificado.

### **2.12.2 - A Representação Gráfica (Simiologia Gráfica)**

**Análise da Informação** - Cada parte de uma informação é chamada de componente, a qual apresenta as seguintes características:

- *Comprimento* - é o número de suas subdivisões (classes);
- *Extensão* - é a relação entre o número maior e o menor da série quantitativa considerada;
- *Nível de organização* - é a característica mais importante da componente, trata-se do significado, que pode ser: quantitativo (ex. no. de alunos, no. de dias de chuva, etc.), ordenado (ex. dias da semana, meses do ano, hierarquias militares, tonalidades, etc.), e qualitativo (ex. indústrias, culturas, etc.).

As informações transmitidas por uma componente pode se referir a uma localização precisa, a um limite ou percurso, a uma superfície, ou ainda a um volume. Essas quatro maneiras de colocar a informação no plano da folha de papel representam os quatro modos de implantação (ou elementos de representação do espaço), a saber: ponto, linha, área (zona) e volume.

**Elementos de Representação do Espaço** - São as maneiras de colocar a informação em um mapa.

- *Ponto* - não tem dimensão, representa apenas a posição (localidade ou localização). Ex. localização precisa de uma indústria, cidade, etc.;
- *Linha* - é unidimensional, representa apenas direção. Ex. o percurso de um rio, o limite administrativo (fronteira), uma estrada, etc.;
- *Área (zona)* - é bidimensional, representa a largura e comprimento. Ex. densidade de população, florestas, cultivos, áreas urbanas, lagos, etc.;
- *Volume* - é tridimensional, representa largura, altura e comprimento. Ex. quantidade de precipitação, produção, etc.

**As Variáveis da Retina** - A linguagem gráfica é formada por variáveis da retina. Por ser a retina o órgão sensível do olho, todas as variações percebidas por ela são chamadas variáveis da retina, a saber:

- *Tamanho* - é usado para representar dados quantitativos, traduzindo a proporção entre as classes dos diversos elementos cartográficos. Para a sua representação, usam-se as formas básicas (círculos, quadrados, retângulos, triângulos), conferindo-lhe tamanhos proporcionais ao valor dos dados. Varia do grande, médio, pequeno. Ex. total de população do Estado de Minas Gerais por município.
- *Valor* - é usado para representar dados ordenativos, através da variação de tonalidade do branco ao preto, passando pelos tons cinza ou vermelho, ou de verde, ou de azul. O branco representa ausência (0 %) e o preto a totalidade (100 %), e os outros níveis representam valores intermediários, indo do claro



(percentagens menores) ao escuro (percentagens maiores). Ex. profundidades do mar, altitudes, etc.

- *Granulação* - também usado para representar dados ordenativos, porém em substituição ao valor. Consiste na variação da repartição de preto no branco, onde a proporção de preto e branco permanece.
- *Cor* - é usada para representar dados qualitativos (seletivos). Consiste na variação das cores do arco-íris, sem variação de tonalidade, tendo as cores a mesma intensidade. Por exemplo: usar o azul, o vermelho e o verde é usar a variável da retina "*cor*". O uso do azul claro, do azul médio e do azul escuro, corresponde a variável da retina "*valor*".
- *Orientação* - também usada para representar dados qualitativos (seletivos) em substituição à cor. Orientação são as variações de posição entre o vertical, o oblíquo e o horizontal.
- *Forma* - usada para representar dados qualitativos (associativos). Agrupa todas as variações geométricas ou não. Elas são múltiplas e diversas, podem ser geométricas (círculo, quadrado, triângulo, etc.) ou pictóricas. As formas não devem ser muito variadas, se possível, devem ser limitadas a no máximo seis. Esses mapas são de fácil representação e leitura. A forma é um ponto, e portanto indica a localização.

A informação subdividida em componentes, é transcrita, e traduzida em linguagem visual por meio das variáveis da retina. Cada componente é traduzida por uma variável da retina. Nem todas as variáveis da retina admitem todos os níveis de organização (quantitativo, ordenativo, seletivo, associativo). Por exemplo, o tamanho indica proporção; o valor e a granulação mostram uma hierarquia, uma ordem entre as classes; a cor e a orientação diferenciam as classes, sem ordena-las. A forma é associativa e indica a localização. Eventualmente, pode-se usar a associação entre as variáveis da retina.

## 2.13 - Tipos de Mapas

Os mapas, de acordo com seus objetivos e finalidades, podem ser divididos em três tipos: mapas gerais, especiais e temáticos (quadro a seguir).

***Mapa Geral*** - objetiva alcançar um público bastante diversificado e grande. As informações contidas nesses mapas são muito genéricas, não permitindo aos especialistas, ao consultá-lo, obterem informações detalhadas. Normalmente são mapas que apresentam escalas reduzidas, menores do que 1:1.000.000. Os principais elementos representados nestes mapas são: divisão política, capitais e cidades de destaque, principais rodovias e ferrovias e algumas informações da parte física (rios, relevo, vegetação).

***Mapa Especial*** - atende a um reduzido número de pessoas, em geral técnicos, como geógrafos, meteorologistas, biólogos, geólogos e outros profissionais que se utilizam de mapas. As informações contidas nestes mapas estão relacionadas a estudos específicos e técnicos, sendo de pouca valia às pessoas fora da especialidade a que se destina. Normalmente, este tipo de mapa é construído em escala grande, maior do que 1:250.000.

**Mapa Temático** - é construído a partir de um mapa base, normalmente com informações políticas e hidrográficas, no qual são cartografados os demais fenômenos geográficos. Dependendo da área, pode ser aspectos geológicos, demográficos, cobertura vegetal, etc. Normalmente este tipo de mapas é construído em qualquer escala.

<b>Divisão</b>	<b>Subdivisão</b>	<b>Objetivo Básico</b>	<b>Exemplos</b>
Geral	Cadastral Topográfica Geográfica	Conhecimento da superfície topográfica, nos seus fatos concretos, os acidentes geográficos naturais e as obras do homem	Plantas de cidades, cartas de mapeamento sistemático, mapas de países, continentes, mapas mundi.
Especial	Aeronáutica Náutica Metereológica Turística Geotécnica Astronomia, etc	Servir exclusivamente a um determinado fim, a uma técnica ou ciência	Cartas aeronáuticas vôo, de aproximação de aeroportos, navegação marítima, mapas do tempo, previsão, mapa da qualidade do sub-solo para construção, proteção de encostas.
Temática	Estatística Síntese	Expressar determinados conhecimentos particulares para uso geral	Mapa geológico, pedológico, precipitação, população, econômicos.

## 2.14 - Exemplos de Mapas

**Mapas Geomorfológicos** - Em um mapa geomorfológico, a geomorfologia deve explicar as formas de relevo, apontar suas origens e determinar como essas formas evoluem sob a influência exercida pelos processos morfogenéticos. Este mapa não deve representar somente as formas de relevo, mas deve também, representar as formas como resultantes da interação entre as forças internas (tectonismo e vulcanismo) e externas (correntes marinhas, marés, ondas oceânicas, ventos, gravidade). A escolha da escala deve ser feita em função das informações que o mapa deverá conter, portanto, deve estar de acordo com os objetivos do mapa.

**Mapas Geológicos** - Os mapas geológicos devem representar, sobre uma base cartográfica apropriada, a distribuição geográfica das unidades litológicas, sua natureza, idade e estrutura das rochas, bem como as jazidas e recursos minerais, quando se fizer necessário. A base cartográfica ideal para o mapa geológico é a planialtimétrica. Entretanto, deve-se ter o cuidado de se encontrar o equilíbrio ideal entre a representação de informações geográficas e a representação de dados geológicos.

**Mapas Geotécnicos** - O mapa geotécnico é um documento complexo que integra um certo número de dados do solo e do subsolo de uma região, sintetizando-os e interpretando-os, prevendo possíveis respostas a intervenção humana, pois o meio físico além de suas potencialidades, também tem suas limitações. O objetivo pelo qual foi elaborado o mapa é que vai determinar que elementos devem compô-lo, os quais devem ser os suficientes e necessários, para que possa cumprir o papel de orientar o técnico em seu trabalho que pode

ser de: proteção ambiental, agricultura, urbanismo, industrialização, mineração, obras de engenharia, etc.

**Mapa dos Recursos Minerais** - Esse mapa pode ser construído com uma legenda que possibilite a rápida apreensão e fácil memorização da imagem que a localização de cada recurso mineral constrói, associa-se um símbolo a cada ocorrência. Este tipo de mapa além de mostrar o lugar onde se encontram os minerais, pode revelar o padrão de sua distribuição.

**Mapa de Vegetação** - O mapa de vegetação pode ser feito com uma legenda que possibilita a rápida apreensão da localização de cada ocorrência. A leitura e a interpretação do mapa de vegetação podem nos encaminhar a vários tipos de níveis de questões. Num primeiro momento podemos nos interessar em averiguar se há grande homogeneidade ou, ao contrário, se persiste muita diversidade. Em seguida podemos verificar qual o tipo de vegetação predominante e qual o de menor expressão. Por fim, em nível analítico, podemos observar quais são os tipos de vegetação. Interpretativamente podemos levantar questões como "Quais são os fatores naturais e sociais que interferiram na distribuição espacial da vegetação?" ou, ainda, "O que explicaria a homogeneidade em certas regiões, contrastando com a heterogeneidade em outras?".

**Mapas Urbanos** - Os mapas urbanos normalmente são apresentados na projeção retangular, mas os meridianos e paralelos raramente são representados. É comum, entretanto, haver um sistema de quadriculas numeradas e letradas nos lados, de tal forma que cada rua ou construção possa ser determinada por suas coordenadas. Normalmente estes mapas apresentam escalas que variam entre 1:1.000 e 1:20.000. Os mapas mais precisos em escalas grandes mostram com exatidão a largura das ruas e a localização dos equipamentos urbanos.

**Mapas Cadastrais** - Os mapas cadastrais distinguem-se dos mapas temáticos no sentido de que cada elemento é considerado como um objeto geográfico, possuindo atributos e podendo estar associado a várias representações gráficas. Por exemplo, os lotes de uma cidade são elementos do espaço geográfico que possuem atributos, tais como o nome do dono, a localização, o valor venal, o valor do IPTU devido, etc. e que podem ter representações gráficas diferentes em mapas de escalas distintas.

**Mapas Econômicos** - Os mapas econômicos dizem respeito à produção, aos transportes e à distribuição dos bens de consumo. A vida econômica é extremamente complexa e sua representação em mapas apresenta muitos problemas. Os campos, as fábricas e as minas são perfeitamente visíveis, mas sua produção não o é. É preciso mostrar não somente os tipos, mas também os valores.

A agricultura é a atividade econômica mais amplamente e melhor representada em mapas; apresenta-se espalhada pelo terreno e possui nítidas relações geográficas. Normalmente estes mapas atualmente são elaborados a partir de imagens de satélite ou a partir de estatísticas municipais.

A atividade industrial é outra atividade econômica que pode ser representada em mapas. O importante não é representar apenas a localização das fábricas, mas também o tipo de produto, custo de produção, número de trabalhadores, número de estabelecimentos e receita.

A atividade mineradora também pode ser representada em mapas. Normalmente se representa a localização da jazida, o tipo de mineral explorado, custo de produção, capacidade de exploração, etc.

Os mapas de transporte, geralmente são mostrados por linhas de fluxo do tráfego. Estes mapas são muito importantes na análise de fluxos de passageiros, mercadorias, veículos, etc. No entanto, raramente dispomos deste tipo de dados para elaboração dos mapas.

**Mapas Climáticos** - Os mapas climáticos apresentam a média pluviométrica, temperatura, pressão, vento, nebulosidade, evaporação. São importantes, especialmente quando associados a produção e áreas de risco.

**Mapas Zoogeográficos** - São mapas que procuram representar a distribuição dos animais. No entanto, a distribuição regional da fauna é muito difícil. Normalmente procura-se representar os diversos tipos de animais presentes na região, insetos, migrações de pássaros, etc.

**Mapa de Localidade** - Um mapa de localidade mostra não só os contornos da área em questão com relação a regiões maiores, geralmente conhecidas, mas também como a área se ajusta dentro das principais rodovias, e como é relacionada às bacias fluviais e divisões fisiográficas de uma área maior. Um detalhado mapa de localidade é uma introdução apropriada a um estudo geográfico.

**Mapa Político ou Geral** - Em um estudo de grandes áreas necessitamos de um mapa que mostre as fronteiras políticas, distritos, cidades, municípios, estados, parques estaduais e federais, etc. O principal propósito deste tipo de mapa é mostrar os nomes geográficos que são comentados no texto anexo. Este mapa alivia todos os demais mapas da carga demasiada de títulos e é provável que seja o único que indica paralelos e meridianos. Se forem acrescentadas estradas, vias férreas, rios, etc. ele se torna um mapa geral ou mapa chave da região. Em um mapa político do Triângulo Mineiro, por exemplo, podemos verificar os limites dos diferentes municípios, saber qual ou quais são os municípios que possuem a maior superfície (área), qual a distância entre as diferentes cidades da região.

**Mapa de Erosão e Solo** - Poucos estudos geográficos são completos sem um mapa do solo e desenhos de seus vários perfis. Em regiões pequenas, onde não há muita variação no solo, este mapa pode ser combinado com um mapa de erosão ou potencialidade erosiva.

**Mapas de Recreação** - Atualmente a recreação é uma das maiores indústrias do mundo e, os mapas de localização de parques, lugares públicos, refúgios, praias, pistas de corridas e lugares de encenação e interesses históricos são muito úteis.

**Mapas de Condições Sociais** - Mapas com a distribuição de renda, condições de saúde, mortalidade, raças, religiões, educação, recreação e divertimento são importantes em estudos regionais.

**Mapas de uso da terra** - Com algum conhecimento de geografia pode-se aprender muito sobre a vida dos povos, pelos mapas. A utilização da terra depende do relevo, clima, solo, recursos, fatores políticos, sociais e econômicos. Em um mapa de uso da terra pode-se identificar se a terra esta sendo usada e, se o é, para que. Nas áreas ocupadas pelas pastagens, em geral, as estradas estão distanciadas, enquanto que nas áreas agrícolas, especialmente as

mecanizadas, as estradas estão mais agrupadas. Um elevada densidade de estradas indica uma intensa exploração agrícola. A densidade de população pode ser representada pelo número de casas de fazenda.

**Mapas Topográficos** - Uma representação topográfica ou do relevo pode ser expressa principalmente por três diferentes processos: o hipsométrico, o das hachuras e o das curvas de nível.

No processo hipsométrico, cada zona de altitude do relevo pode ser representada por cores diferenciadas, geralmente matizes de uma mesma cor, ou através de linhas. Os mapas apresentam uma legenda indicando a correspondência entre as cores ou linhas e as zonas de altitude do relevo. Em um mapa hipsométrico, podemos extrair informações referentes a altitudes. Por exemplo, qual que é a altitude média da área urbana de Uberlândia? Qual é a menor e a maior altitude do município de Uberlândia? Qual é o municípios do Triângulo Mineiro que tem a menor altitude média?

As curvas de nível, também denominadas isoípsas, são linhas que unem pontos de mesma altitude do relevo. Este processo é baseado em levantamento geodésicos, onde o marco de 0 metros é o mar. O relevo submarino também é representado de forma análoga, porém o processo de levantamento é outro, baseado no sonar e as curvas são denominadas batimétricas.

A distância entre duas curvas de nível é denominada equidistância. Em um mapa existem linhas mais grossas, conhecidas como curvas mestras, e outras linhas chamadas auxiliares ou intermediárias. A escolha das linhas de equidistância em um mapa depende, fundamentalmente, da escala, das formas de relevo e da precisão do levantamento topográfico.

O método, por excelência, para representar o relevo terrestre, é o das curvas de nível, permitindo ao usuário, ter um valor aproximado da altitude em qualquer parte da carta. A curva de nível constitui uma linha imaginária do terreno, em que todos os pontos de referida linha têm a mesma altitude, acima ou abaixo de uma determinada superfície da referência, geralmente o nível médio do mar.

Com a finalidade de ter a leitura facilitada, adota-se o sistema de apresentar dentro de um mesmo intervalo altimétrico, determinadas curvas, mediante um traço mais grosso. Tais curvas são chamadas "mestras", assim como as outras, denominam-se "intermediárias". Existem ainda as curvas "auxiliares".

#### *Principais características*

- As curvas de nível tendem a ser paralelas entre si.
- Todos os pontos de uma curva de nível se encontram na mesma elevação.
- Cada curva de nível fecha-se sempre sobre si mesma.
- As curvas de níveis nunca se cruzam, podendo se tocar em saltos d'água ou despenhadeiros.

- Em regra geral, as curvas de nível cruzam os cursos d'água em forma de "V", como vértice apontando para a nascente. Formam um "M" acima das confluências fluviais.

Na representação cartográfica, sistematicamente, a equidistância entre uma determinada curva e outra tem que ser constante. Equidistância é o espaçamento, ou seja, a distância vertical entre as curvas de nível. Essa equidistância varia de acordo com a escala da carta com o relevo e com a precisão do levantamento.

Só deve haver numa mesma escala, duas alterações quanto à equidistância. A primeira é quando, numa área predominantemente plana, por exemplo a Amazônia, precisa-se ressaltar pequenas altitudes, que ali são de grande importância. Estas são as curvas auxiliares. No segundo caso, quando o detalhe é muito escarpado, deixa-se de representar uma curva ou outra porque além de sobrecarregar a área dificulta a leitura.

Imprescindível na representação altimétrica em curvas de nível é a colocação dos valores quantitativos das curvas mestras.

<b>Escala</b>	<b>Equidistância (m)</b>	<b>Curvas Mestras (m)</b>
1: 25.000	10	50
1 : 50.000	20	100
1: 100.000	50	250
1 : 250.000	100	500
1 : 1.000.000	100	500

Em um dado mapa, quando as curvas de nível estiverem muito próximas entre si, indicam uma forte inclinação do relevo; portanto, são áreas montanhosas; quando distanciadas, indicam áreas planas. A partir das curvas de nível, podemos construir um perfil topográfico, de maneira a visualizar o relevo que se estivéssemos andando sobre ele.

A leitura de mapas de curvas de nível não é fácil para pessoas sem formação específica. A natureza não possui linhas que lembrem curvas de nível e a visualização de um mapa de curvas de nível requer estudo apurado e poder imaginativo. Depois de alguma prática, uma curva de nível dará uma concepção mais clara e uma informação mais segura sobre as formações do terreno, do que qualquer outro método. Um pesquisador com senso analítico perspicaz e algum conhecimento de geomorfologia e geografia, pode ler um número assombroso de fatos, num mapa de curvas de nível. Ele pode tanto reconhecer as estruturas geológicas como fazer uma suposição da possível utilização do terreno, e das condições sociais dentro dele.

A interpretação de mapas de curvas de nível é útil em muitos casos. As organizações governamentais podem reconhecer os tipos de terreno, e então formular planos para a sua utilização. No campo da educação, a análise desses mapas é um dos mais eficientes métodos de instrução em geografia e geomorfologia. O primeiro passo na análise dos mapas de curvas de nível é a visualização do terreno. É conveniente dividir o mapa em regiões análogas, e analisar cada região separadamente. Devem ser encontradas a escala e a distância entre as curvas de nível. Os declives podem ser deduzidos da densidade de curvas de nível.

Os dados geográficos tornam-se mais significativos quando observados num contexto espacial, por isso, recorre-se a cartografia para visualizar a distribuição espacial dos fenômenos. O tema ou a informação pode ser qualitativa que representam distribuições numéricas que podem ser contínuas no espaço (mapas de solos) ou descontínuas (mapas de rodovias), ou quantitativos, que mostram a variação espacial do valor numérico (quantidade de um fenômeno). O tema ou a informação normalmente é a síntese de uma pesquisa que envolva fatos e/ou fenômenos geográficos como por exemplo: agricultura, climatologia, uso da terra, vegetação, economia, educação, geomorfologia, litologia, pedologia, política, etc.

## **CAPÍTULO 3 - GPS (Global Positioning System)**

### **3.1 - O que é o GPS ?**

GPS é a abreviatura de NAVSTAR GPS (NAVSTAR GPS - NAVigation System with Time And Ranging Global Positioning System). É um sistema de radio-navegação baseado em satélites desenvolvido e controlado pelo departamento de defesa dos Estados Unidos da América (U.S. DoD) que permite a qualquer usuário saber a sua localização, velocidade e tempo, 24 horas por dia, sob quaisquer condições atmosféricas e em qualquer ponto do globo terrestre.

Depois da segunda guerra mundial, o Departamento de Defesa dos EUA empenhou-se em encontrar uma solução para o problema do posicionamento preciso e absoluto. Decorreram vários projetos e experiências incluindo Loran, Transit, etc. Todos permitiam determinar a posição mas eram limitados em precisão ou funcionalidade. No começo da década de 70, um novo projeto foi proposto, o GPS.

### **3.2 - Componentes do Sistema**

O sistema GPS pode ser dividido em três segmentos: espacial, de controle e do usuário.

**Segmento Espacial** - O segmento espacial do GPS prevê cobertura mundial de tal forma que em qualquer parte do globo, incluindo os pólos, existam pelo menos 4 satélites visíveis em relação ao horizonte, 24 horas por dia. Em algumas regiões da Terra é possível a obtenção de 8 ou mais satélites visíveis ao mesmo tempo.

Os sinais emitidos por estes satélites, tem por finalidade fornecer, de maneira precisa e constante, as efemérides para todos os pontos próximos da superfície terrestre, de modo que o usuário possa utilizá-los para calcular posições, velocidade e tempo. As efemérides são compostas por 16 constantes físicas, 4 coeficientes polinomiais que são captados pelos receptores.

Este segmento é composto por uma constelação de 21 satélites (mais 3 de reserva) alocados em órbitas elípticas (semi-eixo maior igual a 26.600 Km) com período de 11 h 57'58,3" (tempo sideral), a uma altitude média de 20.200, com órbita de inclinação de 55° em relação ao Equador.

A vida útil esperada de cada satélite é de cerca de 6 anos, mas existem satélites em órbita com mais de 10 anos e ainda em perfeito funcionamento.

A chave da precisão do sistema GPS é o fato dos componentes dos sinais serem controlados pelos relógios atômicos. A frequência fundamental (Banda L) de 10,23 MHz é produzida por um sistema de alta precisão.

**Segmento de Controle Terrestre**- O segmento de controle terrestre compreende o sistema de controle operacional, o qual consiste de uma estação de controle mestra, estações de monitoramento mundial e estações de controle de campo.



- *Estação mestra* - localizada na base FALCON da USAF em Colorado Springs - Colorado. Esta estação, além de monitorar os satélites que passam pelos EUA, reúne os dados das estações de monitoramento e de campo, processando-os e gerando os dados que efetivamente serão transmitidos aos satélites.
- *Estação de monitoramento* - rastreiam continuamente todos os satélites da constelação NAVSTAR, calculando suas posições a cada 1,5 segundos. Através de dados meteorológicos, modelam os erros de refração e calculam suas correções, transmitidas aos satélites e através destes, para os receptores de todo o mundo.
- Existem quatro estações, além da mestra: Hawaii, Ilha de Assención (Atlântico Sul), Diego Garcia (Oceano Índico) e Kwajalein (no Pacífico).
- *Estações de Campo* - estas estações são formadas por uma rede de antenas de rastreamento dos satélites NAVSTAR. Tem por finalidade ajustar os tempos de passagem dos satélites, sincronizando-os com o tempo da estação mestra.

**Segmento dos Usuários** - O segmento dos usuários está associado às aplicações do sistema. Refere-se a tudo que se relaciona com a comunidade usuária, os diversos tipos de receptores e os métodos de posicionamento por eles utilizado.

Este segmento é composto pelos receptores localizados na superfície terrestre, no ar, a bordo de navios e de alguns satélites, etc. As antenas captam sinais de quatro ou mais satélites simultaneamente, processam os dados determinando a posição, velocidade e medida do tempo dos pontos observados.

### 3.3 - Características do Sinal

Os satélites transmitem constantemente duas ondas portadoras, estas ondas estão na banda L (usada para rádio):

- A onda portadora L1 (Link one) é transmitida a 1575.42 MHz e contém dois códigos modulados. O código de aquisição livre (C/A) – Coarse/Acquisition, modulado a 1.023MHz e o código (P) – Precise/Protected, modulado a 10.23 MHz.
- A onda portadora L2 (Link two) é transmitida a 1227.60 MHz e contém apenas o código P.

As portadoras são moduladas com uma mensagem de navegação contendo informação necessária à determinação da posição do satélite.

O Departamento de Defesa dos E.U.A. disponibiliza dois tipos de serviços de posicionamento:

- O Serviço de posicionamento padrão (SPS-Standard Positioning Service) está disponível para todos os usuários. Este serviço opera apenas em L1 e é usado na aquisição inicial dos sinais do satélite, através da sintonia do código C/A.
- O Serviço de posicionamento preciso (PPS-Precise Positioning Service) está disponível apenas para usuários autorizados pelo governo dos E.U.A. Opera em L1 e

L2 através do código P(Y), permite obter precisões de 22m e 27.7m para o posicionamento horizontal e vertical respectivamente (95%) e 100 ns na transferência de tempo para UTC (95%).

O objetivo inicial do Departamento de Defesa dos EUA era disponibilizar dois serviços com precisões diferenciadas. O SPS foi idealizado para proporcionar navegação em tempo real com uma exatidão muito inferior ao proporcionado pelo PPS, mas verificou-se que os receptores usando apenas o código C/A proporcionavam uma exatidão muito próxima dos que usavam o código P. Como resultado o Departamento de Defesa implementou duas técnicas para limitar a precisão do sistema aos usuários autorizados:

- Acesso Selectivo (SA - Selective Availability) - Consiste na manipulação da mensagem de navegação de modo a degradar a informação inerente ao relógio do satélite e às efemérides radio-difundidas. O SA foi, entretanto, removido em 1 de Maio de 2000.
- Anti-Sabotagem (AS - Anti-spoofing) - é semelhante ao SA, no propósito de negar, aos civis e potências hostis, o acesso ao código P. Apenas os receptores militares conseguem decodificar esse código.

### **3.4 - Como Funciona?**

Os fundamentos básicos do GPS baseiam-se na determinação da distância entre um ponto, o receptor, a outros de referência, os satélites. Sabendo a distância que nos separa de 3 pontos podemos determinar a nossa posição relativa a esses mesmos 3 pontos através da intersecção de 3 circunferências cujos raios são as distancias medidas entre o receptor e os satélites. Na realidade são necessários no mínimo 4 satélites para determinar a nossa posição corretamente.

Cada satélite transmite um sinal que é recebido pelo receptor, este por sua vez mede o tempo que os sinais demoram a chegar até ele. Multiplicando o tempo medido pela velocidade do sinal (a velocidade da luz), obtemos a distância receptor-satélite, ( $\text{Distancia} = \text{Velocidade} \times \text{Tempo}$ ).

No entanto o posicionamento com auxilio de satélites não é assim tão simples. Obter a medição precisa da distância não é tarefa fácil. A distância pode ser determinada através dos códigos modulados na onda enviada pelo satélite (códigos C/A e P), ou pela integração da fase de batimento da onda portadora.

Esses códigos são tão complicados que mais parecem ser um ruído pseudo-aleatório (PRN-Pseudo-Random Noise), mas de fato eles tem uma sequência lógica. O receptor foi preparado de modo a que somente decifre esses códigos e mais nenhum, deste modo ele está imune a interferências geradas quer por fontes radio naturais quer por fontes radio intencionais, será esta uma das razões para a complexidade dos códigos.

Como o código P está intencionalmente reservado para os usuários autorizados pelo governo norte americano, (forças militares norte americanas e aliados) os usuários “civis” só podem determinar a distancia através da sintonia do código C/A.

A distancia é determinada da seguinte forma:

O código C/A é gerado por um algoritmo pseudo-aleatório com um período de 0,001 segundos e usa o tempo dado pelos relógios atômicos de alta precisão que estão no satélite, o receptor que também contém um relógio, é usado para gerar uma réplica do código C/A. O código recebido é depois correlacionado com versões ligeiramente adiantadas ou atrasadas da réplica local e deste modo consegue medir o tempo que o sinal levou a chegar ao receptor.

Numa situação ideal com os relógios do satélite e do receptor perfeitamente sincronizados e a propagação do sinal a ser feita no vácuo, o tempo de vôo estaria perfeitamente determinado e por conseguinte a distância medida corretamente. Geralmente esta distância denomina-se por Pseudo-distância por diferir da distância verdadeira por influência dos erros de sincronização entre os relógios do satélite e do receptor.

O outro método de determinar a distância é medindo o número de ciclos decorridos desde o instante em que a portadora foi emitida e o instante em que foi recebida e se medir a diferença de fase.

O comprimento de onda da portadora é muito mais curto que o comprimento do código C/A daí que a medição da fase de batimento da onda portadora permita atingir um nível de precisão muito superior à precisão obtida para a distância através da pseudo-distância. No entanto põe-se um problema: o desconhecimento da ambiguidade de ciclo, ou seja, o número total de ciclos completos decorridos desde que o sinal deixou o satélite até ao instante da sintonia.

As ambiguidades de ciclo podem ser determinadas. Existe uma ambiguidade de ciclo por cada par receptor-satélite desde que não hajam saltos de ciclo (cycle slips), isto é., perda momentânea de sinal, neste caso uma nova ambiguidade é adicionada.

Depois deste pequeno estudo podemos concluir que o problema da dessincronização dos relógios dos satélites e dos receptores é pertinente, no entanto os idealizadores do GPS arranjam uma forma de contornar esse problema: fazer uma medição extra para outro satélite. Para determinarmos a nossa posição tridimensional corretamente temos que resolver um sistema de 3 equações a 4 incógnitas ( X,Y,Z e o tempo) então o truque é adicionar uma nova medição, ou seja, uma nova equação e temos o sistema resolvido.

### **3.5 - Fontes de Erro: Causas**

Na nossa discussão sobre a medição de distâncias com certeza que ficou alertado para alguns dos possíveis problemas. Os erros que afetam as observações GPS podem ter várias origens:

#### ***3.5.1 - Erros dependentes dos satélites***

***Erros nos relógios dos satélites*** - Embora os relógios dos satélites sejam muito precisos (cada satélite contém quatro relógios atômicos, dois de rubídio e dois de césio), não são perfeitos. Apenas um nano-segundo de erro, ou seja 0,000 000 001 s, resulta num erro de cerca de 30 cm na medição da distância para um satélite. Para que os relógios se mantenham o mais precisos possível e para que a distância seja medida mais corretamente, a sua marcha necessita de ser continuamente determinada pelas estações de controle.

**Erros nas efemérides** - Já sabemos que a precisão da nossa posição depende da precisão com que sabemos a localização dos satélites (os nossos pontos de referência). O departamento de defesa dos estados unidos (US DoD), coloca cada satélite numa órbita muito precisa, sendo a sua órbita muito previsível por um modelo matemático bastante rigoroso. No entanto o insuficiente conhecimento do campo gravimétrico terrestre, as forças gravitacionais da Lua e do Sol e o atrito remanescente da atmosfera terrestre bem como a pressão das radiações solares nos satélites provoca variações nas suas órbitas, daí que elas sejam constantemente monitoradas pelas estações de rastreio na Terra.

**Acesso selectivo (SA)** - O SA antes de ser desativado em Maio de 2000, também limitava a precisão do sistema para os usuários do SPS. O código C/A idealizado para dar uma precisão de 30 metros via a sua precisão original reduzida para 100 metros. O US DoD prometeu manter o SA desativado pelo menos até 2006.

### **3.5.2 - Erros dependentes da antena-receptor**

**Erros nos relógios dos receptores** - Este erro é semelhante ao erro provocado pelos relógios dos satélites.

**Erros devido ao multi-caminhamento** - Na medição da distância para cada satélite, assumimos que o sinal do satélite viaja diretamente desde o satélite até à antena do receptor. Mas, em adição ao sinal, existem sinais refletidos provocados por objetos que se encontram perto da antena e que interferem com o sinal verdadeiro. A este efeito chamou-se multi-caminhamento. Este erro apenas afeta medições de alta precisão, a sua magnitude é por volta dos 50 cm.

**Erros causados pela variação do centro de fase da antena** - Estes erros são função da sua construção. Dependem das características da antena e do ângulo da direção do sinal observado. Estas variações podem atingir alguns centímetros.

**Ruído do Receptor** - O receptor GPS não é perfeito e tem as suas limitações. Ele está limitado à sua própria precisão, ou seja, ao desvio padrão associado a cada medição.

### **3.5.3 - Erros dependentes do meio de propagação**

**Atraso ionosférico** - Ao medir a distância para um satélite, medimos o tempo que o sinal leva para chegar ao receptor e multiplicamos esse tempo pela velocidade da luz. O problema é que a velocidade da luz varia sob as condições atmosféricas. A camada mais alta da atmosfera, a ionosfera, contém partículas "carregadas" que atrasam o código e adiantam a fase. A magnitude deste efeito é maior durante o dia do que de noite. Os atrasos ionosféricos não modelados podem afetar a precisão em até 10 metros.

**Atraso troposférico** - Ao passar pela camada mais baixa da atmosfera - a troposfera, o sinal também sofre um atraso na fase e no código devido a maior ou menor umidade presente na atmosfera.

## **3.6 - Precisão do Posicionamento GPS**

A precisão no posicionamento GPS depende do número e da geometria dos satélites usados e obviamente da precisão da medição da distância receptor-satélite. O termo

geralmente utilizado para representar a precisão da medição GPS é UERE (User Equivalent Range Error), que representa o efeito da combinação dos erros das efemérides, dos erros de propagação, dos erros do relógio e ruído do receptor.

O efeito da geometria dos satélites é expresso pelo fator de degradação da precisão (DOP- Dilution Of Precision), o qual pode ser interpretado como a razão entre a exatidão do posicionamento e a exatidão da medição.

Se por exemplo observarmos 4 satélites muito próximos, um metro na medição da distância pode resultar em centenas de metro de erro na posição calculada. Mas se observarmos muitos satélites e estes se encontrarem espalhados pelo céu, talvez o erro na posição seja inferior a 1.5 metros por cada metro de erro na medição de um a distância.

Existem vários tipos de DOP, os mais comuns são:

- GDOP - degradação da precisão da posição tridimensional e tempo (geometria)
- PDOP - degradação da precisão da posição tridimensional
- VDOP - degradação da precisão vertical
- HDOP – degradação da precisão horizontal

Para perceber melhor o efeito da geometria dos satélites na precisão do posicionamento imagine um tetraedro que é formado por linhas que ligam o receptor a cada satélite usado. Quanto maior for o volume do tetraedro, menor (e melhor) será o GDOP. Um bom DOP terá valores menores que 5. Nunca deverá efetuar observações com DOPs superiores a 8. Geralmente quanto mais satélites observarmos, menor é o DOP.

### **3.7 - Fontes de Erro: Soluções**

Apesar de o SA já ter sido desativado, a precisão atual de 10-20 metros continua a ser insuficiente para muitas das aplicações civis. Desde o início do GPS, muitos métodos tem sido (e continuam a ser) desenvolvidos para reduzir os erros e aumentar a precisão. Todos esses métodos são baseados no posicionamento relativo.

Suponhamos que temos dois receptores localizados não muito longe um do outro. Os erros dos relógios dos satélites, das efemérides, dos atrasos ionosférico e troposférico afetam ambos os receptores em proporções idênticas. O princípio do posicionamento relativo é que esses erros se cancelam na maior parte quando se trabalha com diferenças.

Se soubermos as coordenadas de um ponto A e se observarmos o vetor  $dx$ ,  $dy$ ,  $dz$  que liga os pontos A-B podemos determinar as coordenadas de B relativas a A.

Este método é a solução para o problema dos erros do sistema. Quando trabalhamos com posicionamentos relativos podemos utilizar técnicas que permitem modelar quase todos os erros exceto o multi-caminhamento e o ruído do receptor: diferenças de observáveis e combinações lineares de observações. Este método permite alcançar grandes precisões e é utilizado em trabalhos de Geodesia e Topografia.

### 3.8 - Métodos de Posicionamento GPS

Existem vários métodos de posicionamento relativo, ou seja, métodos que envolvem sempre mais que um receptor em observações simultâneas.

Medição de:	Cálculo em:	Designação	Precisão
Código	Pós-processamento	DGPS em Pós-processamento	Desde <1 m até ~10m
Código	Tempo Real	DGPS	Desde <1 m até ~10m
Fase	Pós-Processamento	Estático, Rápido-Estático, Cinemático, Para-avança	Desde < 1 cm até alguns centímetros
Fase	Tempo Real	RTK	Desde < 1 cm até alguns centímetros

Historicamente o posicionamento relativo só com código foi designado por DGPS (Differential GPS), no entanto existem autores que aplicam esta designação a posicionamentos com observação da fase, outros preferem designar o DGPS com fase por CPD (Carrier Phase Differential).

O posicionamento relativo com fase em tempo real tem sido designado por RTK (Real-Time Kinematic). Para aplicações sem ser em tempo real podemos usar posicionamento Estático, Rápido-estático, cinemático, pseudo-cinemático ou para-avança.

**DGPS** - Se soubermos a localização de um receptor, podemos comparar os valores obtidos com os valores teóricos e deste modo calcular correções às medições as quais podem ser usadas para corrigir as medições dos outros receptores que estão em pontos desconhecidos. O receptor na posição conhecida é chamado receptor base ou de referência, o receptor ou receptores que estão em posições desconhecidas são chamados “rover”. O receptor de referência calcula as medições para cada satélite, baseando-se na sua posição que é conhecida e na localização instantânea de cada satélite. Depois compara os valores calculados com as medições reais. A diferença entre esses valores dá-nos a correção para cada satélite, a qual vai ser transmitida ao outro receptor. O rover pode então calcular a sua posição com muito melhor precisão. O DGPS é baseado na medição da distância receptor-satélite através da observação do código. Se as correções forem transmitidas desde o receptor de referência para o(s) Rover(s) em tempo real (normalmente via rádio), então o sistema é geralmente designado por DGPS ou DGPS em tempo Real. Se não necessitamos trabalhar em tempo real as medições da base e do rover são gravadas e mais tarde transferidas para um computador para depois ser efetuado o cálculo. Esta técnica é usualmente designada por DGPS em pós-processamento. Neste método de posicionamento baseados na observação do código os resultados são instantâneos mas não são precisos.

**RTK** - O RTK (Real-Time Kinematic), é baseado na medição da distância receptor-satélite através da fase da onda portadora. A maior dificuldade desta técnica é o desconhecimento do número de ciclos completos decorridos desde que o sinal deixou o satélite até ao instante de sintonia (ambiguidade de ciclo). Temos então que esperar alguns minutos até que o receptor consiga resolver a ambiguidade de ciclo de cada par receptor-satélite. Depois do receptor resolver as ambiguidades corretamente, a precisão de cada

posição calculada situa-se entre 0.5 cm a 2 cm na horizontal e de 1 a 3 cm na vertical + 1 ppm para um receptor de dupla frequência e + 2 ppm para um receptor de uma frequência.

**Estático** - É o método de posicionamento que permite obter maior precisão. É geralmente utilizado para medição de bases longas, redes geodésicas, tectônica de placas etc. Neste método os receptores permanecem fixos durante um certo período de tempo (nunca menos de 1 hora para bases cujo comprimento seja da ordem dos 20 km).

**Rápido-Estático** - Usado para estabelecer redes locais de controle, adensamento de redes etc. Corresponde a uma sessão estática de curta duração (de 5 a 20 minutos). É bastante preciso em bases de comprimento até 20 km, e muito mais rápido que o posicionamento estático. O principal problema deste método de posicionamento reside na resolução das ambiguidades. Estas são resolvidas através da técnica "On The Fly"

**Cinemático** - Usado medição de vários pontos sucessivamente. É um método bastante eficaz de medir vários pontos próximos entre si. Contudo, no caso de existirem elementos que obstruam a trajetória do sinal (pontes, árvores, edifícios altos etc.) e menos de 4 satélites visíveis, é necessária uma reinicialização que pode demorar 5-10 minutos.

**Pseudo-cinemático** - Idêntico ao rápido-estático, mas requerendo um segundo estacionamento em cada ponto, após um intervalo de tempo que permita uma geometria de observação diferente. Este procedimento serve para tornar possível a ligação da fase entre as duas sessões, equivalendo a um posicionamento estático, mas com uma grande lacuna de observações. O operador pode aproveitar o tempo entre a primeira e a segunda sessão para estacionar nos restantes pontos, o que torna este método bastante eficaz a nível de tempo e consequentemente a nível econômico.

**Pára-avança (stop and go)** - Este método de posicionamento consiste em transportar um receptor a todos os pontos a observar, efetuando breves paragens (alguns segundos), nas posições de maior interesse. Uma vez que o requisito básico deste método é que as ambiguidades sejam determinadas antes de se iniciar o posicionamento, o receptor deve ser transportado cuidadosamente de forma a não obstruir o sinal.

### 3.9 - Tipos de GPS

Pode-se dividir os equipamentos GPS em cinco grupos, segundo os objetivos de precisão e investimento: Navegação, DGPS, Cadastral, Topográfico e Geodésico.

**Navegação** - são equipamentos que fornecem o posicionamento em tempo real, baseado no código C/A. Eles trabalham com pseudodistâncias obtendo-se precisão da ordem de 10 a 20 metros.

**DGPS** - são semelhantes aos GPS de navegação, diferindo por possuírem um link de rádio, utilizado para receber as correções diferenciais provenientes de uma estação base. Através dessas correções em tempo real, consegue-se eliminar o maior erro do GPS que é o AS, obtendo-se precisão da ordem de 1 a 3 metros.

**Cadastral** - esta classe inclui os aparelhos que trabalham com código C/A e os que trabalham com a fase da portadora L1. O pós-processamento é executado em escritório, através da utilização de software específico. A grande diferença deste equipamento é a sua

capacidade de aquisição e armazenamento de dados alfanuméricos associados às feições espaciais levantadas (ponto, linha e área), permitindo realizar cadastros para SIG. Dependendo do método e do aparelho utilizado, consegue-se precisões de 10 centímetros a 1 metro.

Topográficos - estes equipamentos poderiam ser considerados iguais aos cadastrais, contudo possuem evoluções tecnológicas no próprio aparelho que acarretam numa melhora da precisão, podendo chegar até 1 centímetro.

Geodésicos - são aparelhos de dupla frequência, recebendo a frequência L1 e a frequência L2. Esses aparelhos sofrem menos interferência da ionosfera. Estes aparelhos, com seus sofisticados recursos eletrônicos, consegue-se precisões diferenciais pós-processada da ordem de 5 mm + 1 ppm. São indicados para trabalhos geodésicos de alta precisão, como por exemplo transporte de coordenadas.

### **3.10 - Aplicações GPS**

Embora o GPS tenha sido desenvolvido para ir ao encontro das necessidades militares, logo foram desenvolvidas técnicas capazes de o tornar útil para a comunidade civil. A seguir estão apresentadas algumas aplicações no intuito de dar uma visão global das potencialidades do GPS:

***Transportes /Deslocamentos*** – Para o transporte aéreo, marítimo ou terrestre em locais de difícil reconhecimento como é o caso de florestas ou desertos, são múltiplas as possibilidades do GPS, como traçar rotas, conhecer a distância real percorrida, estabelecer trajetos de ida e volta, marcar determinado local e retornar a ele a qualquer momento.

No transporte terrestre, a rota pode ser monitorada continuamente durante a viagem. Na sede de uma transportadora, as posições dos veículos são conhecidas a qualquer momento e qualquer desvio ou desaparecimento do sinal pode ser entendido como possível acidente, roubo da carga ou até mesmo desobediência do motorista em manter-se na rota preestabelecida. Isto possibilita agilidade na tomada de decisão para as devidas providências cabíveis a cada situação. Nos Estados Unidos, empresas já trabalham com mapas digitais para automóveis sincronizados com GPS, de modo a permitir ao motorista verificar em uma tela de monitor o melhor caminho para o seu destino e ainda a posição instantânea do seu veículo no mapa exibido na tela.

***Área Militar*** - Na área militar, que na verdade foi de onde nasceu a motivação para a implantação do sistema pelo Departamento de Defesa dos EUA, o GPS serve para navegação e orientação dos mísseis "inteligentes" até o alvo. Foi justamente por causa dessa capacidade de envios de mísseis que o Departamento de Estado norte-americano optou por embaralhar, de certa forma, os sinais GPS. Assim, com o uso de interferência proposital, denominada Selective Availability ou código S/A, as posições estabelecidas pelo GPS são degradadas, gerando erros aleatórios na frequência dedicada ao uso civil. Deste modo, infelizmente, muitas das maravilhas do GPS ficam reservadas apenas aos militares norte-americanos.

***Mapeamento e Geoprocessamento*** - Hoje, o uso do GPS é muito requisitado nos serviços de Mapeamento e Geoprocessamento, ou seja, na coleta de dados (coordenadas) de posicionamento dos diversos objetos a serem mapeados (analógicos ou digitais), como postes



de redes elétricas, edificações em geral, limites de propriedades rurais, etc. Suas aplicações são intensas nos serviços de Cadastro e Manutenção que visam elaborar e monitorar cartas temáticas, assim como na captura de dados para Monitoramento Ambiental, Prevenção de Acidentes ou Ajuste de Bases Cartográficas distintas, especialmente se utilizadas em GIS. Esta afirmação baseia-se na característica do GIS que associa o posicionamento geográfico com informações alfanuméricas, permitindo integração, cruzamento e disponibilidade, através de diversos meios de armazenamento. Uma das características importantes de um GIS é a velocidade na manipulação, porém a obtenção de dados, depende dos sistemas de aquisição. O GPS nasceu para obter a posição geográfica de uma entidade (elemento da superfície da Terra) com velocidade e exatidão altas a ponto de provocar a maior revolução que a Geodésia (ciência que se ocupa das medições sobre a face da Terra) já experimentou. Assim, o uso do GPS em atividades de GIS veio a co-existir de forma cada vez mais interdependente

Esta possibilidade oferecida pelo GPS, de armazenar também dados alfanuméricos em cada estação, tem extremo valor na coleta de dados para mapeamento. Incomparáveis são as vantagens sobre as técnicas utilizadas sem o uso do GPS, em termos de tempo, facilidade e confiabilidade na obtenção dos dados.

Outras aplicações são possíveis, por exemplo, na **locação de obras na construção civil**, como estradas, barragens, pontes, túneis, etc. O GPS é um importante aliado nos serviços que exigem informações de posicionamento confiáveis, dada a rapidez e segurança nos dados que fornece.

Antes do advento do GPS, para estas atividades o que se usava eram os equipamentos e técnicas da Topografia convencional, os quais, apesar de fornecerem bons resultados estão sendo gradativamente substituídos e/ou complementados (dependendo do caso) pelo GPS. O uso de equipamentos convencionais como teodolito, estação total, nível, trena, exige para estes serviços, muito mais tempo e portanto, maiores custos. Alguns casos atendidos pelo GPS são impossíveis através da Topografia, como o monitoramento contínuo de veículos (automóveis, aviões ou navios). Dentre muitas, outra grande vantagem do GPS é a não necessidade de intervisibilidade entre as estações.

**Defesa civil** - Alguns serviços de proteção civil já estão também utilizando GPS. Receptores de GPS são colocados em ambulâncias com o objetivo de guiar os helicópteros de serviços médicos até elas muito mais rapidamente e em situações onde a visibilidade é reduzida.

**Topografia e geodésia** - Os avanços tecnológicos da informática e da eletrotécnica vieram revolucionar o modo de praticar topografia. Primeiro com o aparecimento dos instrumentos eletrônicos de medição de distancias e agora mais recentemente com os receptores GPS. O GPS é hoje em dia utilizado em todas as aplicações topográficas, a sua precisão milimétrica permite utiliza-lo para determinar ângulos, distâncias, áreas, coordenadas de pontos, efetuar levantamentos, etc.

**Esportes e Lazer** - O GPS é ainda muito utilizado nas atividades como navegação, pesca, alpinismo, exploração de caminhos ecológicos e pontos turísticos, etc. Para qualquer atividade que necessite conhecer a posição real do local, o GPS é um grande auxílio.

Como se pode concluir, seria impossível enumerar toda a multiplicidade de usos do GPS. Novas aplicações irão sendo desenvolvidas assim como a tecnologia que as envolve. O futuro do GPS é ilimitado assim como é a nossa imaginação.

O GPS foi um sistema idealizado de forma fantástica, mas o grande crescimento de usuários, o fato de existir outro sistema de posicionamento alternativo e os grandes resultados conseguidos através da técnica DGPS, tornam os usuários mais exigentes.

Atualmente encontram-se em funcionamento quatro sistemas de navegação por satélite: o GPS americano, o GLONASS russo, o GALILEO da União Europeia e o COMPASS chinês.

## CAPÍTULO 4 - GEOPROCESSAMENTO

Dentro do desenvolvimento de novas tecnologias, o termo geoprocessamento vem sendo muito empregado por profissionais que trabalham com informações referenciadas espacialmente na superfície terrestre.

O geoprocessamento pode ser definido como sendo o conjunto de tecnologias destinadas a coleta e tratamento de informações espaciais, assim como o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações, com diferentes níveis de sofisticação. Em linhas gerais o termo geoprocessamento pode ser aplicado a profissionais que trabalham com cartografia digital, processamento digital de imagens e sistemas de informação geográfica. Embora estas atividades sejam diferentes elas estão intimamente inter-relacionadas, usando na maioria das vezes as mesmas características de hardware, porém software distinto (Figura 1).

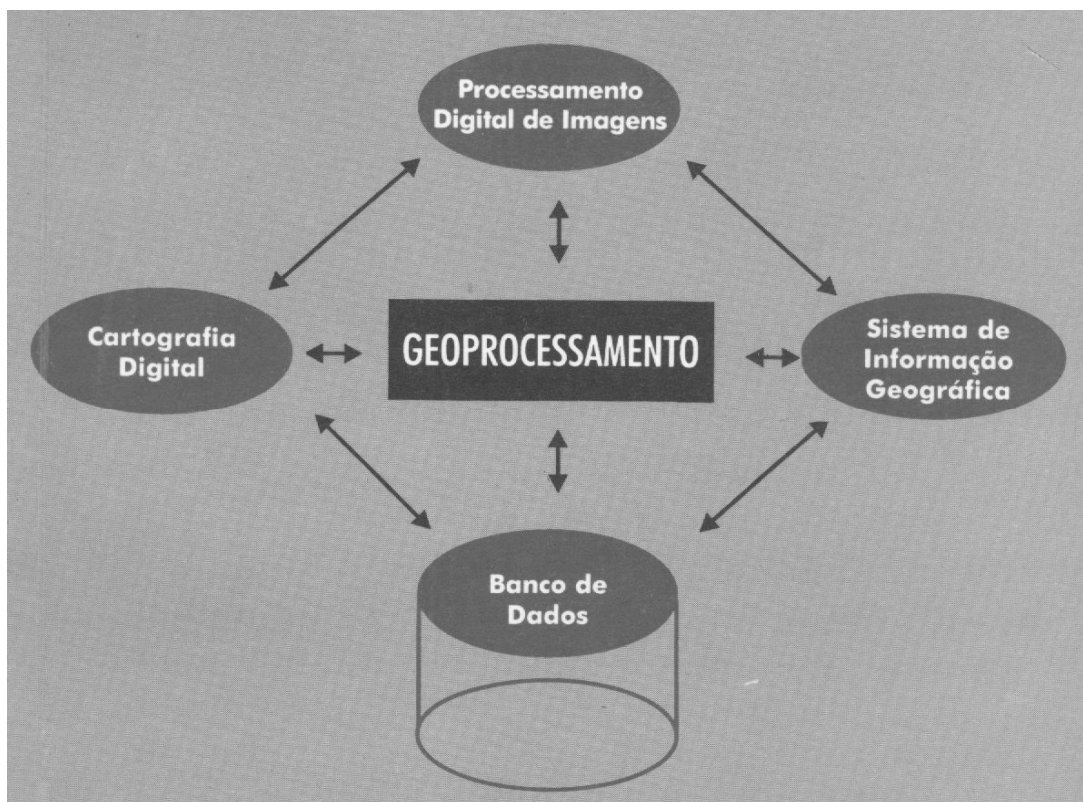


Figura 1 – Principais atividades envolvidas em Geoprocessamento

A cartografia digital pode ser entendida como sendo a tecnologia destinada a captação, organização e desenho de mapas (MICROSTATION, MAXICAD, AUTOCAD, etc.), já o processamento digital de imagens pode ser entendido como sendo o conjunto de procedimentos e técnicas destinadas a manipulação numérica de imagens digitais cuja a finalidade é corrigir distorções das mesmas e melhorar o poder de discriminação dos alvos, como exemplo, podemos citar os softwares ERDAS, PCI, SITIM, ENVI, etc., enquanto que os sistemas de informação geográfica são sistemas destinados à aquisição, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados referenciados espacialmente (ArcGIS, ArcVIEW GIS, MapINFO, SGI, etc.).

A cartografia digital transmite a idéia de automação de projetos com o auxílio do computador e outros equipamentos conexos, enquanto que os sistemas de informação geográfica transmitem a idéia de análise, modelagem e simulação desses projetos automatizados.

O uso de computadores para o manuseio de uma grande quantidade e variedade de dados tem levado ao desenvolvimento dos chamados "Sistemas de Informação", dedicados ao armazenamento e análise integrada de dados. De modo geral, pode-se definir formalmente um sistema de informação como sendo uma combinação de recursos humanos (Peopleware) e técnicos (Hardware/Software), em concordância com uma série de procedimentos organizacionais que proporcionam informações com finalidade de apoiar as gestões diretivas.

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) é um caso específico do Sistema de Informação. Seu desenvolvimento começou em meados da década de 60. O primeiro sistema a reunir as características de um SIG foi implementado no Canadá, em 1964, sendo chamado de "Canadian Geographic Information System". Em seguida foram desenvolvidos outros sistemas. Dentre eles podemos destacar os sistemas de New York Landuse and Natural Resources Information Systems (1967) e Minnesota Land Management Information System (1969). Nas décadas posteriores ocorreram consideráveis avanços em equipamentos e software, permitindo o desenvolvimento de sistemas mais potentes e novas aplicações, popularizando principalmente os CAD's (Computer Aided Design), cujos objetivos são diferentes dos SIG's. No começo da década de 80, a evolução da tecnologia foi afetada pelos avanços em hardware e software, com o uso mais efetivo na manipulação das informações geográficas, bem como a ligação entre a base de dados gráfica e alfanumérica.

Um SIG pode ser definido como um sistema destinado à aquisição, armazenamento, manipulação, análise, simulação, modelagem e apresentação de dados referidos espacialmente na superfície terrestre, integrando diversas tecnologias (Figura 2). Portanto, o sistema de informação geográfica é uma particularidade do sistema de informação sentido amplo. Essa tecnologia automatiza tarefas até então realizadas manualmente e facilita a realização de análises complexas, através da integração de dados de diversas fontes.

O manejo de dados espaciais requer instrumentos especializados e complexos para obter, armazenar, recuperar e apresentar as informações. Além do mais, dados oriundos de distintas fontes fazem com que exista a necessidade de integrá-los, para o efetivo uso dos mesmos, assim como para se obter novas informações.

O objetivo geral de um sistema de informação geográfica é, portanto, servir de instrumento eficiente para todas as áreas do conhecimento que fazem uso de mapas, possibilitando: integrar em uma única base de dados informações representando vários aspectos do estudo de uma região; permitir a entrada de dados de diversas formas; combinar dados de diferentes fontes, gerando novos tipos de informações; gerar relatórios e documentos gráficos de diversos tipos, etc.

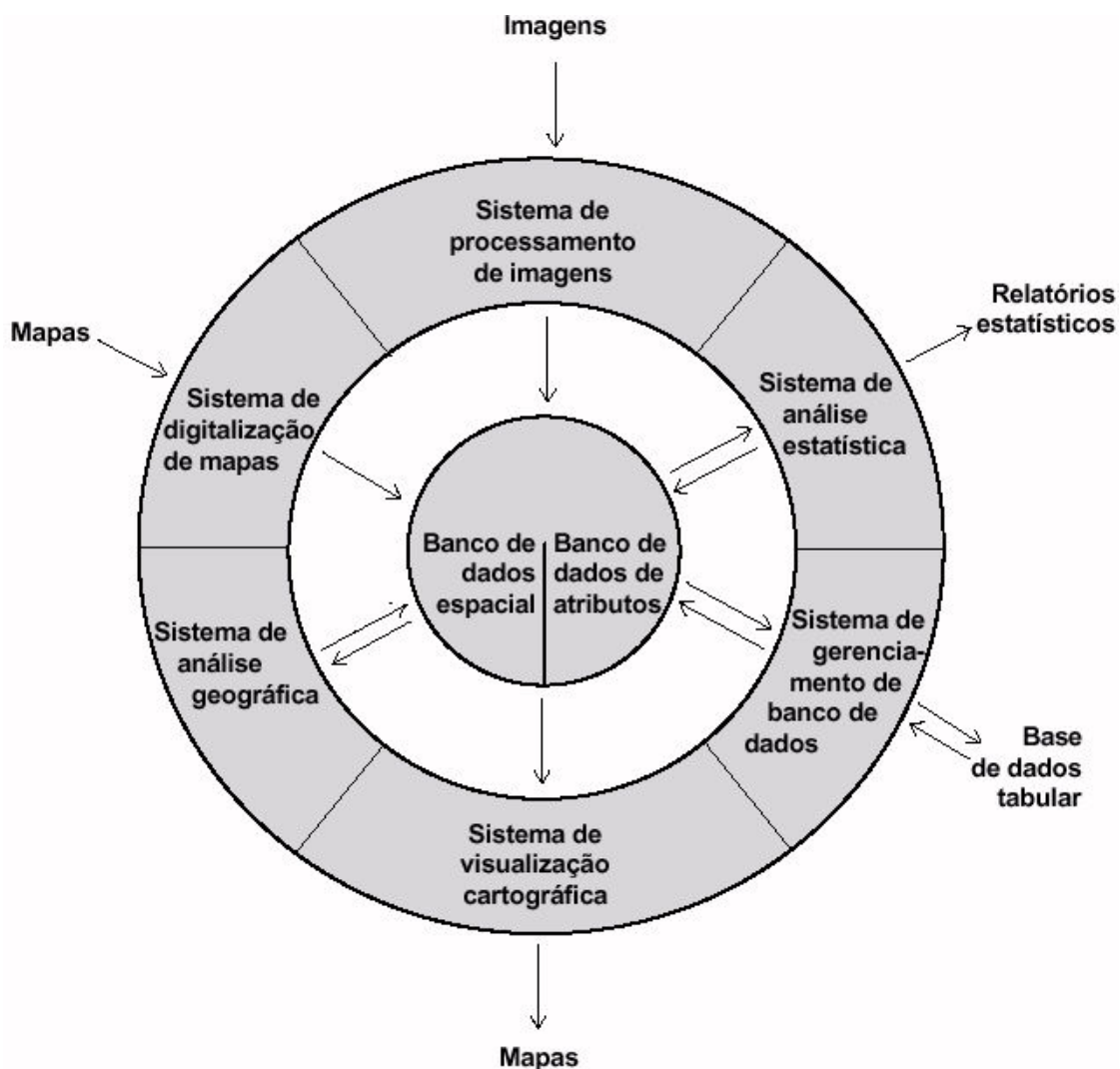


Figura 2 – Tecnologias integradas em um SIG  
 Fonte: Hasenack e Weber (1998)

A diferença entre um SIG (Sistema de Informação Geográfica) e um CAD (Desenho Auxiliado por Computador) consiste basicamente no fato de que o último é um instrumento de desenho digital e não um sistema de processamento de informação espacial.

Um CAD possui funções que permitem a representação precisa de linhas e formas, podendo ser utilizado na digitalização de mapas e cartas. No entanto, apresenta restrições no que diz respeito à atribuição de outras informações às entidades espaciais. Apesar disto os CAD's podem ser utilizados em conjunto com os SIG's.

No Brasil, o mercado de trabalho para os profissionais que dominam essa tecnologia é extenso, mas terá ainda um crescimento imenso. O nosso país tem dimensões continentais e quase todo o seu território precisa ser mapeado digitalmente em uma escala adequada para que possa ser utilizada pelo SIG. A partir disso, uma grande quantidade de dados tem que ser coletado e associado ao mapa digital.

A carência de profissionais capacitados a atuar nessa área no Brasil é muito grande, e infelizmente não existem muitos cursos que ensinam os conceitos práticos e teóricos de

geoprocessamento. Pretendemos ajudar a diminuir esse grande fosso que separa o conhecimento daqueles profissionais que têm interesse em trabalhar com ferramentas SIG, mas ainda não tiveram oportunidade de aprender, por falta de tempo ou por insuficiência de recursos financeiros, aumentando as suas chances de colocação no mercado atual cada vez mais competitivo.

O ensino de Geoprocessamento deve ter como objetivo final dar aos alunos uma visão mais abrangente de como funcionam as relações espaciais que inter-relacionam várias entidades, objetos ou eventos naturais ou criados pelo homem, que compartilham um espaço geográfico definido. Por exemplo, os alunos podem examinar o relacionamento entre as ocorrências de crime e o nível de renda da população, verificar a influência do tipo de vegetação e uso do solo, na erosão do solo, e muitas outras análises. Para isso, o aluno deve aprender a:

- Criar e/ou importar no SIG, os mapas, e fontes de dados apropriados;
- Selecionar, manipular os dados para gerar novos mapas, ou novas visões dos mapas originais, a fim de identificar padrões ou processos geográficos;
- Monitorar e/ou prever a evolução do modelo criado.

O domínio da tecnologia de geoprocessamento traz novas oportunidades profissionais em departamentos governamentais, administrações municipais, empresas de utilidade pública, empresas de publicidade, empresas que trabalham com vendas a varejo e distribuição, empresas de transporte, dentre outras. O uso dessa tecnologia tem sido cada vez mais utilizada como uma ferramenta de suporte a decisão para gerenciar e monitorar sistemas geográficos.

O SIG é um software que tradicionalmente manipula um grande volume de dados armazenados em arquivos, como mapas, imagens, e demais informações espaciais, demandando por parte dos usuários conhecimentos de informática.

No contexto destas inovações, os Sistemas de Informações Geográficas têm desempenhado um papel importante como integrador de tecnologia. Ao invés de ser de natureza completamente nova, os SIGs tem unido várias tecnologias discretas em um todo, que é maior do que a soma das partes. O SIG vem emergindo como uma poderosa tecnologia porque permite aos geógrafos integrarem seus dados e métodos de maneiras que apóiam as formas tradicionais de análise geográfica, tais como análises por sobreposição de mapas bem como novos tipos de análises e modelagem que vão além da capacidade de métodos manuais. Com o SIG é possível elaborar mapas, modelar, fazer buscas e analisar uma grande quantidade de dados, todos mantidos em um único banco de dados.

O desenvolvimento do SIG tem se baseado em inovações que ocorreram em disciplinas distintas: Geografia, Cartografia, Fotogrametria, Sensoriamento Remoto, Topografia, Geodésia, Estatística, Computação, Inteligência Artificial, e muitas outros ramos das Ciências Sociais, Ciências Naturais e Engenharias, com a contribuição de todas as citadas disciplinas.

#### 4.1 – Conceitos Básicos

Para se entender o que é um sistema de informação geográfica é necessário conhecer-se a definição de alguns conceitos básicos que são normalmente empregados pela comunidade que trabalha com esta tecnologia, segundo Teixeira et al., 1992.

Como **sistema** considera-se um arranjo de **entidades** (elementos) relacionadas ou conectadas, de tal forma que constituem uma unidade ou um todo organizado, com características próprias e subordinadas a processos de transformação conhecidos. As **entidades** são os elementos ou objetos tomados como unidades básicas para a coleta dos dados. Os dados relacionam-se com os atributos, que caracterizam e fornecem significado à unidade estudada. Por exemplo, pode-se tomar um lugar como **entidade**, e as suas características de solo, relevo e uso da terra como alguns de seus **atributos**. O conjunto de entidades (lugares) corresponde à área estudada. Os dados disponíveis sobre os atributos representam a riqueza informativa.

O número de atributos mensurados fornece a base para melhor caracterização da área através do cruzamento das informações. Como o sistema básico inclui fases de entrada de dados, transformação e saída de informação, pode-se prever a inclusão de novas entidades, aumentando a grandeza da área estudada, bem como a inclusão de dados sobre novos atributos, que vão sendo considerados importantes. Esse processo representa a realimentação do SIG.

Deve-se ainda definir os termos **dado** e **informação**. Um **dado** é um símbolo utilizado para a representação de fatos, conceitos ou instruções em forma convencional ou preestabelecida e apropriada para a comunicação, interpretação ou processamento por meios humanos ou automáticos, mas que não tem significado próprio. Já **informação** é definida como o significado que o ser humano atribui aos dados, utilizando-se de processos preestabelecidos para sua interpretação. Pode-se dizer que os **dados** são um conjunto de valores, numéricos ou não, sem significado próprio e que **informação** é o conjunto de dados que possuem significado para determinado uso ou aplicação (Teixeira et al., 1992).

Como **informação geográfica** considera-se o conjunto de dados cujo significado contém associações ou relações de natureza espacial, dados esses que podem ser apresentados em forma gráfica (pontos, linhas e, áreas/polígonos), numérica e alfanumérica. Assim, um **sistema de informação geográfica** utiliza uma base de dados computadorizada que contém informação espacial sobre a qual atuam uma série de operadores espaciais (Teixeira et al., 1992).

Os SIG's incluem-se no ambiente tecnológico que se convencionou chamar de **geoprocessamento**, cuja área de atuação envolve a coleta e tratamento da informação espacial, assim como o desenvolvimento de novos sistemas e aplicações. A tecnologia ligada ao geoprocessamento envolve hardware (equipamentos) e software (programas) com diversos níveis de sofisticação, destinados à implementação de sistemas com fins didáticos, de pesquisa acadêmica ou aplicações profissionais e científicas nos mais diversos ramos das geociências (Teixeira et al., 1992).

O SIG é uma base de dados digitais de propósito especial no qual um sistema de coordenadas espaciais comum é o meio primário de referência. Um SIG requer recursos de:

- Entrada dos dados a partir de mapas, fotografias aéreas, imagens de satélites, levantamentos de campo, e outras fontes;
- Armazenamento, recuperação e busca de dados;
- Transformação de dados, análise e modelagem, incluindo estatística espacial;
- Comunicação dos dados, através de mapas, relatórios e planos.

Três observações deveriam ser feitas sobre esta definição:

- SIG são relacionados a outras aplicações de banco de dados, mas com uma diferença importante. Toda a informação em um SIG é vinculada a um sistema de referência espacial. Outras bases de dados podem conter informação locacional (como endereços de rua ou códigos de endereçamento postal), mas uma base de dados de SIG usa geo-referências como o meio primário de armazenar e acessar a informação.
- SIG integra tecnologia. Entretanto, enquanto outras tecnologias só poderiam ser usadas para analisar fotografias aéreas e imagens de satélite, para criar modelos estatísticos ou para traçar mapas, todas estas capacidades são todas oferecidas conjuntamente no SIG.
- SIG, com seu conjunto de funções, deveria ser visto como um processo ao invés de simplesmente como software e hardware. SIG's servem para tomada de decisão. O modo no qual os dados são inseridos, armazenados e analisados dentro de um SIG deve refletir a maneira pela qual a informação será usada para uma pesquisa específica ou tarefa de tomada de decisão. Ver o SIG como somente um software ou sistema de hardware é perder de vista o papel crucial, que ele pode desempenhar em um processo amplo de tomada de decisão.

Uma razão pela qual pode ser difícil chegar a um acordo a respeito de uma única definição para SIG é que existem vários tipos de SIG, cada um apresentando propósitos distintos e servindo a diferentes tipos de tomada de decisão. Uma variedade de nomes tem sido aplicadas para diferentes tipos de SIG, distinguindo suas funções e papéis. Um dos sistemas especializados mais comuns, por exemplo, é normalmente citado como sistema AM/FM. AM/FM é projetado especificamente para gerenciamento da infra-estrutura.

SIGs fornecem poderosas ferramentas para tratar de assuntos geográficos e ambientais. Imagine que o SIG nos permita organizar a informação sobre uma determinada região ou cidade, como um conjunto de mapas, cada um deles exibindo uma informação a respeito de uma característica da região. Cada um destes mapas temáticos individualmente é referenciado como um *layer* (camada), *coverage* (cobertura) ou *level* (nível). Cada camada foi cuidadosamente sobreposta de forma que toda localização é precisamente ajustada às localizações correspondentes em todos os outros mapas. O layer debaixo deste diagrama é o mais importante, porque representa um reticulado com um sistema de referência (como latitude e longitude) ao qual todos os mapas foram precisamente referenciados.

Uma vez que estes mapas foram cuidadosamente referenciados dentro de um mesmo sistema locacional de referência, informações exibidas nos diferentes layers podem ser comparadas e analisadas em combinação. Em adição, localizações ou áreas podem ser



separadas de localizações vizinhas, simplesmente extraindo todos os layers da localização desejada a partir de um mapa maior. O SIG oferece meios para pesquisar padrões e processos espaciais, tanto para uma localização ou região inteira.

Nem todas as análises requerirão o uso de todos os layers de mapas simultaneamente. Em alguns casos, um investigador usará seletivamente a informação para considerar relações entre camadas específicas. Além disso, informação de duas ou mais camadas poderia ser combinada e então poderia ser transformada em uma camada nova para uso em análises subsequentes. Este processo de combinar e transformar informação de camadas diferentes às vezes é chamado de álgebra de mapas, pois envolve soma e subtração de informação.

O grande apelo do SIG surge da sua habilidade em integrar grandes quantidades de informação sobre o ambiente e prover um repertório poderoso de ferramentas analíticas para explorar estes dados. Imagine o potencial de um sistema no qual são formadas dúzias ou centenas de camadas de mapas para exibir informação sobre redes de transporte, hidrografia, características de população, atividade econômica, jurisdições políticas, e outras características dos ambientes naturais e sociais. Tal sistema seria valioso em um leque amplo de situações, para planejamento urbano, administração de recursos ambientais, administração de riscos, planejamento de emergência, e assim por diante. A habilidade em separar informação em camadas, e então combiná-las com outras camadas de informação é a razão pela qual o SIG oferece tão grande potencial como ferramenta de pesquisa e apoio à tomada de decisão.

Os SIG's estão sendo usados pelos órgãos do governo e empresas em um amplo leque de aplicações, que incluem análise de recursos ambientais, planejamento de uso do solo, análise locacional, avaliação de impostos, planejamento de infra-estrutura, análise de bens imóveis, marketing, análise demográfica entre outras.

Nos dias atuais, dezenas de sistemas de software SIG oferecem capacidades para tomada de decisão. O grande número disponível às vezes torna difícil o discernimento das diferenças entre os sistemas, as potencialidades e as limitações de forças de cada um. O ponto importante para se lembrar é que, há muitos tipos diferentes de sistemas de software SIG, assim como processos para tomada de decisão. Frequentemente sistemas de software SIG são especializados em apoiar certos tipos de tomadas de decisão. Quer dizer, eles são melhorados para satisfazer necessidades específicas de planejamento demográfico, planejamento de transporte, análise de recursos ambientais, planejamento urbano, e assim por diante. Estes sistemas podem responder bem a problemas individuais, mas eles também são limitados. Um SIG projetado com propósitos especiais para planejamento e manutenção de aeroportos, por exemplo, não serve bem para modelagem demográfica.

Outros sistemas de software, ficaram famosos porque eles podem ser usados em um número grande de aplicações. Estes sistemas de propósito gerais também oferecem características que podem ser customizados para satisfazer várias necessidades individuais. Como exemplo destes softwares podemos citar o ArcInfo, Autodesk Map e Spring.

Outros sistemas tais como MapInfo e ArcView GIS tentam prover funções que serão valiosas em um ou mais dos grandes domínios de aplicação, por exemplo em análise demográfica ou pesquisa de marketing. Ainda totalmente a parte destes sistemas mais gerais, há dúzias de sistemas de software muito especializados que são melhor adaptados a uma tarefa, uma aplicação, ou até mesmo para só uma parte de um processo de tomada de decisão

mais abrangente, como por exemplo, armazenar registros de manutenção de um sistema de estrada ou por planejar a expansão de uma rede de distribuição de energia elétrica.

A Internet/Intranet tem uma influência decisiva para a disseminação dessa tecnologia, pois permite a distribuição dos dados de forma estruturada em vários computadores ligados em rede. Isto possibilitará uma maior cooperação na manutenção da base de dados e uma surpreendente facilidade de acesso para os usuários. A documentação sobre os dados, ou metadados podem ser mais facilmente organizados.

#### 4.2 - Escalas de Mensuração

As mensurações típicas efetuadas no espaço geográfico referem-se a áreas ou pontos sobre a superfície terrestre e a aspectos da interação entre essas áreas ou pontos. Entendemos por mensuração a atribuição de um número à qualidade de um objeto ou fenômeno segundo regras definidas. O processo de atribuição de números a qualidades de objetos forma a escala de mensuração.

Temos quatro níveis ou escalas de mensuração: nominal, ordinal, intervalo e razão. A primeira maneira é a mais simples e a última é a mais complexa. É importante definir as escalas de mensuração considerando que as técnicas de análise estatística que podem ser aplicadas para os dados dependem parcialmente da escala de mensuração. É importante observar que a maioria das descrições qualitativas, isto é, verbais, podem ser transformadas em quantitativas, particularmente para as escalas nominal e ordinal.

**Escala nominal** - Trata-se de um tipo de mensuração essencialmente qualitativa e usado na maioria das vezes como simples processo **classificatório**, na identificação das várias classes em que um determinado fato ou fenômeno possa ser decomposto. Por exemplo, em um mapa de uso da terra, seria a diferenciação das diferentes categorias de uso da terra: culturas anuais, culturas perenes, matas, pastagens, etc.

A escala nominal permite apenas uma distinção ou uma classificação do fato ou fenômeno em pauta, apenas localizando-o. A forma mais simples da mensuração nominal é a divisão em duas classes, que são identificadas com os números zero e um, indicando ou não a existência de certo fenômeno.

As operações aritméticas comuns, como exemplo, adição e multiplicação, não podem ser aplicadas às mensurações nominais, mas é possível extrair outras informações numéricas, como a ocorrência de zero e um, ou seja, a frequência. É possível igualmente identificar a frequência de cada classe e, assim, a classe modal, ou seja, aquela onde se concentra a maioria das observações. A frequência de cada classe, por sua vez, pode ser expressa como porcentagem do número total.

**Escala ordinal** - Esta escala é utilizada quando os fenômenos ou observações são passíveis de serem arranjados segundo uma ordem, isto é, segundo a grandeza ou preferência. Assim, as expressões qualitativas são arranjadas segundo uma ordem como, por exemplo, a classificação hierárquica dos níveis educacionais (primeiro grau, segundo grau, etc.) em uma seqüência numérica como um, dois, três, etc.. A escala de dureza dos minerais é um exemplo clássico de escala ordinal.

A aplicação desta forma de mensuração é somente possível quando se desenvolve uma seqüência qualitativa na qual é lógico colocar um fato antes do outro. Na escala ordinal, as operações aritméticas também não devem ser feitas. Assim, em uma classificação de hotéis, por exemplo, em três níveis hierárquicos - luxuosos, médios e simples - não se pode dizer que os hotéis luxuosos sejam duas vezes melhores que os médios. Sabemos que os hotéis luxuosos são de nível hierárquico superior aos médios quanto a uma série de características, porém, não temos meios para quantificar essa diferença na escala ordinal. Como na escala nominal, é possível contar a frequência de cada classe para indicar a classe modal. A mediana pode também ser determinada nessa escala de mensuração.

**Escala de intervalo** - Esta escala refere-se a um nível de mensuração em que a escala tem todas as características de uma escala ordinal, mas os intervalos entre os valores associados são conhecidos e cada observação pode receber um valor numérico preciso. A extensão de cada intervalo sucessivo é constante como, por exemplo, a numeração dos anos, variações de altitude através de curvas de nível e escalas de temperaturas.

O ponto zero de uma escala de intervalo é arbitrária e não indica ausência da característica medida. A falta de um zero absoluto é uma desvantagem. Com isto, não é possível afirmar que uma temperatura de 20°C é duas vezes mais quente do que uma de 10°C, porque o 0°C é arbitrário. A utilização matemática é limitada a transformações lineares e dessa forma, preserva a informação do dado original.

**Escala de razão** - É a mais precisa de todas, referindo-se a um nível de mensuração em que a escala tem todas as características de uma escala de intervalo, sendo que o ponto zero é uma origem verdadeira. Nesta escala, o zero indica ausência de propriedade. Como exemplo desta escala podemos citar: escala métrica, número, idade e peso de pessoas, distâncias, etc.

Com esta escala é possível comparar os valores não só observando as diferenças mas também comparando os estimativos absolutos. Assim, uma densidade de zero pessoas/km<sup>2</sup> quer indicar que nenhuma pessoa está na área e uma densidade de 30 pessoas/km<sup>2</sup> quer indicar três vezes mais do que 10 pessoas/km<sup>2</sup>.

#### **4.3 - Formas de Representação de Entidades Espaciais**

Um Sistema de Informação Geográfico (SIG), como já definido anteriormente, é um sistema destinado à entrada, armazenamento, manipulação, análise e visualização de dados geográficos ou espaciais (gráficos e/ou imagens). Esses dados são representados por pontos, linhas e polígonos aos quais são associados atributos, isto é, características das feições que os pontos, linhas e polígonos representam. Por exemplo, o ponto pode representar locais com risco de desertificação. A linha pode representar estradas, rios ou outras feições lineares; já o polígono pode representar feições areais tais como tipos de vegetação, uso da terra, etc.

**Pontos:** Os elementos pontuais abrangem todas as entidades geográficas que podem ser perfeitamente posicionadas por um único par de coordenadas x, y. Sua localização no espaço é feita considerando uma superfície plana.

**Linhas:** Os elementos lineares são na verdade um conjunto de pelo menos dois pontos. Além das coordenadas dos pontos que compõem a linha, deve-se armazenar informações que indiquem de que tipo de linha se está tratando, ou seja, que atributo está a ela associado.

**Áreas ou polígonos:** Os elementos areais ou poligonais têm por objetivo descrever as propriedades topológicas de áreas como por exemplo a forma, vizinhança, hierarquia, etc., de tal forma que os atributos associados aos elementos areais possam ser manipulados da mesma forma em que um mapa temático analógico. Na representação por polígonos, cada elemento tem área, perímetro e formato individualizado.

Os elementos espaciais (gráficos) pontos, linhas e áreas podem ser definidos sobre um sistema qualquer de coordenadas. A dimensão (z) refere-se ao **valor** do atributo estudado para um determinado elemento (lugar). Pode ser representada na forma alfanumérica simbólica, o que significa que os dados a serem representados devem estar em escala nominal (classes). Para tanto, valores numéricos (quantidades) referentes a um determinado atributo devem necessariamente passar por um processo de transformação, da escala de razão para uma escala nominal, antes de serem inseridos na base de dados de um SIG. Já a dimensão tempo refere-se à variação temática em épocas distintas. Nesse caso, novos níveis de informação (temas) vão sendo agregados à base de dados (Teixeira et al., 1992).

#### **4.4 – Componentes de um SIG**

Um sistema de informação geográfica tem três importantes componentes: hardware e sistema operacional, software de aplicação (SIG) e aspectos institucionais do SIG. Esses três componentes necessitam ser balanceados para o funcionamento satisfatório do sistema.

##### **4.4.1 - Hardware e Sistema Operacional**

O hardware é o componente físico do sistema envolvendo o computador e seus periféricos, ou equipamentos auxiliares. Podemos citar por exemplo: a CPU (central processing unit), memória RAM (random access memory), hard drive, pen drive, HD externo, teclado, mouse, scanner, mesa digitalizadora, plotter, câmera digital, monitor, GPS, DVD, fita, coletor de dados, etc.

Vale ressaltar que não existe um conjunto fixo de equipamentos para qualquer aplicação SIG. Os equipamentos usados variam bastante de acordo com a aplicação. Por exemplo, em uma aplicação de cadastro de lotes urbanos, o GPS deve ser uma peça fundamental para testar a precisão localizacional dos dados. No caso de uma estação de monitoramento ambiental, o GPS como fornecedor de dados espaciais seria menos relevante do que a antena para recepção de imagens de satélite.

Além disso, com a integração cada vez maior entre a informática, e a telecomunicação, torna-se tênue a fronteira que delimita o que é periférico exclusivo do sistema e o que não é. Por exemplo, em uma aplicação para levantamento topográfico em campo, poderia transmitir via telefone celular para um computador desktop no escritório as coordenadas gravadas. Já existem PDAs (Personal Digital Assistants) com toda a eletrônica de um telefone celular

embutida para facilitar o acesso a Internet. Dada a perfeita integração do telefone digital nesses casos, por que não considerá-lo um periférico fundamental no sistema ?

A Internet tem trazido possibilidades de processamento distribuído antes inimagináveis. A força "cerebral" de supercomputadores em grandes centros de pesquisa pode ser compartilhada via Internet por várias aplicações SIG em vários lugares do mundo, cobrando uma pequena taxa pelo tempo de utilização. Portanto neste caso, o componente hardware está disperso geograficamente, e não é um sistema fechado e exclusivo de uma aplicação SIG.

Finalmente, é importante salientar o grande crescimento da participação de microcomputadores no mercado de geoprocessamento, devido ao seu crescente poder de processamento a um custo baixo. Claro que isso não aconteceria se os softwares não tivessem sido reprojatados para tirar proveito da potencialidade dos novos processadores e novos sistemas operacionais existentes hoje. Antes restrito aos usuários com o poder de compra suficiente para adquirir estações gráficas RISC de alto desempenho, o SIG vem se popularizando rapidamente a medida que seu custo cai vertiginosamente.

Os componentes de hardware mais comuns para se trabalhar com um sistema de informação geográfica são o computador propriamente dito ou unidade central de processamento (CPU), que é ligada a uma unidade de armazenamento, que providencia espaço para armazenamento dos programas e dados. Mesa digitalizadora e/ou scanner ou outro dispositivo de entrada que é usado para converter dados da forma analógica (mapas, cartas, etc.) para o formato digital, e enviá-los para o computador, e uma unidade de visualização de imagens (monitor de vídeo) e/ou plotter ou outro dispositivo de saída que são usados para mostrar o resultado dos processamentos efetuados nos dados. Comunicação entre computadores podem ser feita utilizando-se sistemas de rede ou via linha telefônica.

Em geral, os dispositivos de saída (plotters, impressoras laser, de jato de tinta, térmicas, etc.) e os dispositivos de entrada (mesas digitalizadoras, scanners, etc.) são considerados periféricos de um computador.

Os SIG's podem funcionar com o sistema operacional Windows (95, 98, 2000, XP, Vista, etc.), Unix, Linux, Aix, Solares, etc. e em microcomputadores com configurações diversas, no entanto, que apresentem um bom desempenho no desenvolvimento de tarefas que envolvam processamento gráfico.

#### **4.4.2 - Software de Aplicação (SIG)**

Um sistema de informação geográfica é composto de forma simplificada por cinco componentes (subsistemas): de entrada de dados, de armazenamento de dados, de gerenciamento de dados, de análise e manipulação de dados e de saída e apresentação dos dados (relatórios, gráficos, mapas, etc.).

##### **➤ Entrada de dados, atualização e conversão**

Antes dos dados geográficos poderem ser utilizados num SIG, os mesmos deverão ser convertidos para um formato vetorial adequado. Está relacionado com a conversão de informações analógicas em digitais, tarefa que consome muito tempo e de custo elevado. O

processo de conversão de dados a partir de mapas em papel para arquivos em computador designa-se por digitalização. A tecnologia SIG mais moderna permite automatizar este processo de forma completa para grandes projetos, utilizando tecnologia de "scanning"; projetos de menor dimensão poderão requerer digitalização manual (em tela ou utilizando uma mesa digitalizadora).

As informações são provenientes de diversas fontes, como por exemplo fotografias aéreas, imagens de satélite, folhas topográficas, mapas, relatórios estatísticos e outras fontes de informação.

Este módulo é responsável tanto pela entrada e atualização dos dados não espaciais (atributos) das entidades geográficas, quando pela entrada da localização geográfica e outros dados espaciais dessas entidades. A entrada dos dados espaciais é muitas vezes feita a partir da digitalização (usando a mesa digitalizadora) de mapas analógicos (em papel), mas atualmente esse método vem sendo substituído pela varredura ótica com o uso de um scanner, seguida por um processo de vetorização semi-automática. Isso tem sido possível devido à queda significativa no preço de scanners de alta resolução nos últimos anos, e pela evolução dos softwares de desenho profissionais existentes no mercado nesse sentido.

Ao contrário da cartografia digital (como no CAD), onde a simbologia gráfica utilizada para representar as entidades é definida previamente ao trabalho de edição, o SIG exige apenas que as entidades geográficas sejam classificadas utilizando formas primitivas geométricas que mais se aproximam de sua representação no mundo real. As formas geométricas básicas mais utilizadas são ponto, linha e polígono. A simbologia gráfica das entidades no SIG é definida posteriormente com base nos seus atributos, podendo ser alterada com muito mais facilidade.

Vale a pena destacar que nos últimos anos, tem se registrado uma forte tendência, na criação de formatos de arquivos espaciais abertos, ou não exclusivos/proprietários de apenas um desenvolvedor. Anteriormente era muito complicado converter mapas digitais criados em um software para serem utilizados em outro software, porque a estrutura de armazenamento dos dados espaciais de cada software era guardada como segredo da empresa que o desenvolveu. No entanto, o mercado vem exigindo essa facilidade de integração, e hoje existem inúmeros softwares de conversão entre formatos de SIG, além de muitos SIG já serem capazes de ler arquivos em vários formatos.

Uma consequência dessa tendência, é possibilitar que esse módulo de entrada e atualização possa ser delegado a um software de desenho profissional, aproveitando-se do seu custo mais baixo, e deixando a estação do SIG para tarefas mais nobres como a geração da topologia de um mapa e análise espacial. Vários softwares originalmente criados para o desenho técnico, aos poucos procuram incorporar funções de SIG, na tentativa de se inserir nesse novo mercado para aplicações geográficas. O mesmo pode-se dizer de alguns softwares de tratamento de imagens que passam a executar funções, antes exclusivas de SIG na manipulação de imagens raster. Muitas vezes essa combinação revela-se um ótimo casamento, onde os dois softwares executam tarefas complementares, cada um na sua área de excelência.

Hoje já existem muitos dados geográficos em formatos compatíveis com os SIG. Estes dados poderão ser obtidos junto dos produtores de dados e carregados diretamente no SIG. A Internet vem possibilitando o aparecimento de bibliotecas enormes de mapas, como por exemplo o USGS (iniciativa do governo americano) e a própria TerraServer (iniciativa

privada), que tem contribuído para a rápida disseminação da cultura do geoprocessamento nos EUA, com uma enorme redução de gastos para a sociedade, advinda do compartilhamento e reaproveitamento de informações espaciais por todos os usuários, poupando-os da custosa tarefa de digitalização de mapas os mais diversos.

#### ➤ **Armazenamento de dados**

Está relacionado com os dispositivos de hardware destinados a guardar (armazenar) as informações inseridas na fase anterior. Estes dispositivos podem ser: discos rígidos, discos flexíveis, fitas magnéticas, CD's RW, etc.

#### ➤ **Gerenciamento de dados**

Consiste na inserção, remoção e/ou modificação/atualização nos dados, efetuados através de um sistema de gerenciamento de banco de dados. Um banco de dados geográficos armazena e recupera dados geográficos em suas diferentes geometrias, bem como as informações descritivas. Tradicionalmente os SIG's armazenavam os dados geográficos e seus atributos em arquivos internos. Esse tipo de solução vem sendo substituído pelo Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD), para satisfazer à demanda do tratamento eficiente de dados espaciais e não-espaciais (tabelas) cada vez maiores. O uso do SGBD permite com maior facilidade a interligação de banco de dados já existentes com o SIG.

A dificuldade do armazenamento e gerenciamento de dados geográficos advêm não só do grande volume de dados, mais principalmente, da sua grande variação ao longo de uma região. Os SGBDs relacionais atuais têm ainda muita dificuldade de armazenar eficientemente dados tão irregulares. A linguagem de consulta (SQL) deverá ser expandida para incorporar operadores espaciais, e uma estrutura de índices espaciais que permita encontrar rapidamente a localização de entidades a partir de uma consulta definida sobre valores de atributos, e também retornar atributos de entidades existentes em uma localização definida por uma consulta.

#### ➤ **Análise e manipulação de dados**

As análises oferecidas pelo SIG exigem que os dados sejam manipulados de diversas formas. Um SIG deve possibilitar por exemplo, a seleção, classificação, agregação, identificação e derivação de novos dados geográficos, seja através de expressões lógicas de uma linguagem de consulta, ou através da manipulação direta e interativa da interface gráfica.

Os procedimentos operacionais e tarefas analíticas que são particularmente úteis para a análise espacial incluem operações espaciais sobre um único mapa temático, ou sobre múltiplos mapas temáticos, e servem para fazer o modelamento espacial, análise de distribuição espacial de pontos, análise de rede, análise de superfície, dentre outras análises.

A criação de zonas de buffer, por exemplo, é uma operação efetuada sobre um mapa. Enquanto que a sobreposição é feita sobre múltiplos mapas.

O modelamento espacial objetiva construir um modelo que facilite a compreensão de um fenômeno geográfico, além de permitir a projeção futura do seu comportamento com base

em cenários estatísticos. Por exemplo, o fenômeno das inundações, envolve a conjugação de diversos fatores temáticos como a topografia do terreno, a vegetação, o clima, etc.

A análise de distribuição espacial de pontos lida com as relações de proximidade ou de intensidade de algum atributo associado a esses pontos. A autocorrelação espacial de um conjunto de pontos distribuídos espacialmente, é tanto maior quanto mais houverem concentrações densas de pontos em pequenas partes da região total. Essas aglomerações, por exemplo de espécies da fauna, podem indicar a existência de fatores favoráveis a sua sobrevivência naquela região. Na agricultura, um conjunto de amostras de solo retiradas regularmente ao longo de um campo, podem derivar vários mapas temáticos, sendo um para cada um tipo de mineral, representando o seu nível de incidência, facilitando assim, a visualização das áreas mais propícias para o cultivo.

A análise de rede é tradicionalmente exemplificada pelas aplicações de otimização de rotas de frotas de veículos em uma zona urbana. Essa análise se baseia no relacionamento topológico da conectividade entre as feições geográficas.

Existem várias aplicações: análise de melhor caminho entre dois pontos, melhor caminho entre vários pontos, delimitação de área de atendimento com base na distância e no tempo de deslocamento, etc.

A análise de superfície lida com informações espacialmente distribuídas modeladas através de uma estrutura em 3 dimensões. A superfície pode representar uma variedade de fenômenos como população, crime, potencial de mercado, topografia, dentre outras. Existem várias técnicas para a geração dessa superfície. Destacam-se as mais conhecidas: USGS Digital Elevation Model (DEM) e Triangulated Irregular Network (TIN).

#### ➤ **Saída e apresentação dos dados**

Este subsistema é responsável pela saída de dados nos dispositivos periféricos do sistema. É através dele que são feitos os relatórios, os layouts, mapas, tabelas, etc. A apresentação final resultante do processamento pode ser exibida no monitor, impressa em uma impressora ou plotter, ou pode gerar um arquivo para ser utilizado em uma apresentação multimídia.

### **4.4.3 – Banco de Dados**

Um banco de dados pode ser comparado a um arquivo de aço onde são armazenadas fichas com múltiplas informações. Nesta comparação, as gavetas seriam as tabelas, onde você irá concentrar as informações comuns. Dentro das gavetas você tem as fichas. As gavetas são chamadas de registros e o conjunto desses registros é chamado de tabela. O registro é composto por várias informações. Cada espaço alocado para digitação dessas informações é chamado de campo.

#### **4.4.3.1 - Tipos de Banco de Dados**

- **Sequencial** – As informações são armazenadas em registros organizados sequencialmente, um após o outro. Ex.



<i>No do Lote</i>	<i>Endereço do Lote</i>	<i>Proprietário</i>	<i>Endereço do Proprietário</i>
005	Rua Martinésia, 30	José da Silva	Rua Carajás, 55
006	Rua Tapuïrama, 80	José Pereira	Rua Tupis, 120

- **Hierárquico** – Os registros são classificados como pais e filhos. Um registro pai é associado a vários filhos que podem ou não ter seus próprios filhos. Ex.

*Em uma quadra, os lotes são os filhos desta quadra; os filhos dos lotes seriam as edificações.*

- **Rede** – As informações são relacionadas entre si por apontadores. Estes apontadores formam pares de entidades e, de par em par, conseguem expressar relacionamentos do tipo 1 para 1, 1 para vários, vários para 1 e vários para vários. Ex.

- *-1:1 – no ocidente, cada marido só tem uma esposa e vice-versa*
- *-1:n – numa empresa um empregado trabalha num departamento, mas um departamento tem vários empregados*
- *-m:n – um empregado trabalha em vários projetos e cada projeto pode contar com vários empregados*

- **Orientado a objetos** – A unidade fundamental de recuperação e armazenamento de informações passa a ser o objeto. O objeto é uma estrutura de dados que contém, além de suas informações gráficas e alfanuméricas, informações sobre o relacionamento deste objeto com outros objetos.
- **Relacional** – Os diversos arquivos (ou tabelas) são ligados entre si de forma apenas lógica. Cada arquivo contém diversos “ campos “ (ou colunas) e, para se relacionar com outro arquivo, basta que este novo arquivo tenha um destes campos em comum. Ex.

*No arquivo de proprietários, existe o campo “Código do Proprietário”. No arquivo lotes deverá existir também o campo “Código do Proprietário”. Desta maneira as tabelas estão relacionadas.*

#### **4.4.3.2. Estruturas de Banco de Dados**

Uma boa estrutura de banco de dados é a base para a criação de um banco de dados que execute tudo que você espera dele de maneira eficaz, precisa e eficiente.

Os passos básicos para estruturar uma banco de dados são:

- Determinar a finalidade do banco de dados
- Determinar as tabelas que farão parte no banco de dados
- Determinar os campos que são necessários na tabela
- Identificar os campos com valores exclusivos
- Determinar o relacionamento entre tabelas
- Redefinir a estrutura
- Adicionar dados e criar outros objetos de banco de dados

***Determinar a finalidade do banco de dados*** - O primeiro passo na estruturação de um banco de dados consiste em determinar a sua finalidade e como ele será utilizado. É necessário saber que tipo de informação você deseja obter do banco de dados. A partir disso, você pode determinar os assuntos sobre os quais precisa armazenar ocorrências (tabelas) e que ocorrências que você precisa armazenar sobre cada assunto (campos das tabelas). Converse com pessoas que irão utilizar o banco de dados. Discuta sobre as questões que você gostaria que o banco de dados respondesse. Faça um rascunho dos relatórios que você gostaria de produzir. Reuna os formulários atualmente utilizados para registrar os seus dados. Examine bancos de dados bem estruturados semelhantes ao que você está fazendo.

***Determinar as tabelas que farão parte no banco de dados*** - Determinar as tabelas pode ser o passo mais complicado no processo de estruturação do banco de dados. Isso se deve ao fato de que os resultados que você espera do seu banco de dados – os relatórios que você deseja imprimir, os formulários que deseja utilizar, as questões que espera ter respondidas – não, necessariamente, fornecem indicações sobre a estrutura das tabelas que os produzem. Não é necessário estruturar suas tabelas utilizando um banco de dados. De fato, seria melhor fazer um esboço e trabalhar manualmente sua estrutura no papel. Ao estruturar suas tabelas, divida as informações tendo em mente esses princípios fundamentais de estrutura.

- Tabelas não podem conter informações duplicadas, e as informações não podem ser duplicadas entre tabelas.

Quando cada parte da informação é armazenada em uma única tabela, você atualiza em um único lugar. Esse procedimento é mais eficiente, além de eliminar a possibilidade de duplicar entradas que contenham informações diferentes.

- *Cada tabela deverá conter informações sobre somente um assunto*

Quando cada tabela contém ocorrências sobre apenas um assunto, é possível manter informações sobre cada assunto independentemente.

***Determinar os campos que são necessários na tabela*** - Cada tabela contém informações sobre o mesmo assunto, e cada campo de uma tabela contém fatos individuais sobre o assunto a que a tabela se refere. Por exemplo, uma tabela de matrículas pode incluir campos de nome do aluno, endereço, cidade, estado e telefone. Ao projetar os campos de cada tabela, tenha essas indicações em mente.

- Relacione cada campo diretamente com o assunto da tabela
- Não inclua dados derivados ou calculados (dados resultantes de uma expressão)
- Inclua todas as informações necessárias
- Armazene informações em suas menores partes lógicas (por exemplo, Nome e Sobrenome, em vez de somente Nome).

***Identificar os campos com valores exclusivos*** - Para que um SGBD acesse informações armazenadas em tabelas separadas por exemplo, para acessar um aluno com todos os seus dados, todas as tabelas do seu banco de dados devem incluir um campo ou

conjunto de campos que identifique cada registro na tabela. Esse campo ou conjunto de campos é denominado chave primária.

***Determinar os relacionamentos entre tabelas*** - Agora que você já dividiu suas informações em tabelas e identificou campos de chave primária, é necessário informar ao SGBD como apresentar novamente informações correlatas de uma maneira que faça sentido. Para tanto, é necessário definir relacionamentos entre tabelas.

***Redefinir a estrutura*** - Depois de estruturar as tabelas, campos e relacionamentos que você necessita, é preciso estudar a estrutura e detectar qualquer falha que possa ter restado. É mais fácil modificar a estrutura do seu banco de dados agora, do que depois de ter preenchido as tabelas com dados.

Utilize um SGBD para criar as suas tabelas, especificar relacionamentos entre as tabelas e inserir alguns registros de dados em cada tabela. Veja se você consegue utilizar o banco de dados para obter as respostas que deseja. Crie rascunhos de seus formulários e relatórios, e veja se eles apresentam os dados que você esperava. Procure duplicações desnecessárias de dados e elimine-as.

***Adicionar dados e criar outros objetos de banco de dados*** - Quando você achar que as estruturas de tabelas atendem às metas de estrutura aqui descritas, é hora de adicionar todos os seus dados existentes às tabelas. Você poderá criar qualquer consulta, formulário, relatório, macro e módulo que desejar.

O gerenciamento de dados através de um SGBD permite ao software lidar eficientemente com um grande volume de dados característico dos SIG's. Os dados espaciais, pela sua natureza complexa, se adaptam melhor em um banco de dados orientado a objetos. O mais importante de um SIG é a ligação lógica entre o mapa cartográfico e o banco de dados. A mudança no atributo população de um município por exemplo, é refletida automaticamente em uma mapa temático de população daquela região. Da mesma forma se os limites de uma região é alterada, a área daquela região na tabela é automaticamente modificada.

#### **4.4.3.3 - A Importância do Banco de Dados Geográficos**

Os Bancos de dados se tornaram um componente essencial no cotidiano da sociedade moderna. As pessoas interagem rotineiramente com os bancos de dados de maneira espontânea, sem conhecer todas as etapas envolvidas no processo. Um banco de dados é projetado, construído e alimentado com dados que possuem um objetivo específico. Ele possui um grupo provável de usuários e algumas aplicações preconcebidas. Entre os modelos mais conhecidos estão o modelo entidade-relacionamento e modelo orientado a objetos.

Os bancos de dados geográficos distinguem-se dos bancos de dados convencionais por armazenarem dados relacionados com a localização das entidades, além dos dados alfanuméricos e, por apresentarem operações e consultas para localização de um determinado atributo espacial segundo uma definição preestabelecida. Atualmente existem numerosas Sistemas Gerenciadores de Banco de Dados (SGBD) no mercado que permitem criar uma base de dados de acordo com as necessidades de cada usuário. Dentre os mais conhecidos, para uma arquitetura cliente-servidor, utilizando conceitos de banco de dados relacionais,

temos os seguintes: Microsoft SQL Server, Oracle, DB2, PostgreSQL, Interbase, Firebird e MySQL

Sistemas de informação geográfica - GIS e banco de dados representam conceitos afins, no entanto, sua concepção e campo de aplicação são diferenciados. A principal aplicação do GIS refere à integração e modelagem de dados espaciais, enquanto que um banco de dados comum permite consultas, mas sua capacidade de análise espacial é restrita, trata-se de uma ferramenta direcionada principalmente para cadastramento, organização e estruturação da informação.

A estruturação de um banco de dados é o pilar fundamental na construção de um projeto de GIS, trata-se de uma tarefa dispendiosa, tanto no aspecto financeiro quanto pela demanda do conhecimento técnico-científico e tempo. Os dados geográficos são armazenados por meio de entidades gráficas, que representam os elementos do mundo real que se deseja analisar e os dados descritivos, que nada mais são do que tabelas que contêm informações alfanuméricas que descrevem as características das entidades gráficas. Essa representação que se constrói do mundo real é fruto de um processo de interpretação dos elementos que compõem o mundo real e que nos interessam para uma determinada finalidade. Nessa representação utilizamos nossos processos cognitivos que envolvem habilidades de seleção, generalização, simulação e síntese, para expressar nossa percepção do mundo real no computador.

No mundo real ocorrem fenômenos que possuem propriedades, relações e comportamentos específicos e, o ser humano percebe esses fenômenos e os convertem em informações, a partir de percepções são criadas estruturas de dados para representar o mundo real no ambiente computacional onde operam os processos de representação, organização, denominação, codificação e relação.

A qualidade dos dados é outro fator importante a ser considerado. Desde quando esta tecnologia começou a se difundir, em meados de 1980, ficou evidente o abismo que existe entre a tecnologia disponível e a de adequação dos dados existentes. Muitas vezes são criadas bases de dados com qualidade muito inferior ao que é necessário para atender a determinada aplicação.

No Brasil, o principal órgão provedor de dados geográficos é o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o qual fornece cartas topográficas em papel, no entanto a maioria delas, foram elaboradas a partir de levantamentos aerofotogramétricos realizados nas décadas de 1960 e 1970. A partir da década de 1990 empresas privadas e instituições públicas começaram a digitalizar estas cartas topográficas para gerar bases de dados no formato digital, a fim de alimentar os sistemas de informação geográfico, no entanto, muitos destes trabalhos não seguiram critérios técnicos adequados que assegurassem a qualidade dos dados convertidos.

Recentemente, o IBGE vem disponibilizando em seu site, cartas topográficas digitalizadas, com boa qualidade, nas escalas 1:25.000, 1:50.000, 1:100.000 e 1:250.000. No entanto, produtos com escalas maiores, com mais detalhes, ainda são muito difíceis de serem encontrados, existindo apenas em pequenas áreas, normalmente associadas às regiões mais desenvolvidas ou a grandes manchas urbanas do país.

A primeira grande iniciativa de mapeamento dos recursos naturais do território nacional (escala de trabalho 1:250.000, escala de publicação 1:1.000.000) foi executada entre os anos de 1970 e 1985 pelo Projeto RADAMBRASIL, com base em imagens de radar e em vasto

trabalho de campo. A partir de então apenas os biomas Amazônia e Mata Atlântica tornaram-se objeto de programas permanentes de monitoramento da evolução da cobertura vegetal, com base na interpretação de imagens do Satélite LANDSAT.

Devido às transformações na ocupação do território brasileiro, ocorridas sobretudo em função da interiorização ao longo das últimas três décadas, os mapas de vegetação do RADAMBRASIL já não mais refletiam a realidade. A fim de preencher esta lacuna de conhecimento, o Ministério do Meio Ambiente - MMA, em 2006, através de convênios firmados com diferentes instituições do país, elaborou um mapeamento da cobertura vegetal de todos os biomas brasileiros, a partir de imagens LANDSAT obtidas principalmente no ano 2002. No entanto, a despeito da iniciativa desse mapeamento, houve um lapso temporal de 6 anos, período em que não houve nenhum outro levantamento em nível nacional que pudesse oferecer números atualizados sobre o atual estado de desmatamento encontrado nestes biomas. Para enfrentar essa falta de informação, em 2008 foi firmado um Acordo de Cooperação Técnica entre o MMA, o IBAMA e o PNUD cujo objeto é a elaboração e execução do Programa de Monitoramento do Desmatamento nos Biomas Brasileiros por Satélite, com vistas a quantificar desmatamentos de áreas com vegetação nativa e a embasar ações de fiscalização e combate a desmatamentos ilegais nestes biomas.

Uma das principais aplicações dos dados gerados por este Programa é a possibilidade de planejamento e execução da fiscalização, além de se constituir em uma fonte oficial de dados para quantificação do total de desmatamento que ocorre a cada ano nos diversos biomas brasileiros. Servirá também como fonte para definição de metas para redução de taxas de desmatamento além de oferecer uma base de cálculo para o índice de emissões de gases de efeito estufa, que será utilizado para a definição de metas de diminuição de emissões no âmbito do Plano Nacional sobre Mudança do Clima – PNMC.

A proteção e o monitoramento do bioma Amazônico estão entre as prioridades de atuação do IBAMA e dos órgãos estaduais de meio ambiente. No início da década de 1970, o Governo Brasileiro começou a investir na utilização de sistemas de radar e de sensoriamento remoto. Neste sentido, o IBAMA estabeleceu uma parceria com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, para a elaboração conjunta de três sistemas de monitoramento do bioma em território brasileiro, PRODES, DETER e DETEX, os quais vêm contribuindo para o fornecimento de informação no combate ao desmatamento.

O PRODES é o sistema de detecção de desmatamentos que desde 1988 vem calculando as taxas anuais de desflorestamento da Amazônia Legal e é utilizado para o planejamento de ações de longo prazo. O DETER é o sistema de detecção de desmatamentos em quase tempo real, cujos dados são repassados pelo INPE ao IBAMA de 15 em 15 dias desde 2004. As informações geradas servem à produção de documentos indicativos de novas áreas desmatadas, possibilitando uma atuação mais rápida da fiscalização e permitindo interromper os novos desmatamentos detectados ainda em curso. Os dados do DETER e dos PRODES podem ser acessados pela internet, tanto os dados tabulares, como mapas interativos por municípios ou por unidades de conservação. O terceiro sistema é o DETEX, que detecta corte seletivo na Amazônia e que iniciou suas atividades em 2007 em algumas regiões da Amazônia. Seus dados ainda estão em fase de validação e ainda não estão disponíveis para consulta pública.

O INPE, também desenvolve o projeto CANASAT o qual utiliza imagens de satélites para identificar e mapear a área cultivada com cana-de-açúcar gerando a cada ano safra, mapas temáticos com a distribuição espacial da cana. Estes mapas estão disponíveis na

internet no site do CANASAT, onde podem ser feitas consultas sobre a localização dos canaviais, a área cultivada e a evolução do cultivo da cana nos últimos anos tanto por município quanto por estado. Estas informações são utilizadas por diversos setores do agronegócio e do meio ambiente que direta ou indiretamente estão envolvidos com a produção de cana.

Outro programa interessante desenvolvido no Brasil pelo INPE é o de monitoramento de queimadas a partir de imagens de satélites. São utilizadas imagens de satélites que possuem sensores óticos que operam na faixa termal, com destaque para as imagens AVHRR dos satélites polares NOAA-12, NOAA-15, NOAA-16, NOAA-17, NOAA-18, as imagens MODIS dos satélites polares NASA TERRA e AQUA, as imagens dos satélites geostacionários GOES-10, GOES-12, e MSG-2. Os produtos são gerados diariamente e distribuídos gratuitamente pela internet, fornecendo as coordenadas geográficas dos focos de calor, alertas de ocorrência de fogo em áreas de interesse especial, risco de fogo e estimativas de concentração de fumaça.

O Brasil possui também o Projeto SIVAM (Sistema de Vigilância da Amazônia), que integra os meios técnicos destinados à aquisição e tratamento de dados e para a visualização e difusão de imagens, mapas, previsões e outras informações. Esses meios abrangem o sensoriamento remoto, a monitoração ambiental e meteorológica, a exploração de comunicações, a vigilância por radares, recursos computacionais e meios de telecomunicações.

Outras iniciativas no fornecimento de dados, especialmente de sensoriamento remoto, merecem destaque, como é o caso das imagens, dos satélites LANDSAT e CBERS, fornecidas gratuitamente, via internet pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), assim como empresas privadas que comercializam no Brasil dados obtidos pelos satélites SPOT, IKONOS, QUICK BIRD, TERRA, AQUA, ALOS, etc. Cabe salientar também a missão espacial SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) que gerou imagens digitais que representam a topografia de todo o planeta Terra na forma de Modelos Digitais do Terreno (MDT), disponíveis gratuitamente na WEB.

Nos últimos anos, foram desenvolvidos diversos sensores e colocados a bordo de satélites que acompanham os ciclos da natureza e as atividades humanas em diferentes altitudes e com frequência variada. No entanto, essas iniciativas ainda não suprem toda a necessidade de dados geográficos que o Brasil precisa para poder planejar, simular, implementar, monitorar e reavaliar as intervenções humana no meio físico em seu imenso território.

No contexto de Banco de Dados, não podemos esquecer também, da importância que os metadados possuem na difusão e utilização da Geomática. Metadados são definidos como "dados sobre os dados". Os metadados têm um papel muito importante na administração de dados, pois é a partir deles que as informações serão selecionadas, processadas, e consultadas. Os metadados servem para descrever e estruturar, de maneira estável e uniforme, a informação registrada sob diferentes suportes documentais. Existem diferentes tipos de metadados, desenvolvidos em função dos objetivos que se pretende alcançar. O denominador comum nos metadados é a função de controle físico e intelectual dos documentos, visando à acessibilidade imediata e futura.

A utilização dos metadados é ampla, ela se aplica a diferentes situações sempre que um grupo de usuários necessita reconhecer as características de uma parte no todo. Assim, é

fundamental que cada grupo de usuários estabeleça um código ou uma linguagem comum, a ser compartilhada, para que o registro sobre as características de um dado na coleção seja compreensível pelo grupo, que poderá então realizar escolhas adequadas sobre as informações ou produtos desejados. A função de metadados em Geomática é na transmissão de informações fundamentais sobre os dados, ajudando na escolhas dos mesmos, sabendo de suas limitações e potencialidades.

#### **4.4.4 - Aspectos Institucionais de um SIG**

Os cinco subsistemas de um SIG indicam o caminho com que a informação geográfica será processada, mas não garantem que um determinado SIG será usado efetivamente. Para usarmos efetivamente um SIG necessitamos de um lugar apropriado no contexto institucional e de pessoas qualificadas (Peopleware) para o manuseio do sistema. São necessários grandes investimentos não só na aquisição do hardware e software, mas também em treinamento de pessoal.

A implantação de um SIG em uma organização exige das pessoas participantes neste processo, um aprendizado de vários conceitos de geografia e informática. O software deve maximizar a facilidade de uso, rapidez na aprendizagem, flexibilidade de integração com outros softwares e variedade de funções espaciais, pelo menor custo possível. A equipe deve ser multidisciplinar com mais ênfase em uma ou outra área, dependendo da aplicação.

Por ser um sistema multi-disciplinar e em alguns casos multi-institucional, a implantação de um SIG em uma organização é um processo longo e complexo. É fundamental o apoio político e financeiro dos dirigentes da empresa para que o SIG e as pessoas que trabalham na sua implantação não sejam desacreditadas durante a fase em que os benefícios ainda não começaram a aparecer. Essa fase, dependendo do tamanho da base de dados, pode demorar um ano ou mais. O sucesso da implantação depende em segundo lugar da qualidade e competência da equipe de geoprocessamento, que deve começar por definir um bom plano de implantação com um cronograma de metas onde os resultados desejados, assim como os seus prazos, devam ser bem definidos. É importante procurar adiantar ao máximo algum resultado, como um projeto piloto de uma área reduzida, mas representativa do todo, para servir de vitrine para os mais céticos e garantir a continuidade dos investimentos.

Supondo que o software e hardware escolhidos para a aplicação, foram bem dimensionados para atender as necessidades de toda a implantação e funcionamento inicial do SIG, o último fator determinante para o sucesso é a construção da base de dados. A base chega a custar mais de 80% a 90% do custo total da implantação. Com o passar do tempo a base torna-se mais valiosa enquanto que o software e hardware tendem a depreciar-se. Portanto, todos os esforços devem ser direcionados para reduzir os custos de criação da base sem comprometer a sua qualidade. O erro de precisão nos dados é inevitável em qualquer processo de discretização do mundo real. Mas deve-se trabalhar para mantê-lo num nível aceitável, que não interfira com os objetivos práticos da aplicação.

A implantação de um SIG é um processo de transferência de tecnologia dentro da empresa. Portanto, alguns funcionários da empresa devem participar ativamente de todo o processo, ou os conceitos do SIG não serão totalmente entendidos e assimilados, e o sistema estará fadado ao fracasso logo que a consultoria se desligue da empresa.

Os custos de treinamento e aprendizagem são muitas vezes subestimados ao se planejar a implantação de um SIG em uma instituição. Os SIG's são sistemas complexos, com muitos conceitos de lento aprendizado. Estima-se que o tempo para adquirir eficiência na operação de um SIG seja de seis meses a dois anos de dedicação integral.

A escolha e implantação de um SIG em qualquer instituição deve ser encarada como uma tarefa de médio a longo prazo. A simples aquisição do hardware e software não é suficiente para resolver todos os problemas e o sistema funcionar. A melhor maneira de implantar um SIG é seguir as seguintes etapas: identificação das necessidades do usuário, levantamento detalhado da instituição, detalhamento dos produtos necessários, escolha do sistema de geoprocessamento, execução de um projeto piloto e implantação do sistema propriamente dito.

**Identificação das necessidades do usuário** - trata-se da tarefa mais difícil na escolha e implantação de um SIG. Sem esta etapa estar claramente definida e entendida não se deve prosseguir adiante na implantação do sistema. O usuário deve identificar precisamente as aplicações que atendam o seu universo de atuação.

**Levantamento detalhado da instituição** - deve-se levar em consideração o nível de informatização da instituição, equipamentos, softwares, base de dados existente e qualificação técnica do pessoal.

**Detalhamento dos produtos necessários** - deve-se especificar os produtos cartográficos a serem produzidos (precisão, qualidade, etc.) e necessidade ou não de ligação com banco de dados. Esta etapa é muito importante para a escolha do sistema de geoprocessamento e dos dispositivos de entrada e saída de dados.

**Escolha do sistema de geoprocessamento** - deve atender as necessidades do usuário, identificadas nas fases anteriores. Um bom SIG tem que ser composto por programas de alto nível, genéricos ao máximo, e capazes de preencher as necessidades de cada projeto, mas mantendo sempre um bom desempenho. Tem que ser capaz de operar em ambiente multi-usuário e multi-tarefa, possibilitar a integração de dados oriundos de diversas fontes e nos dois formatos básicos, vetorial e raster, além de possibilitar a ligação com um sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD). Na aquisição de um SIG deve-se levar em conta também o custo do software, hardware e peopleware. Deve-se considerar os problemas de suporte técnico e verificar se o fornecedor tem condições de apoiar o uso operacional do sistema.

**Execução de um projeto piloto** - após a escolha do SIG, o mesmo deverá ser implantado em uma área piloto. Na experimentação, através da execução do projeto piloto é que comprovaremos a qualificação e a funcionalidade do sistema. Todos os usuários devem participar e opinar sobre seu funcionamento.

**Implantação do sistema propriamente dito** - nesta etapa é que o sistema encontra-se operacional, ou seja, está pronto para a execução de todos os serviços especificados na primeira fase e já redimensionados em função do projeto piloto.



## 4.5 – Estrutura de Dados

### 4.5.1 - Os Dados Geográficos no Computador

Ainda que existam várias maneiras de representar os dados espaciais, quase todas as variações produzidas são sobre dois tipos básicos de representação. Uma é a estrutura conhecida como **raster** e a outra **vetorial**. A principal diferença entre estes dois tipos de estruturas está no modelo de espaço que cada uma pressupõe. As estruturas vetoriais se baseiam em um espaço contínuo que se comporta segundo postulados da geometria euclidiana enquanto que, as estruturas raster dividem o espaço geográfico em elementos discretos, requerendo a adoção de uma geometria própria que poderíamos chamar de geometria digital (Figura 3).

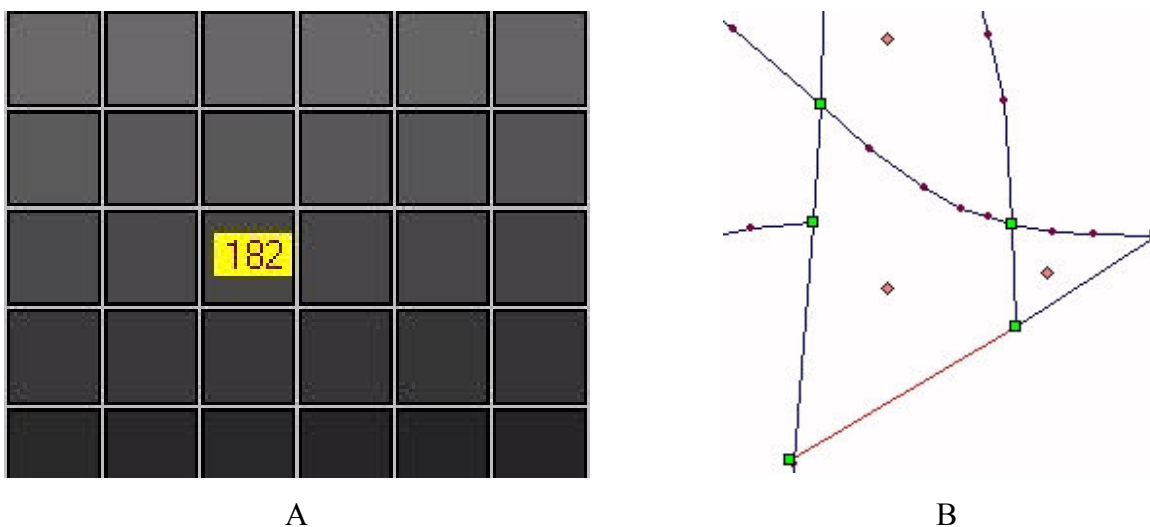


Figura 3 - Tipos de estruturas de dados no computador.

### 4.5.2 - Estrutura de Dados “Raster”

Trata-se do primeiro e mais antigo dos formatos de dados - formato **raster** ou estrutura **grid** (grelha). Esta estrutura se consegue mediante o uso de uma malha quadriculada regular sobre a qual se constrói célula a célula o elemento que está sendo representado. Cada célula corresponde a um elemento ao qual é atribuído um código, de tal forma que o computador sabe a que elemento pertence determinada célula.

Na representação raster cada célula é individualmente integrada ao sistema por suas coordenadas. Torna-se fácil entender, se imaginarmos o espaço assim representado como uma matriz  $p(i, j)$ , composta de  $i$  linhas e  $j$  colunas, onde cada célula tem um número de linha; um número de coluna e um valor correspondente ao atributo estudado. Um ponto é representado por uma única célula. Uma linha é um conjunto de células vizinhas arranjadas numa determinada direção e, uma área é um aglomerado de células (Figura 3A).

A superfície bi-dimensional sobre a qual os dados estão sendo representados não é uma superfície contínua, mas sim discreta. Esse aspecto interfere na avaliação de áreas e

distâncias, principalmente quando o tamanho da célula é grande com relação ao tamanho do fenômeno representado.

A estrutura raster assume que o espaço pode ser tratado como uma superfície cartesiana plana, onde cada célula está associada a uma porção do terreno. A resolução do sistema é dada pela relação entre o tamanho da célula no mapa e a área por ela coberta no terreno. Dados raster são armazenados numa grade, que é referenciada a um sistema de coordenadas (exemplo, latitude e longitude). O tamanho da grade pode variar, contudo a resolução espacial dos dados é determinada pela dimensão da grade.

Pelo fato da estrutura raster usar um plano bi-dimensional, apenas um atributo pode ser representado por vez. Assim, para a representação do mundo real, um conjunto de planos superpostos deve ser usado (Figura 4).

Dados raster são facilmente manipuláveis computacionalmente. No entanto, requerem grande quantidade de espaço (em disco) para o seu armazenamento. Dados digitais de sensoriamento remoto (imagens de satélite) são um bom exemplo de dados no formato raster ou grid.

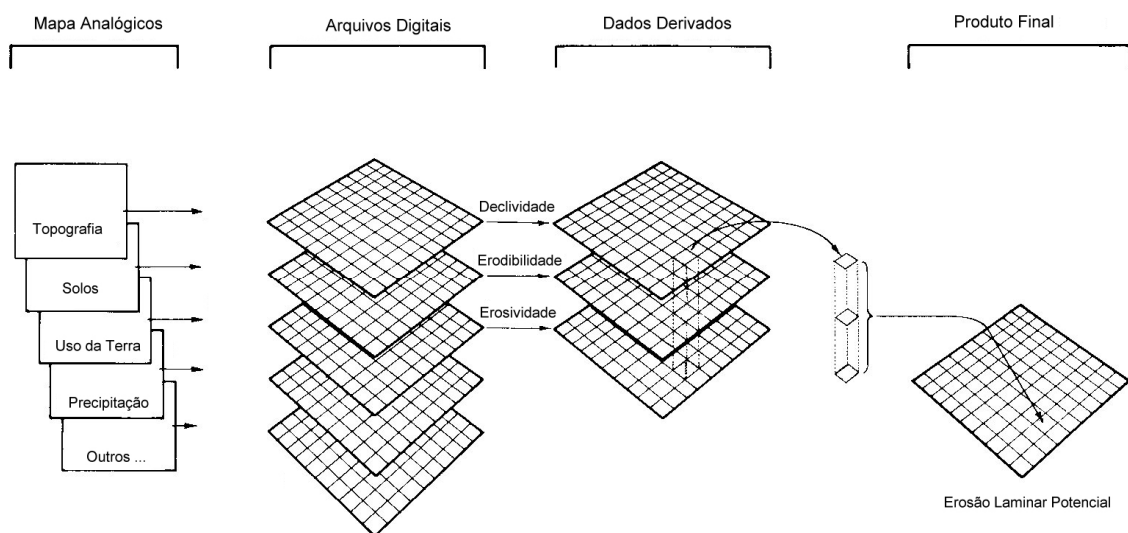


Figura 4 - Espaço tridimensional para representação do mundo real

#### 4.5.3 - Estrutura de Dados “Vetorial”

Os dados geográficos também podem ser representados pelo formato vetorial ou polígono. Neste caso, é usada uma série de pontos (coordenadas x, y) para definir o limite do objeto ou feição de interesse. É uma tentativa de reproduzir um elemento o mais exatamente possível. Assume-se o espaço como contínuo, o que permite que todas as posições, distâncias e áreas sejam definidas com um grau de precisão muito maior (Figura 3B).

Os métodos vetoriais assumem que as coordenadas dos pontos são matematicamente exatas. Além disto, usam relações implícitas, permitindo que dados complexos sejam armazenados em menos espaço no computador. No entanto alguns cálculos são dificultados e consomem um maior tempo para sua resolução.

#### **4.5.4 - Comparação entre as Estruturas de Dados**

A estrutura de armazenamento de dados pode ou não incorporar informações topológicas, descrevendo não somente a posição de um objeto, mas também as relações espaciais entre o objeto e os objetos vizinhos. Informações topológicas são importantes em muitos tipos de análises, incluindo detecção automática de erros, janelamento para análises, apresentação gráfica, aplicações em rede, operações de proximidade, sobreposição de polígonos e outros procedimentos de inserção. No entanto, se sua aplicação não necessita de informações detalhadas sobre as relações entre os objetos espaciais, a criação de uma topologia para tal fim pode dificultar a criação e atualização da base de dados. Por exemplo, uma estrutura vetorial pode ser perfeitamente adequada para tarefas de visualização dos dados.

A tradicional vantagem e desvantagem da estrutura de dados raster versus estrutura de dados vetorial foi bastante documentada por diversos autores. Basicamente isto inclui volume de dados (ou eficiência de armazenamento), eficiência de recuperação, robustez para perturbação, eficiência na manipulação dos dados (ou processamento), acurácia e precisão dos dados e visualização dos dados. Algumas dessas diferenças, no entanto, são menos importantes nas implementações modernas de SIG.

A principal vantagem das estruturas raster está em sua simplicidade, não exigindo programas muito complexos para a manipulação dos dados, facilitando a elaboração de aplicações específicas. O problema no uso desta estrutura refere-se à precisão dos mapas digitais obtidos, uma vez que esta depende diretamente da resolução da quadrícula, acarretando sérias dificuldades na representação de manchas pequenas ou padrões lineares como rios e estradas. A solução nestes casos é o refinamento da malha, porém exige meios de armazenamento mais potentes.

Outra limitação da estrutura raster, quando comparada com a vetorial, refere-se à qualidade visual de apresentação dos produtos finais (mapas), produzidos em impressoras e/ou plotters, assim como a precisão obtida. A estrutura vetorial permite uma apresentação mais adequada dos dados, não só do ponto de vista estético mas também pelo fato de que o produto final assemelha-se muito mais à forma analógica (convencional) de elaboração de mapas.

Os modernos SIG's possibilitam acessar, armazenar, manejar, recuperar e visualizar dados de ambas as estruturas (raster e vetorial), assim como a possibilidade de converter dados de uma estrutura para outra. Normalmente, para o processo de entrada de dados (via mesa digitalizadora) utiliza-se a estrutura vetorial, e para o processo de análise e cruzamento de mapas (temas), a estrutura raster.

#### **4.6 – Aquisição de Dados**

##### **4.6.1 - Fontes de Dados**

Os dados utilizados em um SIG podem ser originários de diversas fontes, que podem ser classificadas genericamente em primárias (levantamentos direto no campo ou produtos

obtidos por sensores remotos) e em secundárias (mapas e estatísticas), que são derivadas das fontes primárias.

No Brasil as principais fontes de dados espaciais (na forma de cópias em papel) são as folhas topográficas em diferentes escalas editadas pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (FIBGE) e pela Diretoria do Serviço Geográfico do Exército (DSG). Tais documentos fornecem informações planialtimétricas de quase todo o território brasileiro, em diferentes escalas.

Outra excelente fonte de informação são os produtos obtidos pelos sensores remotos, especialmente as imagens (digitais e/ou em papel) obtidas pelos satélites da série LANDSAT, SPOT, ERS, CBERS, TERRA, AQUA e RADARSAT adquiridas e comercializadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), assim como fotografias aéreas pancromáticas e coloridas obtidas por diversas empresas de aerolevanteamento existentes no País e também nas mais variadas escalas.

Nos dias de hoje o GPS (Sistema de Posicionamento no Globo) é certamente a novidade mais espetacular no campo da cartografia. Ele nos possibilita calcular com precisão de centímetros, a posição geodésica de um ponto qualquer na superfície terrestre, sem ser necessário usar a rede de representação geodésica existente.

O sistema GPS que tem-se destacado é o NAVSATAR (Navegation Satellite Timing and Ranging) . O sistema é composto por 24 satélites, com órbita circular, altitude de 20.000 Km e período de revolução de 12 horas siderais. Esses satélites emitem um sinal em dois comprimentos de ondas, no solo, um estação móvel, de pequeno porte, recebe os sinais. A posição no solo pode ser calculada em três dimensões, desde que receba o sinal de quatro satélites.

O princípio de funcionamento do GPS é simples. Conhecendo-se a posição no espaço de cada satélite no momento da emissão do sinal, basta então medir o tempo de percurso entre a emissão do sinal e a sua recepção em um determinado ponto no solo. Esta medida de tempo é particularmente precisa ( um relógio atômico é colocado a bordo do satélite e outro dentro da estação). Além disso, é feita uma comparação entre a frequência do sinal emitido com a frequência do sinal recebido. A diferença de frequência indica a velocidade relativa do satélite com a estação, obtida através do efeito Doppler. A distância entre o satélite e a estação é então obtida multiplicando-se a velocidade da luz pelo tempo decorrido entre o momento da emissão do sinal e o momento de sua recepção na estação, corrigido do efeito Doppler.

A precisão do sistema depende do modo de utilização. Os chamados GPS de navegação oferecem uma precisão que varia de 10 a 20 metros, enquanto os sistemas GPS mais sofisticados podem oferecer uma precisão de um centímetro para 10 Km e 25 cm para 1.000 Km. No entanto, esta precisão pode ser melhorada através da utilização de receptores de bifrequência, que permitem corrigir as deformações do sinal através da ionosfera ou, pelo conhecimento da posição do satélite em relação a sua órbita pré-determinada.

Uma vez que todos os dados necessários foram coletados, os mesmos devem ser registrados em uma base cartográfica comum. Essa etapa pode ser cara, consumir uma enorme quantidade de tempo e ser frustrante. Porém, técnicas de análise, tais como sobreposição, modelagem e análise de redes não podem ser iniciadas antes desse processo ter sido completado. O conhecimento de como cada mapa é criado é de fundamental importância para

o sucesso econômico do SIG. Antes de um novo dado ser coletado, exaustivas pesquisas deverão ser feitas de forma a verificar se não existem dados que o substituam.

Os dados espaciais são a essência de qualquer SIG. 80 a 90 por cento do dinheiro e esforço requerido para um SIG funcionar é usado para aquisição, entrada, atualização e manipulação de dados. Portanto é imprescindível que o usuário do SIG tenha um bom entendimento de todos os aspectos relacionados com a aquisição e manipulação dos dados, antes de aprender a usar o sistema. Um importante aspecto em dados espaciais é o registro da superfície. Falhas no registro da base de dados espaciais podem causar sérios problemas nos estágios de análise e avaliação desses dados. Portanto, é de fundamental importância entender bem esse processo. Disciplinas como a Geografia e ciências da terra têm geralmente dedicado menos atenção à localização precisa no registro da superfície. Por exemplo, no caso do registro de uma base de dados cadastral para diversos usos (multifinalitário), problemas de localização precisa de feições da superfície podem representar sérios inconvenientes durante a análise nos últimos estágios do projeto.

#### **4.6.2 – Fontes de Erros e Qualidade dos Dados**

Para o efetivo uso de qualquer SIG é importante que o usuário conheça os erros associados com a informação espacial. Estes podem ser divididos em três grupos: erros comuns, erros resultantes de variações naturais ou de medidas originais e erros de processamento.

##### **4.6.2.1 - Erros Comuns**

São erros mais diretamente associados ao controle do usuário e, mais fáceis de serem checados. Os erros mais comuns estão relacionados a: idade dos dados, cobertura areal (parcial ou total), escala do mapa/carta, densidade de observação, relevância, formato, acessibilidade e custo.

**Idade dos dados** - São raras as vezes em que todos os dados são coletados ao mesmo tempo, para uso em um determinado projeto. Muitos planejadores e agências ambientais são forçados a usar dados publicados na forma de mapas e/ou relatórios, os quais não necessariamente são os mais recentes. Como exemplo podemos citar os produtos obtidos por sensores remotos (fotografias aéreas e imagens de satélite), as quais estão quase sempre desatualizadas quando chegam à mão do usuário.

**Cobertura areal** - É desejável que, quando se estuda uma determinada área (bacia hidrográfica, distrito, município, estado, país, etc.), se tenha uma cobertura uniforme de informações. Frequentemente isto não acontece. Em muitas regiões, para cobrir toda a área a ser estudada, o pesquisador tem que recorrer a dados obtidos em diferentes datas e até mesmo em escalas diferentes.

**Escala do mapa/carta** - Muitos dados geográficos têm sido gerados e armazenados na forma de mapas temáticos e somente nos últimos anos o desenvolvimento dos sistemas de informação digital tornaram possível colocar a disposição dos usuários as observações de campo, originais, para futuros processamentos (principalmente nos países mais desenvolvidos). Mapas de grande escala não somente mostram mais detalhes topológicos (resolução espacial), como normalmente possuem a legenda mais detalhada. Por exemplo, um

mapa de solos na escala de 1:25.000 apresenta mais detalhes (tanto topológicos quanto de legenda) do que um na escala de 1:250.000.

**Densidade de observações** - A densidade de observações na elaboração de um mapa pode fornecer o grau de confiabilidade dos dados. Resultados de pesquisa demonstram que se aumenta a confiabilidade e a precisão dos dados, utilizando-se técnicas geoestatísticas para se estimar o número de amostras, por área, necessárias para a elaboração do mapa em função da escala desejada.

**Relevância** - Nem todos os dados usados para o processamento da informação geográfica desejada são diretamente relevantes para o propósito com que eles são usados. No entanto, eles foram usados porque os dados desejados não existem ou porque a coleta dos mesmos é muito cara.

**Formato** - Três aspectos no formato dos dados são importantes. O primeiro está relacionado com os aspectos técnicos de como os dados serão gravados (fitas magnéticas, DVD, PEN DRIVE, HD Externo, etc.) para serem transferidos para o computador. Isto inclui considerações como: tamanho dos blocos, número de trilhas, bits por polegada, tipo de caracteres usados, tamanho dos registros, etc. O segundo aspecto está relacionado à forma com que os dados estão arranjados ou, em outras palavras à estrutura dos dados. Por exemplo, se os dados estão na estrutura raster e/ou vetorial. O terceiro aspecto está mais relacionado aos dados e refere-se a escala, projeção e classificação.

**Acessibilidade** - Nem todos os dados são igualmente acessíveis. Por exemplo, em função de problemas militares, dados sobre recursos do solo e subsolo, especialmente em escalas grandes, não são disponíveis em alguns países. Outros problemas de acessibilidade referem-se ao custo e ao formato dos dados.

**Custo** - A coleta e entrada de dados novos ou a conversão e reformatação de dados antigos pode custar muito dinheiro. Custos de digitalização (entrada) assim como de impressão (saída), em equipamentos de alta qualidade, são extremamente altos.

#### 4.6.2.2 - Erros de Variações Naturais ou de Medidas Originais

Estes erros estão relacionados com a variabilidade da informação espacial e a correspondente acurácia com que foi adquirida. Esse tipo de erro normalmente é detectado quando se estiver trabalhando intimamente com os dados. Esses erros podem ser de: acurácia posicional, acurácia do conteúdo, fontes de variações nos dados.

**Acurácia posicional** - A importância da acurácia posicional nos dados geográficos depende fundamentalmente do tipo de dado. As folhas topográficas são normalmente levantadas com alto grau de acurácia posicional, que é apropriada para uma boa definição de objetos tais como estradas, casas, limites de parcela de solo, e outras feições que são registradas. Com as modernas técnicas de levantamento eletrônico, a posição dos objetos na superfície da Terra pode agora ser registrada com acurácia de centímetros. Em contraste, a posição dos limites de vegetação, por exemplo, é variável, pois estes dependem muito do microclima e dos regimes hídricos. Erros posicionais podem também ser resultados do processo de digitalização.

**Acurácia do conteúdo** - A acurácia do conteúdo do problema pode estar ligada aos atributos dos pontos, linhas e área na base de dados geográfica, a qual pode ou não estar correta. Nós podemos fazer uma distinção entre uma acurácia qualitativa, a qual se refere às variáveis nominais ou rótulos (por exemplo, a área em um mapa de uso do solo pode estar codificada erradamente, onde era milho, temos soja) e a acurácia quantitativa, que se refere a um erro na estimação do valor assinalado (por exemplo, um erro na calibração de um planímetro pode estimar erroneamente o valor da área).

**Fontes de variações nos dados** - Variações podem ocorrer nos dados geográficos devido a vários fatores. Podemos ter diversos tipos de erros: erros resultantes de enganos na entrada de dados, erros de medida, erros na coleta dos dados no campo, erros de laboratório e erros devido a variações espaciais e qualidade do mapa.

- *Erros resultante de enganos na entrada de dados* - são os mais comuns, embora nas fontes originais estes possam estar corretos.

- *Erros de medida* - poucos dados podem resultar em dados sem confiança, sem exatidão ou observações tendenciosas.

- *Erros na coleta dos dados no campo* - um bom procedimento de coleta dos dados no campo e uma padronização adequada dos mesmos ajudam a reduzir observações incorretas.

- *Erros de laboratório* - esse tipo de erro está associado principalmente à qualidade e precisão dos equipamentos usados, bem como dos procedimentos de análise empregados.

- *Erros devido a variações espaciais e qualidade do mapa* - muitos mapas temáticos, principalmente os que representam fenômenos ou feições naturais como solo ou vegetação, não mostram fontes de variações localizadas (específicas). Consideram as diversas categorias homogêneas, quando na maioria das vezes isto não acontece.

#### **4.6.2.3 - Erros de Processamento**

Erros de processamento são aqueles inerentes às técnicas usadas para a entrada, acesso e manipulação da informação espacial. São erros mais difíceis de serem detectados, requerem um íntimo conhecimento não só dos dados, mas também da estrutura de dados e dos algoritmos usados. Podem ser subdivididos em: erros numéricos no computador, falhas associadas com análises topológicas e problemas de classificação e generalização.

**Erros Numéricos no Computador** - Referem-se às limitações do computador na representação de números. A habilidade do computador em processar e armazenar as informações com o nível de precisão requerido ainda é um aspecto crítico na maioria dos computadores. A precisão tem importantes consequências no registro de números, operações aritméticas e armazenamento de dados e depende basicamente do computador que se está usando. Números pequenos e/ou com muitas casas decimais podem apresentar diferentes resultados em diferentes computadores. Além do mais, muitos sistemas usam o formato raster para processamento. Isto causa problemas de acurácia na estimativa de áreas, perímetros e distâncias.

**Falhas associadas com análises topológicas** - Muitos procedimentos comumente usados no processamento da informação geográfica assumem implicitamente que: as fontes de dados são uniformes; os procedimentos de digitalização são infalíveis; sobreposição de mapas é meramente uma questão de interseção de limites e reconexão de linhas e/ou redes; os limites podem ser facilmente definidos e desenhados; qualquer algoritmo pode ser aplicado; e os intervalos de classe definidos por uma ou outra razão natural necessariamente são os melhores para todos os atributos mapeados. Essas idéias nem sempre são verdadeiras ou corretas. Isto tem apresentado grandes dificuldades técnicas para os projetistas do SIG, mas raramente estes problemas têm sido resolvidos.

**Problemas de classificação e generalização** - Muitas irregularidade na entrada de dados em um SIG são também atribuídas aos métodos usados para classificação e interpolação de dados, ou seja, aos procedimentos usados para transformar um dado pontual em areal. A generalização cartográfica é o processo de transformação dos dados geográficos em uma representação gráfica em determinada escala com um propósito particular mantendo a clareza, simplicidade e a confiabilidade nos dados. É uma componente essencial na criação de representações cartográficas. Quando produzimos um mapa em pequena escala a partir de um mapa gerado com uma base cartográfica de grande escala ou, quando mudamos o propósito do mapa enfatizando diferentes conteúdos, necessita-se tomar a decisão de que feições deverão ser mantidas e que feições serão suprimidas. A regra mais importante no processo de generalização é a que preserva a estrutura básica e características dos dados geográficos mantendo sua legitimidade. A generalização é necessária quando o conteúdo do mapa excede a capacidade de representação gráfica, isto envolve uma série de operações desde a escolha do conteúdo apropriado do mapa até um reagrupamento ou rearranjo das feições do mapa em relação as possibilidades da apresentação gráfica.

#### **4.7 – Manipulação e Análise de Dados**

As técnicas de extração de informações numa base de dados armazenada num SIG podem ser subdivididas em técnicas de manipulação e técnicas de análise de dados. As funções de manipulação de dados referem-se às técnicas que envolvem o manuseio de objetos para um propósito particular e as funções de análise dados referem-se às técnicas que envolvem os princípios gerais de sobreposição e cruzamento de dados.

##### **4.7.1 - Manipulação de dados**

Dentre as principais técnicas de manipulação podemos citar: mudança de projeção, mudança de escala, remoção de distorções (correção geométrica) e a rotação e/ou translação de coordenadas.

**Mudança de escala** - Na definição de um projeto, utilizando SIG's, o primeiro parâmetro a ser definido é a escala de trabalho. A definição da escala de trabalho é muito importante para dimensionar o grau de detalhamento da coleta dos dados para elaboração dos mapas básicos (folhas topográficas, mapas de solos, mapas de cobertura vegetal, etc.). Geralmente se utiliza mapeamentos básicos já existentes para criar a base de dados nos SIG's. Nesse caso, a escolha da escala de apresentação dos resultados irá depender exclusivamente da escala dos mapas básicos, ou seja, a escala de apresentação deverá ser menor ou igual a escala dos dados originais. Alguns SIG's apresentam a possibilidade de se armazenar as



informações em várias escalas diferentes, conservando a resolução espacial dos dados originais.

**Remoção de distorções** - Consiste em aplicar uma função matemática através da qual as coordenadas de cada ponto do mapa são recalculadas. Um dos problemas mais freqüente de remoção de distorção é a retificação de imagens de satélite, feita através do registro de um conjunto de pontos identificados na imagem e no mapa. As coordenadas de cada ponto da imagem são recalculadas através das coordenadas dos pontos registrados.

**Mudança de projeção** - Objetiva converter dados espaciais, representados segundo um determinado sistema de projeção cartográfica, para um outro sistema de projeção. Este tipo de conversão geralmente é requerido na fase de importação ou exportação de dados de um SIG para outro, ou quando deseja-se particionar ou juntar mapas.

**Rotação/Translação de coordenadas** - A rotação de coordenadas consiste em rotacionar o mapa em relação ao sistemas de coordenadas. A translação de coordenadas consiste simplesmente em acrescentar um dado valor nas coordenadas dos pontos.

Geralmente as operações de manipulação são feitas antes de executarmos operações de análise, uma vez que necessitamos de corrigir as distorções, exibir os mapas no sistema de projeção e escala de interesse antes de efetuarmos as análises de interesse.

#### **4.7.2 - Análise de Dados**

As técnicas de análise geográfica consistem em operações espaciais primitivas, que podem ser aplicadas a um ou mais planos de informação com objetivo de criar novos planos de informação ou de calcular medidas. A combinação destas operações são feitas, na sua maioria, utilizando os recursos da Álgebra Booleana, o que requer o conhecimento básico da Álgebra Booleana.

##### **4.7.2.1 - Álgebra de Boole**

A Álgebra Booleana utiliza os operadores lógicos de interseção (**E**), união (**OU**) e negação (**NÃO**). A lógica da álgebra de boole é representada visualmente na forma de diagramas de Venn (Figura 5).

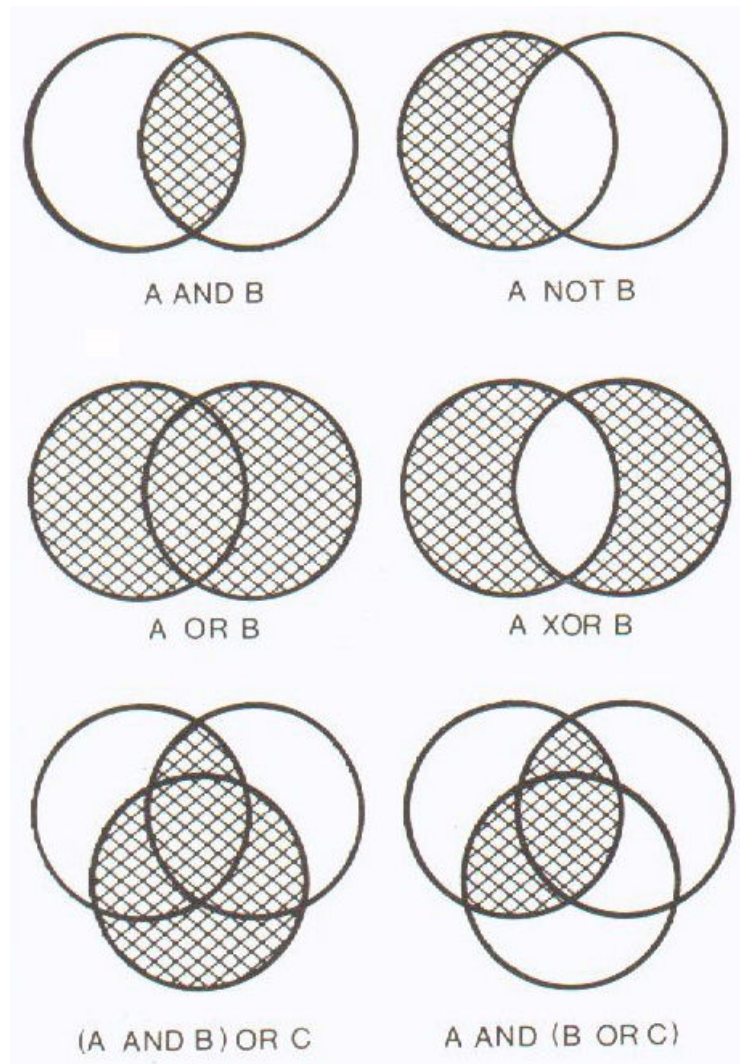


Figura 5 - Diagrama de Venn mostrando os resultados da aplicação da Álgebra de Boole para a interseção de dois ou mais conjuntos.

O resultado da aplicação de dois ou mais operadores lógicos entre dois ou mais conjuntos pode ser verdadeiro ou falso, conforme mostra o Quadro 1.

Quadro 1 - Operações booleanas entre dois conjuntos: A e B.

A	B	NÃO B	A E B	A OU B	(A NÃO B) OU (B NÃO A)
1	1	0	1	1	0
1	0	1	0	1	1
0	1	0	0	1	0
0	0	1	0	0	0

1 é verdadeiro e zero é falso.

Seja **A** o conjunto de itens com atributo a, e **B** o conjunto com atributo b, tendo as seguintes afirmações:

**A e B**, **A ou B**, **(A não B) ou (B não A)**, **A não B**

O resultado destas operações irão retornar os itens que têm atributos combinados cobertos pelas porções sombreadas nos respectivos diagramas de Venn. Por exemplo, numa base de dados de unidades de mapeamento de solos, cada unidade de mapeamento pode ter atributos descrevendo textura e pH do solo. Se **A** é o conjunto de todas as unidades do tipo de solo que tem uma textura argilosa, e se **B** é o conjunto de todas as unidades de mapeamento que tem um pH superior a 7,0, então os agrupamentos de afirmações lógicas serão as seguintes:

$X = (A \text{ e } B)$  encontra todas as unidades de mapeamento que tem um solo de textura argilosa e pH superior a 7,0 combinados;

$X = (A \text{ ou } B)$  encontra todas as unidades de mapeamento que tem um solo de textura argilosa, ou pH superior a 7,0, ambos separadamente ou a combinação;

$X = ((A \text{ não } B) \text{ ou } (B \text{ não } A))$  encontra todas unidades de mapeamento que tem um solo de textura argilosa e pH superior a 7,0, excluindo a interseção de um com o outro;

$X = (A \text{ não } B)$  encontra todas as unidades de mapeamento que tem um solo de textura argilosa com o pH igual ou inferior a 7,0.

Nas operações Booleanas geralmente são utilizados parênteses para indicar claramente a ordem das operações. Se no exemplo anterior, o conjunto C representasse todas as unidades de mapeamento de solos mal drenados, então teríamos:  $X = ((A \text{ e } B) \text{ ou } C)$  retorna todas as unidades de mapeamento que tenha solos de textura argilosa e que tenha pH superior a 7,0 ou todos os solos mal drenados.

#### 4.7.2.2 - Principais Operações de Análise de Dados

As operações de análise mais comuns nos SIG's podem ser subdivididas em: reclassificação, sobreposição, ponderação, medidas, tabulação cruzada, análise de vizinhança, análise de rede e consulta a banco de dados geo-referenciado.

**Reclassificação** - A reclassificação dos dados é feita geralmente quando se necessita de melhorar a apresentação visual dos dados ou quando os atributos dos dados originais não são apropriados para a análise do problema em questão. Por exemplo, as categorias dos tipos de rochas de mapas geológicos podem ser muito detalhadas para um propósito particular, como no caso em que um Engenheiro Civil necessita saber se um determinado terreno é apropriado para construção de uma barragem. Nesse caso, as classes de rochas do mapa geológico poderiam ser reagrupadas em menor número, indicando as áreas aptas, aptas com restrição, e áreas inaptas para a construção de barragens. Um outro exemplo é a reclassificação de mapas de uso da terra.

**Sobreposição** - Frequentemente se deseja extrair dados de dois ou mais mapas (por exemplo, deseja-se saber onde um tipo de uso ocorre num tipo particular de solo). A informação de solo estará contida num mapa, e a informação de uso do solo em outro. O método clássico de resolver este problema é fazer uma cópia em transparência de cada mapa e através de uma mesa de luz traçar em papel transparente as áreas correspondentes. Isto é um processo que consome muito tempo além de ser impreciso. No entanto, através da aplicação dos operadores lógicos da Álgebra de Boole, os SIG's oferecem a facilidade de realizar a superposição de dois ou mais mapas. Por exemplo, suponha que desejamos conhecer áreas indicadas para preservação ambiental em uma microbacia hidrográfica. A partir dos mapa de

cobertura vegetal e uso antrópico, de declividade e de solos, da microbacia, podemos definir as áreas indicadas para preservação permanente como as áreas que tenha uma declividade forte (>10%) ou que sejam cobertas por mata ou cerrado ou que tenha presença de solos hidromórficos. Na prática este problema é solucionado através da álgebra booleana, ou seja, o mapa final (X) é definido seguinte expressão lógica:

$$X = (A \text{ ou } B) \text{ ou } C \text{ ou } D$$

onde:

A = Categoria de cerrado no mapa de cobertura vegetal natural

B = Categoria de mata no mapa de cobertura vegetal natural

C = Categoria de declividade forte

D = Categoria de solos hidromórficos

X = Áreas indicadas para preservação ambiental.

**Ponderação** - Operações de ponderação consistem em gerar um mapa a partir da média ponderada dos planos de informação contidos na base de dados (solos, relevo, geologia, cobertura vegetal, etc.). Um exemplo típico de ponderação é a geração de mapas de aptidão agrícola das terras, a partir de vários planos de informação. O valor de cada classe do mapa final pode ser definido como o somatório ( $\Sigma$ ) do produto dos pesos ou pelo produtório (P) do produto dos pesos, ou seja:

$$V = \Sigma (PI \cdot PC) \quad \text{ou} \quad V = P (PI \cdot PC)$$

onde:

PI = Peso de cada plano de informação

PC = Peso de cada categoria

V = valor de cada categoria no mapa final.

Partindo-se dos mapas de cobertura vegetal e uso antrópico, de declividade e de solos da de uma determinada microbacia, e através de uma operação de ponderação dos três mapas (atribuição de um peso para cada mapa e para cada categoria dos respectivos mapas), determinou-se as áreas inaptas, com aptidão boa, moderada e fraca para a cultura da soja. O Quadro 1 mostra o produto dos pesos das categorias pelos pesos dos mapas e o Quadro 2 mostra os valores encontrados para cada classe de aptidão das terras para plantio da soja.

Quadro 1 - Média ponderada dos pesos dos mapas de declividade e de solos pelos pesos de suas respectivas categorias

Plano de Informação	Categoria	Peso	Produto dos pesos
Solos (Peso = 50%)	LV	3	3x50= 150
	LE	3	3x50 = 150
	SH	0	0x50 = 00
	0 a 2	3	3x30 = 90
Declividade (Peso=30%)	2 a 5	2	2x30 = 60
	5 a 10	1	1x30 = 30
	> 10	0	0x30 = 00
	Uso antrópico	3	3x20 = 60
Cobertura Vegetal (Peso=20%)	Cerrado Degr.	2	2x20 = 40
	Cerrado	1	1x20 = 20
	Mata	0	0x20 = 00
	Área Urbana	0	0x20 = 00

Quadro 2- Categorias de aptidão para plantio de soja na microbacia obtidas a partir do Quadro 2.

Valores ponderados e normalizados (decliv x solos x Cob. vegetal)/90000	Categorias de aptidão para o plantio da soja
8 e 9	Muito forte
6 e 7	Forte
3, 4 e 5	Moderada
1 e 2	Fraca
0	Inapta

**Medidas** - Existe uma grande variedade de medidas possíveis de serem obtidas utilizando os Sistemas de Informações Geográficas. No caso de dados no formato raster, a precisão das medidas é limitada pelo tamanho da célula; já no caso de dados no formato vetorial a precisão das medidas é limitada pela precisão da localização dos dados armazenados. Os principais tipos de medidas possíveis de serem obtidas através dos SIG's são: distâncias, perímetro, área e volume.

- *Distâncias* - Medidas de distância são importantes em muitas circunstâncias. Pode-se determinar a distância entre duas linhas, dois arcos, dois pontos, ou dois polígonos.
- *Perímetro* - Para dados no formato raster o cálculo do perímetro da área de interesse pode ser feito pesquisando-se o número total de pixels que têm valores de atributos diferentes dos pixels vizinhos (pixels dos limites do polígono). O perímetro é então calculado multiplicando o número de pixels dos limites pelo tamanho do pixel. No caso de dados no formato vetorial, o perímetro é calculado em função do comprimento dos arcos que delimitam o polígono.
- *Área* - O cálculo da área para dados no formato raster é feito multiplicando-se o número total de "pixels" pela área de cada "pixel". Para dados do formato vetorial, o cálculo da área de uma região é feito a partir das coordenadas dos pontos que delimitam a área de interesse.
- *Volume* - Uma das técnicas de cálculo de volume muito utilizada nos projetos de engenharia é o cálculo dos volumes de aterro e de corte de uma seção transversal.

**Tabulação cruzada** - A operação de tabulação cruzada permite calcular a área das interseções entre as classes de dois planos de informação. Geralmente, os SIG's requerem os dados no formato raster para realizar esta operação. Além disso os dados dos dois planos de informação devem ter a mesma resolução espacial, o mesmo número de "pixels" e estarem no mesmo tipo de projeção e coordenadas.

Para variáveis nominais ou ordinais, uma tabulação cruzada compara as classes de dois planos de informação, determinando as áreas de interseção das classes. O Quadro 3 mostra os resultados de uma tabulação cruzada entre os planos de informação de declividade e de uso da terra de uma determinada microbacia hidrográfica.

Quadro 3 - Resultado dos valores de área em **ha** de uma tabulação cruzada entre os planos de informação uso da terra/94 e declividade da microbacia

Categoria de uso da terra	Declividade (%)			
	< 2	2 a 5	5 a 10	> 10
Mata	549.00	96.75	9.25	-
Cerrado	392.50	02.75	1.75	20.05
Cerrado degradado	16375.75	4791.75	1889.75	575.00
Pastagem	29969.75	9207.75	3537.25	565.75
Cultura anual	8185.25	1850.75	524.00	49.75
Cultura irrigada	923.75	783.00	121.50	-
Reflorestamento	9804.75	1247.00	188.50	13.50
Chácara	385.25	-	-	-
Cultura Perene	254.25	55.25	-	-

**Operadores de vizinhança** - Esta função seleciona uma área localizada a uma certa distância de uma feição interesse. Geralmente o usuário pode especificar um critério de distância (raio, cota, etc.) de um objeto contido no plano de informação, e esta função gera um novo plano de informação contendo a zona de impacto em torno do objeto selecionado. Por exemplo, a partir do plano de informação contendo as curvas de nível de uma determinada área pode-se gerar, através dessa função, um novo plano de informação contendo as áreas que estão dentro de um determinado intervalo de altitude. Um exemplo de aplicação da operação de vizinhança é determinação de áreas de proteção ambiental em torno de cursos d'água e de reservatórios.

**Análise de redes** - Existe uma variedade de tipos de análise que são baseadas em redes. As aplicações principais são a determinação de menor caminho, funções de fluxo e hidrologia. A função de análise de rede mais complexa consiste em separar bacias de drenagem, a partir do cálculo da direção de escoamento superficial utilizando os mapas planialtimétricos. Um outro exemplo interessante de análise de rede é avaliar a estrada alternativa para veículos de emergência, baseado na combinação da distância total do caminho, e do congestionamento antecipado, que é dependente do horário do dia.

**Análises estatísticas** - Vários procedimentos estatísticos são comumente utilizados em SIG's, seja para assegurar a precisão dos dados durante o processamento, seja para apresentar um relatório resumido do banco de dados, ou para gerar um novo dado durante as análises. Estes procedimentos incluem:

- *Estatística descritiva* - A média, a mediana, a variância, covariância, etc., dos valores dos atributos dos planos de informação (ou a delimitação de uma área dentro de um plano de informação) são freqüentemente utilizadas para variáveis contínuas. Por exemplo, pode ser necessário conhecer a altitude média de uma área específica, ou a variância da densidade de vegetação num campo.

- *Histogramas* - O histograma de um conjunto de dados é a distribuição da freqüência de ocorrência dos valores dos atributos. Ele nos mostra qual o valor do atributo que tem a maior probabilidade de ocorrência.

- *Valores Extremos* - A localização dos valores máximos e mínimos dos atributos numa área específica é freqüentemente útil. Como um exemplo, em um banco de dados de

batimetria nós podemos necessitar encontrar o local de maior e o de menor profundidade num corpo d'água. Essa informação é também de vital importância no pré-processamento dos dados, para assegurar que valores de entrada no banco de dados sejam aceitáveis.

- *Correlação* - As análises de correlação objetivam calcular a distribuição espacial dos atributos de dois ou mais planos de informação, utilizando geralmente um coeficiente de correlação ou uma equação de regressão linear, quando se trabalha com intervalos ou razão entre variáveis.

**Consulta a banco de dados geo-referenciado** - Um banco de dados geo-referenciado consiste de um banco de dados, onde as informações são referenciadas espacialmente, através de um sistema de coordenadas.

Através do mapa e do banco de dados geo-referenciado (ex. Triângulo Mineiro), armazenados em um SIG, pode-se fazer pesquisas. Por exemplo tomando o exemplo um mapa e um banco de dados geo-referenciado por municípios, pode-se responder às seguintes questões:

- *Quais os municípios que tem uma densidade demográfica igual ou superior a 5 Habitantes por Km<sup>2</sup> ?*

- *Localize no mapa as cidades que estão situada a menos de 60 km de Uberlândia.*

- *Qual a distância entre as cidades de Uberlândia e Uberaba ?*

Além das funções de pesquisas no banco de dados é possível, através do SIG, elaborar cartogramas e localizar determinado dado no mapa.

#### **4.8 – Modelagem Espacial**

Os dados armazenados nos SIG's constituem uma ferramenta útil na geração de modelos para previsão de dados distribuídos espacialmente (precipitação, erosão, escoamento superficial, etc.).

Um modelo é uma estruturação simplificada da realidade que supostamente apresenta, de forma generalizada, características ou relações importantes. Os modelos são aproximações altamente subjetivas, por não incluírem todas as observações ou medidas associadas, mas são valiosos por obscurecerem detalhes acidentais e por permitirem o aparecimento dos aspectos fundamentais da realidade. Desta forma, podemos conceituar modelo como uma apresentação formal de uma teoria que use os instrumentos da lógica, da teoria estabelecida e da matemática. De modo geral, um modelo pode ser definido como uma expressão formal de relações entre entidades definidas em termos físicos ou matemáticos.

Um modelo pode especificar três tipos de variáveis, juntamente com um conjunto de características de funcionamento (ou funções) que unem essas variáveis. As variáveis de entrada são independentes do modelo e permitem que os valores associados a estas variem. As

variáveis de saída, por outro lado, são inteiramente dependentes do modelo, e procuram mostrar as saídas como resultados de características de diferentes entradas. Um modelo pode conter, também, variáveis status que especificam certas condições importantes, mas que são mantidas constantes durante o funcionamento do modelo.

Em geral os modelos são classificados em modelos físicos, analógicos e matemáticos. O modelo físico representa o sistema por um protótipo em escala menor, na maioria dos casos. Os modelos analógicos valem-se da analogia das equações que regem diferentes fenômenos. Os modelos matemáticos ou digitais são os que representam a natureza do sistema através de equações matemáticas, e são os que mais utilizam dados de SIG's.

O desenvolvimento de um modelo envolve a simulação de fenômenos complexos utilizando a combinação de informações espaciais e não-espaciais. Esta abordagem tipicamente requer um especialista na área de conhecimento. Na simulação existe, em geral, três fases que são classificadas como ajuste, verificação e aplicação.

**Ajuste ou calibração** - é a fase da simulação onde os parâmetros devem ser identificados e avaliados. Para se obter os valores dos parâmetros, os métodos se baseiam na disponibilidade dos dados históricos e nas informações sobre as características físicas do sistema.

**Verificação** - é a utilização do modelo já calibrado, com dados diferentes daqueles já utilizados no ajuste. Na verificação é necessário conferir a validade do modelo e do ajuste para as diferentes condições em que o mesmo deverá ser usado

**Aplicação** - é a fase em que o modelo é usado para representar situações onde se desconhece a saída do sistema.

Um bom exemplo de um modelagem espacial é a avaliação de um habitat ideal para determinada espécie animal. Um especialista no assunto poderia utilizar vários planos de informação de vegetação, altitude, declividade, estradas e cursos d'água. O modelo poderia combinar estas informações com um peso para cada plano de informação, definindo áreas próprias e áreas impróprias para preservação de determinada espécie animal.

Uma das grandes aplicações dos SIG's é na modelagem e no desenvolvimento de modelos hidrológicos de bacias hidrográficas para previsão de enchentes. Nestes tipos de modelos as características físicas das bacias hidrográficas (tipo de solo, cobertura vegetal e declividade) são armazenadas no SIG como planos de informação e os dados de precipitação, escoamento e infiltração são as entradas do modelo para calcular a vazão do curso d'água principal. As informações de saída do modelo são então utilizadas para prever situações de impactos, permitindo assim a tomada de medidas preventivas contra esses impactos.

Um outro exemplo prático é a estimativa da perda de solos através da equação universal de perda de solos (USLE), que consiste em estimar a perda anual de solos em uma determinada área partindo das informações dos fatores representativos de clima, erodibilidade dos solos, topografia, uso da terra e práticas conservacionistas.



#### 4.8.1 - Modelos Digitais de Elevação

Qualquer representação da variação contínua de dados físicos no espaço (temperatura, pressão, altitude, população, etc.) é conhecida como modelo digital de elevação (Digital Elevation Models - DEM's) . O termo Modelo numérico do terreno (MNT) é também comumente usado. Esta representação é feita por um sistema de coordenadas (x, y e z), onde o par de coordenadas (x, y) representa a superfície bidimensional e a coordenada "z" representa a variação do dado físico. Os modelos digitais de elevação são utilizados em diversas áreas. Algumas das aplicações básicas de DEM's são as seguintes:

- Armazenamento de dados de elevação para mapas topográficos digitais.
- Problemas de corte e aterro em projetos de estradas e em outros projetos de engenharia civil e militar.
- Visualização tridimensional de formas de terreno para aplicações militares (orientação de sistemas de armamento) e para projetos de terraplanagem.
- Análises de visibilidade entre pontos (aplicações militares e para localização de postes de linhas de transmissão).
- Localização de áreas para construção de represas.
- Análise estatística e comparação de tipos de terrenos.
- Elaboração de mapas de declividade, mapas de aspecto, e para desenhos de perfis, como intuito de auxiliar em estudos geomorfológicos, ou para estimativa de erosão e escoamento superficial.
- Como um fundo para visualização de informações temáticas ou para combinação de dados de relevo com dados temáticos, tais como solos, cobertura vegetal e precipitação.
- Geração de dados para simulação de modelos de imagens do terreno.
- Representar a variação contínua de um atributo, tal como população, níveis de poluição, custo e muitos outros.

A representação da superfície pode ser feita de várias formas. Ela pode ser calculada através de uma equação matemática ou por um conjunto de pontos ou linhas de uma imagem.

O método matemático consiste em calcular uma função tridimensional capaz de representar as formas complexas da superfície com grandes variações de inclinação.

Os métodos de imagem utilizam os modelos lineares e pontuais de representação dos dados. O modelo linear mais utilizado é o modelo digital do terreno gerado a partir de um conjunto de isolinhas. Como as folhas topográficas possuem dados de curvas de nível, elas constituem a principal fonte de dados para geração de modelos digitais de elevação do

terreno. As curvas de nível são armazenadas no SIG utilizando-se mesas digitalizadoras ou scanners. Nos modelos pontuais de imagem, os dados são tratados como uma matriz com grade regular, onde cada célula representada pela coluna *i* e linha *j* armazena o valor do atributo.

Existem uma série de modelos numéricos do terreno (MNT) obtidos por plataformas orbitais e sub-orbitais, com destaque para o SRTM.

A **Missão Topográfica Radar Shuttle(SRTM)** é uma missão espacial que obteve um modelo digital do terreno da zona da Terra entre 56 °S e 60 °N, de modo a gerar uma base completa de cartas topográficas digitais terrestre de alta resolução. O SRTM consiste num sistema de radar especialmente modificado que voou a bordo do Endeavour (ônibus espacial) durante os 11 dias da missão STS-99, em Fevereiro de 2000, para adquirir dados de altimetria estereoscópica. A resolução espacial das células nos dados fonte é de 1 segundo de arco (1"), para os EUA e de 3", para o resto do mundo.

#### **4.9 – Principais Aplicações do Geoprocessamento**

Atualmente à maioria das aplicações das tecnologias de informação geográfica no Brasil, estão ligadas à gestão municipal, ao meio ambiente, ao planejamento estratégico de negócios, ao agronegócio e, a concessionárias e redes.

A Gestão Municipal é uma das aplicações clássicas das tecnologias de informação geográfica, estima-se que cerca de 80% das atividades efetuadas em uma administração municipal (prefeitura) sejam dependentes do fator localização. Para as ações de planejamento urbano, os GIS são capazes de relacionar o mapa da cidade ao banco de dados com as informações de interesse do planejador, por exemplo, é possível relacionar a localização dos postos de saúde e a população atendida, a localização das escolas e os endereços dos alunos em potencial, a pavimentação e as ruas com maior movimento, ou quaisquer outros cruzamentos de dados que dependam da componente espacial. Áreas de saúde pública podem mapear ocorrências de endemias e agir diretamente nos locais onde estas ocorrem, aumentando as chances de sucesso. Para o cadastro imobiliário, é possível relacionar cadastros urbanos com sua localização espacial, com valores cobrados e situação do contribuinte.

Em Meio Ambiente as tecnologias de informação geográfica são muito usada no monitoramento de regiões remotas e distantes, como o caso da região amazônica, na detecção de focos de queimadas/incêndios, nos estudos de impactos ambientais principalmente quando da construção de grandes obras e na fiscalização de áreas desmatadas, etc.

No Planejamento Estratégico de Negócios os recursos oferecidos pelas tecnologias de informação geográfica possibilitam mapear vários fatores fundamentais para o sucesso de um negócio, respondendo a questões como: onde estão os clientes, onde estão os fornecedores, onde estão os concorrentes, entre outros, de forma a permitir às empresas agir e decidir com informações muito mais precisas sobre seus negócios. É crescente a utilização de aplicativos de localização e roteirização para o gerenciamento de pessoas em campo por grandes médios

e pequenos empreendedores, de forma a criar estratégias de competitividade minimizando os custos e ter um controle de todo o processo de logística.

No Agronegócio são várias as aplicações das tecnologias de informação geográfica. O uso de imagens de satélites e *softwares* específicos permite monitorar e prever safras, da mesma forma, o domínio da componente geográfica permite o melhor planejamento no uso da terra, na gestão de bacias hidrográficas e na detecção de pragas. Podem ter também aplicações na agricultura de precisão, através do uso de equipamentos GPS e sistemas GIS, para tratar e analisar os dados coletados no campo, relacionados à avaliação de produtividade agrícola, colocação diferenciada de insumos (pesticidas, herbicidas, fertilizantes e sementes), etc.. Merecem também destaque os esforços desenvolvidos pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária – INCRA, na regularização fundiária em nosso país.

No que se refere a Concessionárias e Redes, os serviços públicos de saneamento, energia elétrica e telecomunicações se utilizam das tecnologias de informação geográfica para relacionar as suas redes de distribuição às demais informações de seus bancos de dados. Particularmente, o mercado de telecomunicações está se aproximando muito da Geomática, criando um novo segmento, chamado de LBS (*Location Based Services*), que pode ser definido como sendo uma solução para um problema dependente de localização (ou o fator localização agregando valor a outros serviços), colocado à disposição em equipamento portátil ou móvel. As soluções de LBS, porém, são projetadas para serem acessíveis através de conexões com ou sem fio, através de *web browsers*, *celulares* e *paggers*.

Cada aplicação apresenta características próprias e requer soluções específicas, pois envolve aspectos diferenciados na produção de dados geográficos, nas metodologias de análise e nos tipos de informações necessárias, no entanto, a maioria destas aplicações são desenvolvidas com algum dos seguintes softwares: ArcGIS, ArcInfo, ArcView, AutoCAD Map, ENVI, ERDAS, GRASS, IDRISI, MAPINFO e SPRING.

#### **4.10 – Softwares mais Usados no Brasil**

Na Internet, pode-se encontrar uma grande variedade de softwares de forma a atender às mais variadas necessidades. Há programas de computador que servem mais ao uso acadêmico, com a finalidade de difundir os conceitos e procedimentos metodológicos desta tecnologia e, outros, mais voltadas a aplicações profissionais, como exemplo: agronegócio, defesa, energia elétrica, telecomunicações, logística, meio ambiente, gestão governamental, etc. A seguir são apresentados alguns dos mais usados no Brasil.

**ArcGIS** - O ArcGIS Desktop é um conjunto de softwares que roda em microcomputadores. São usados para criar, importar, editar, buscar, mapear, analisar e publicar informações geográficas. Quatro softwares compõem o conjunto ArcGIS Desktop; cada um acrescenta um nível superior de funcionalidades, são eles: ArcReader, ArcView, ArcEditor, ArcInfo. Todos os produtos ArcGIS Desktop compartilham a mesma arquitetura, desta forma, usuários de quaisquer um dos softwares ArcGIS Desktop podem compartilhar seu trabalho entre si. Documentos de mapas, dados, símbolos, definições de apresentação dos temas, relatórios, metadados, modelos, interfaces e ferramentas customizadas entre outros, podem ser intercambiados livremente entre os usuários destes softwares. Isto significa que todos os usuários de GIS de uma organização podem se beneficiar de uma única e consistente interface e do mesmo conjunto de funcionalidades e dados, minimizando desta forma a necessidade de

aprender a manipular softwares diferentes na produção de seus resultados. Além disso, os produtos criados no ArcGIS Desktop podem ser compartilhados com muitos usuários por meio de aplicações customizadas com ArcGIS Engine e sofisticados serviços de GIS para Web, por meio do ArcIMS e do ArcGIS Server.

**ArcInfo** - O ArcInfo é o mais completo e extensível software de GIS disponível. Além de incluir todos os recursos disponíveis no ArcView e ArcEditor, o ArcInfo oferece um conjunto de aplicações que permitem ao usuário realizar operações sofisticadas de GIS e conversão de dados. O ArcInfo oferece recursos que permitem aos usuários executar todas as atividades de GIS dentro de um fluxo de trabalho, desde a concepção, modelagem, conversão e tratamento dos dados, às análises espaciais e elaboração de mapas para apresentação. O ArcInfo dispõe de todos os recursos necessários para a criação e o gerenciamento de uma estrutura inteligente de GIS, a partir de uma interface fácil e intuitiva, que ainda pode ser customizada por meio de modelos, scripts e aplicações. Os recursos do ArcInfo permitem ao usuário criar geodatabases por meio da conversão de outros formatos, incluindo CAD ou pela importação de esquemas pré-definidos em ferramentas CASE. O ArcInfo ainda suporta todas as operações administrativas para a manutenção da integridade das bases de dados, inclui a extensão ArcScan, ferramenta para vetorização semi-automática de dados, que pode ser usada na conversão de acervos de plantas digitalizadas. Possui ferramentas exclusivas para automação de tarefas relacionadas a elaboração de mapas cartográficos de alta qualidade.

**ArcView** - ArcView é uma software GIS rico em funcionalidades para visualização, gerenciamento, elaboração e análises de dados geográficos. Com o ArcView é possível entender o contexto geográfico dos dados, permitindo entender relacionamentos e identificar padrões de distribuição espacial. O ArcView é usado com sucesso por milhares de organizações para auxiliar nos processos de análises espaciais e suporte a tomada de decisão. O ArcView é o GIS desktop mais popular do mundo, porque é uma ferramenta de fácil utilização. Com uma ampla variedade de símbolos e recursos cartográficos, ele permite a elaboração de sofisticados mapas. O ArcView torna mais fácil as tarefas de gerenciar e editar dados geográficos. Virtualmente qualquer provedor de conteúdo geográfico é capaz de fornecer dados em algum formato compatível com o ArcView, permitindo que uma maior oferta de dados esteja disponível. O ArcView simplifica a maneira de fazer análises ao permitir que as tarefas de processamento sejam definidas em um fluxo lógico de trabalho. Usuários com algum conhecimento em programação poderão customizar o ArcView a partir de linguagens de programação de mercado.

**AutoCAD Map** - O AutoCAD é uma plataforma GIS de engenharia para a criação e o gerenciamento de dados espaciais. Este produto apresenta as ferramentas do AutoCAD tradicional num ambiente desenvolvido para profissionais de cartografia. Permite integrar vários tipos de dados e formatos gráficos, possibilitando também fazer análises espaciais. O AutoCAD Map é uma solução que oferece precisão em cartografia e uma poderosa ferramenta de análise GIS para os engenheiros, técnicos de planejamento, gestores de infra-estrutura e geógrafos. Possibilita criar, gerir, e produzir mapas, integrar dados de múltiplas fontes e formatos; efetuar análises GIS e produzir mapas temáticos. Possui ferramentas de limpeza de desenhos e simplificadas capacidades de criação de topologias que facilitam a sua utilização. Os usuários podem trabalhar com múltiplos desenhos, e vários usuários podem editar o mesmo mapa simultaneamente. Suporta todos os principais formatos de raster, permitindo a gestão e integração de uma ampla variedade de dados e a utilização de imagens georreferenciadas.

**ENVI** - O ENVI é um *software* de processamento de imagens desenvolvido com a linguagem IDL (*Interactive Data Language*), de quarta geração. Isso lhe garante robustez, velocidade e sofisticação sem necessitar de um equipamento poderoso. A arquitetura aberta do ENVI permite que se obtenha os melhores resultados com imagens fornecidas por sensores de última geração. O livre acesso à linguagem IDL permite que o ENVI possa ser personalizado de acordo com as necessidades do usuário. O ENVI dispõe de funções exclusivas como o visualizador n-dimensional, além de um pacote completo de funções para ortorectificação, elaboração de mosaicos e carta imagem, sofisticadas ferramentas de processamento digital de imagens, visualização e análise de Modelos Digitais do Terreno em três dimensões, dentre outras.

**ERDAS** – O ERDAS Imagine é a solução, modular, da Leica Geosystems, com um pacote de ferramentas de fácil uso para processamento de imagens, sensoriamento remoto e GIS. Com avançadas funções de modelagem gráfica, ortorectificação, classificação e análise de imagens radar, o usuário tem uma ferramenta de construção e execução de sistemas especialistas em classificação, pós-classificação e modelagem avançada em GIS.

**GRASS** - O *Geographical Resources Analysis Support System* é um Sistema de Informação Geográfica de código aberto de processamento de imagens desenvolvido inicialmente pelo Laboratório de Pesquisas do Corpo de Engenheiros de Construção do Exército Norte-americano (USA/CERL), desenhado para uso em atividades de planejamento ambiental e gerenciamento de recursos naturais, com interface para outros *softwares*. É um GIS baseado no formato raster e vetorial, com funções voltadas para processamento de imagens, análise estatística, análise e modelagem espacial, produção de mapas e gráficos e boa interface com banco de dados. Encontram-se também disponíveis funções de digitalização de mapas e conversão de formato vetorial para raster e vice-versa.

**IDRISI** - Desenvolvido pela Graduate School of Geography da Clark University, Massachusetts, baseado no formato *raster* de representação dos dados e executado em microcomputadores com Sistema Operacional Windows. O IDRISI é um *software* que reúne ferramentas nas áreas de processamento de imagens, sensoriamento remoto, GIS, geoestatística, apoio a tomada de decisão e análise e modelagem espacial. O usuário pode desenvolver programas específicos de forma a atender novas aplicações. Utiliza banco de dados externo com interface para o Dbase e Access. Permite a migração de dados para outros *softwares*. Este sistema é indicado para atividades de ensino, pois se trata de um sistema que tem praticamente todas as funções que são normalmente encontradas em um GIS de maior porte, com um custo relativamente baixo.

**MAPINFO** - O MapInfo é um *desktop mapping*, com potencialidades semelhantes às do ArcView, que possibilita a visualização de dados geográficos, a análise desses dados e a impressão de mapas. A linguagem de desenvolvimento associada a este produto é o MapBasic, que permite personalizar o MapInfo e integrá-lo com outras aplicações ou aumentar as suas potencialidades básicas. O MapInfo permite realizar análises elaboradas com as extensões SQL como por exemplo, encontrar um endereço, um código postal, um cliente específico ou outro elemento qualquer; calcular distâncias, áreas ou perímetros; criar ou modificar mapas; etc. Permite trabalhar com uma grande variedade de dados.

**SPRING** - O Sistema de Processamento de Informações Geo-referenciadas, foi desenvolvido pela Divisão de Processamento de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), possui versões em português e espanhol. Construído segundo o estado da arte em técnicas de modelagem e programação, combina uma interface com o usuário

altamente interativa, interface de banco de dados que modela a metodologia de trabalho em estudos ambientais e manipulação unificada de dados espaciais, o que elimina o dilema *raster-vetor*. Integra processamento de imagens, análise espacial e modelagem digital do terreno, além de interface com os bancos de dados. Opera em ambiente UNIX e Windows. É baseado num modelo de dados orientados a objetos, projetado especialmente para grandes bases de dados espaciais, são implementados algoritmos inovadores para segmentação e classificação de imagens por regiões, restauração de imagens e geração de grades triangulares. Os dados geográficos são mantidos em um banco de dados relacional que suporta dados provenientes de sistemas comerciais como Dbase, Ingress e Oracle. O sistema de armazenamento suporta representações matriciais e vetoriais de dados geográficos que permitem armazenar de forma organizada e compacta, diversos tipos de mapas temáticos, imagens aéreas, imagens de satélites e imagens de radar

#### 4.11 - A ligação de SIG à Internet

O cliente, para fazer uma consulta a um SIG através da rede, só precisa ter acesso à Internet e a um *browser* como, por exemplo, o Netscape ou o Internet Explorer. Algum Software de publicação de SIG em rede como, por exemplo, o Autodesk Map Guide. Ainda exige um *plug-in* que é conseguido a partir de um *download*. O *download* do *plug-in* só precisa ser feito da primeira vez que o cliente acede a página HTML onde se encontra a interface do SIG. Um *plug-in* é escrito especialmente para um tipo de dados. Por esta razão, é capaz de guardar esses dados e executar operações sobre eles (ex. *zoom*, *pan* no caso de dados SIG). Um *browser* (sem um *plug-in*) é uma aplicação genérica e só é capaz de lidar com texto e imagens. Ou seja, um *browser* não sabe o que é um arquivo SIG ou um arquivo PDF e, portanto, sozinho não é capaz de os guardar ou fazer alguma coisa com eles. Isto leva a que as aplicações baseadas em *plug-in* se tornem mais rápidas. Cada vez que o utilizador fizer uma consulta diferente, os dados geográficos não têm que ser transferidos outra vez. No entanto, os utilizadores menos conhecedores de informática e das tecnologias subjacentes à Internet normalmente não gostam de entrar no desconhecido e, muitas vezes, preferem desistir de uma consulta a serem obrigados a fazer o *download* de um *plug-in*. Além disso, este *download* é sempre demorado, podendo ainda aumentar a probabilidade de desistência dos interessados. Existe ainda a possibilidade de colocar um SIG na Internet: através de JAVA - JShape

Para o caso de um sistema que não utiliza a tecnologia *plug-in* ou o Java, todas as consultas predefinidas que o cliente fizer na página HTML, são transferidas por rede ao Servidor Web. Por sua vez, o Servidor entra em contacto com a Base de Dados geográficos e com as outras Base de Dados, caso sejam necessários enviando para o computador do cliente, pela rede, a resposta à sua consulta.

**ArcView Internet Map Server** - Para tornar as aplicações geográficas desenvolvidas em ArcView acessíveis na Internet, pode ser utilizada a extensão ArcView Internet Map Server. Esta extensão possibilita colocar mapas numa página *Web* de uma forma simples. Não é necessário programar. A extensão automaticamente cria uma página *Web* contendo o mapa e uma interface com o utilizador interactiva para este explorar e consultar dados relativos ao mapa. O ArcView Internet Map Server permite que se escolha quais os botões e ferramentas que aparecem na página. O utilizador final pode, através de um *browser*, fazer uma série de operações como *zoom*, *pan*, identificação de características de objetos no mapa ou imprimir o mapa. É ainda possível personalizar a página *Web* criada. É simples adicionar texto, imagens, um fundo e *links* para outras páginas editando diretamente a fonte HTML ou utilizando um

outro qualquer programa de autoria. Também é possível realizar uma personalização mais avançada. Por exemplo, utilizando o Avenue, a linguagem de desenvolvimento do ArcView, é possível personalizar o comportamento dos botões e das ferramentas. A extensão ArcView Internet Map Server também inclui um *Applet* Java configurável chamado "MapCafé", desenhado para providenciar uma série de ferramentas standard de mapeamento a utilizar na *Web*. Este *Applet* não só possibilita ver um mapa através da Internet mas também possibilita fazer *zoom*, *pan*, determinar atributos de certos objetos do mapa, localizar *sites* através do mapa ou obter *links* a partir do mapa. Este Java *Applet* pode ser embutido numa página HTML.

A extensão ArcView Internet Map Server utiliza o *Applet* Java MapCafé para realizar a interface dos mapas na página Web. Este *Applet* é transferido automaticamente para o computador do visitante logo que este acede a página que contém o mapa em ArcView. O visitante não tem que instalar nada no seu sistema antes de utilizar o SIG. A extensão ArcView Internet Map Server permite que o SIG ArcView comunique com o Software do servidor Web para responder ao pedido de mapas e dados. Quando alguém visita a página Web que contém o mapa SIG ArcView:

- O utilizador transfere a página *Web* para o seu browser.
- O pedido do mapa é recebido pelo nosso servidor *Web*.
- O servidor *Web* passa o pedido para o ArcView.
- O ArcView gera o mapa e envia-o de volta para o servidor *Web* como uma imagem.
- O servidor *Web* envia a imagem pela Internet ou Intranet para o utilizador.
- O utilizador vê o mapa e começa a interagir com ele. Pedidos adicionais de mapas e dados são enviados para o servidor *Web*, retomando o ciclo.

**MapInfo ProServer** - O Mapinfo Proserver é uma aplicação que, ligada ao MapInfo e ao MapBasic, providencia um ambiente completo para criar de uma forma dinâmica páginas HTML com mapas e dados provenientes do MapInfo.

**Autodesk MapGuide** - O Autodesk MapGuide permite criar, publicar e distribuir mapas e conteúdos relacionados através da sua Intranet e na Internet. No entanto, antes de aceder ao mapa, o visitante tem que fazer o *download* de um *plug-in*. Como já foi dito anteriormente, as aplicações baseadas em *plug-in* tornam-se mais rápidas, uma vez que, cada vez que o utilizador fizer uma consulta diferente, os dados geográficos não têm que ser transferidos outra vez. Este produto tem uma grande desvantagem: apenas pode ser acedido por *browsers* que rodam em ambiente Windows.

### Qual destes produtos utilizar?

Qual destes produtos utilizar? Esta não é uma pergunta com uma resposta simples. Mas existem alguns pontos que podem auxiliar a decisão. Se a aplicação envolve consultas espaciais, devem ser considerados os produtos Internet Map Server da ESRI ou o MapInfo ProServer. Se a aplicação envolve "encontrar endereços", então os produtos referidos da ESRI e da MapInfo são mais apropriados, embora o MapGuide também possa ser considerado. Por outro lado, se a aplicação envolver entidades geográficas com grandes detalhes, então o MapGuide é mais aconselhável. Este produto também apresenta vantagens se a aplicação requer interações intensivas com uma Base de Dados relacional. Se a aplicação tiver que chegar à mais vasta audiência possível, então os produtos Internet Map Server e o MapInfo

ProServer são mais indicados pois assim os mapas também podem ser vistos em *browsers* que corram em sistemas Macintosh e UNIX.

#### 4.12 - Perspectivas Futuras

Já estão sendo estudadas alternativas para tornar o acesso a SIG pela Internet mais rápido. Já existem várias soluções mas nenhuma ideal. As soluções que não se baseiam em Java ou *plug-ins* ainda não permitem fazer consultas muito rápidas pois obrigam a que, por cada consulta, seja enviada toda a informação. As soluções em Java demoram muito tempo no início da consulta devido a todo o código ter que ser transferido. As soluções baseadas em *plug-ins* ainda não estão muito completas e obrigam ao *download* desse *plug-in* na primeira visita, que também demora muito tempo. Cada vez estas soluções estão melhores mas ainda nenhuma atingiu o ponto ideal. Muito trabalho já foi feito mas ainda muito mais trabalho vai ter que ser feito. O futuro vai depender prioritariamente das melhorias nas comunicações, embora também dependa das melhorias do próprio Software.

A maioria dos SIG, embora sejam excelentes ferramentas para trabalhar com dados geo-referenciados, ainda não demonstram a mesma excelência quando trabalham com dados que descrevem fenômenos que variam com o tempo. Isto implica que, para o estudo de sistemas dinâmicos, a maioria dos SIG não seja de grande utilidade. Este problema, de fazer com que os SIG compreendam o conceito do tempo, tem sido tema de investigação nos últimos anos e foi dado o nome de "Temporal GIS, T-GIS". Este é um tema que tem que continuar a ser estudado. Na maioria do Software, a ligação a Bases de Dados tem que passar pela tecnologia ODBC. A tendência é tornar esta ligação cada vez mais simples e direta. No Brasil, ainda vai ter que ser produzida muita informação Geográfica. Embora já exista alguma informação, ela ainda é insuficiente e incompleta. Este fato atrasa o desenvolvimento destes sistemas no nosso país. Embora a maioria das prefeituras e dos órgãos do governo, comecem agora a acordar para o problema, ainda há muito para fazer.

A agilidade no surgimento de inovações tecnológicas, a queda significativa nos preços dos equipamentos e softwares e a formação constante de recursos humanos em universidades tem contribuído significativamente para a disseminação e popularização da Geomática no Brasil.

A grande carência de mapeamento básico e temático em diferentes escalas no Brasil requer o contínuo investimento em técnicas de obtenção de informação, principalmente no uso imagens de satélite e de integração de dados. A demanda crescente por mecanismos que garantam a interoperabilidade será a força motriz da Geomática, tendo como vetor tecnológico e de difusão a internet, aliado ao desenvolvimento de uma nova geração de sensores hiperespetrais e de alta resolução. Saber usar a internet junto com a Geomática é o grande desafio em nosso país, principalmente no que tange a interface de grandes bancos de dados, como mecanismos de acesso e busca da informação, em ambientes amigáveis, sem a necessidade de manter o banco de dados no local. Portanto, investimentos na qualificação de pessoal e no desenvolvimento de metodologias de análise deverão ser permanentes e indispensáveis.

Toda ferramenta é limitada no tocante a sua aplicabilidade e funcionalidade, o mesmo acontece com a Geomática e todas as demais tecnologias que trabalham com dados



geográficos, cada uma delas se aplica a uma função específica que pode em um determinado grau, se sobrepor parcialmente à função da outra. Além da tecnologia em si, o conjunto de dados que às compõem, são determinantes no tipo de aplicação que pode ser implementada, em função das características e da qualidade desses dados.

Mesmo em função das limitações, a Geomática possui um grande potencial a ser explorado, uma vez que ainda é subutilizada, ao mesmo tempo, que esta cada vez mais acessível à população por meio de sistemas amigáveis que procuram suprir as nossas necessidades básicas de localização e deslocamento. Um fator que limita em muito a popularização da Geomática no Brasil, é a carência de dados geográficos no formato digital, estruturados e disponíveis a toda a população. Apesar de existirem esforços de organizações governamentais como é o caso do IBGE e do INPE, o primeiro disponibilizando cartas topográficas em diferentes escalas e dados sócio-econômicos (formato analógico e digital) e, o segundo disponibilizando imagens de satélite, ainda é pouco se comparado com a gama de aplicações que necessitam serem desenvolvidas para suprir todo o território brasileiro.

Ainda hoje, nos deparamos com carências no que tange à disponibilidade de dados geográficos que permitam construir bases consistentes para apoio ao planejamento, por outro lado os avanços no desenvolvimento e disseminação das tecnologias espaciais, sobretudo as imagens de satélite e software livre, para o processamento de imagens e análise espacial, vêm possibilitando a geração de informações que contribuem com a construção de uma base de dados para apoio ao planejamento.

No Brasil convivemos ainda com enormes dificuldades em acompanhar as intervenções humanas no meio físico assim como em coibir e redirecionar alterações indesejadas no uso da terra e cobertura vegetal, como exemplo podemos citar o caso do desmatamento da Amazônia, dada a magnitude e importância no contexto nacional e internacional.

Os avanços tecnológicos das diversas ferramentas ligadas à informática, ao sensoriamento remoto, aos sistemas de navegação por satélite, ao sistema de informação geográfica e a internet, propiciaram ao ser humano reconhecer o espaço geográfico do qual habita, em tempo real, como nunca antes havia tido a oportunidade de observá-lo e conhecê-lo, desde uma escala local até a escala global. Assim, a Geomática têm se consolidado com enorme potencial, pois atualmente, apresenta custo relativamente baixo e os conhecimentos gerados, tornam-se indispensáveis como suporte ao planejamento, permitindo ainda o controle e monitoramento do uso eficiente dos recursos naturais e a conservação do meio ambiente. Entendemos que um dos desafios da Geomática para as próximas décadas será no desenvolvimento e disponibilidade de modelos preditivos de fenômenos espaço-temporais.

A evolução dos Sistemas de Informação Geográfica (GIS) proprietários possibilitou um salto tecnológico no tratamento dos dados dos órgãos públicos que trabalham, com informações geográficas. Com os pacotes disponíveis atualmente para compra, é possível solucionar grande parte dos problemas existentes. Este modelo trouxe vantagens, porém também gerou um sério problema, tornando o Brasil um consumidor de soluções estrangeiras, principalmente americanas, tornando o país dependente de fornecedores de softwares, normalmente com elevados custos de licenciamento.

Altos investimentos têm sido feitos na implantação da Geomática em muitos órgãos públicos, mas os resultados estão longe de ser o esperado. Com o total predomínio de soluções proprietárias, observa-se a criação de “ilhas” nas diversas secretarias dos municípios.

Estas ilhas são formadas, normalmente, por diferentes soluções proprietárias com a total ausência na definição de padrões abertos que visam a interoperabilidade.

A predominância de soluções estrangeiras, tem gerado grande dependência tecnológica e direcionado as empresas brasileiras a investirem basicamente na equipe de vendas, visando colocar no mercado os produtos americanos. Os profissionais da área foram colocados em segundo plano, pois os pacotes estrangeiros já vendem a idéia de uma solução “pré-montada”, deixando de lado a necessidade de um projetista ou de um profissional mais qualificado.

O descompasso existente no Brasil, entre a tecnologia disponível e o que os planejadores efetivamente usam para tomar suas decisões, pode ser justificada pelo ritmo lento com que o conhecimento científico e tecnológico se dissemina entre os técnicos e tomadores de decisão, principalmente pelas deficiências na educação superior e na pós-graduação, o que tem contribuído para o desenvolvimento de vários planos regionais elaborados com base em informações espaciais inadequadas, incompletas, inconsistentes e até mesmo equivocadas. Órgãos governamentais atuam de forma individualizada, realizando, por vezes, o mesmo tipo de tarefa, sem compartilhar o conhecimento obtido e sem otimizar o uso do dinheiro público.

## CAPITULO 5 – SENSORIAMENTO REMOTO

O sensoriamento remoto pode ser definido, de uma maneira ampla, como sendo a forma de obter informações de um objeto ou alvo, sem que haja contato físico com o mesmo. As informações são obtidas utilizando-se a radiação eletromagnética gerada por fontes naturais como o Sol e a Terra, ou por fontes artificiais como, por exemplo, o Radar.

Embora esta técnica venha sendo utilizada desde 1859, quando da descoberta do processo fotográfico, só por volta da década de 1970 o termo sensoriamento remoto foi incorporado à linguagem científica (Fig. 1).

As técnicas de sensoriamento remoto foram amplamente utilizadas durante a primeira e a segunda guerra mundial no planejamento de missões com fins militares. Porém, até então, apenas fotografias aéreas obtidas à média e baixa altitude mereciam destaque.

Em 4 de outubro de 1957, pela primeira vez na história de nossa civilização, um objeto não tripulado foi lançado ao espaço exterior e pôs-se a gravitar em torno da Terra. Na década de 60 deu-se início aos experimentos espaciais tripulados, como por exemplo, a série de espaçonaves Gemini e Apolo, da National Aeronautics and Space Administration (Nasa), o que motivou o desenvolvimento de uma série de sensores com o objetivo de obter informações sobre a superfície terrestre.

Em 1972 os EUA deram um salto e colocaram em órbita o primeiro satélite de sensoriamento remoto com finalidade civil, destinado à obtenção de dados de forma rápida, confiável e repetitiva dos alvos terrestres.

A partir de então, inúmeros outros sistemas de obtenção de dados passivos ou ativos, orbitais ou sub-orbitais foram desenvolvidos, e hoje a enorme quantidade de informações fornecidas por estes sensores nos permite conhecer melhor o nosso planeta, sendo ferramenta indispensável ao inventário, mapeamento e monitoramento dos recursos naturais.

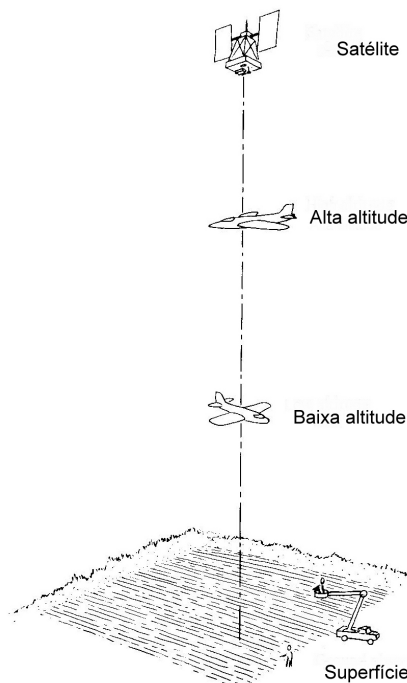


Figura 1 – Sistemas de coleta de dados

No Brasil, o sensoriamento remoto tomou impulso na década de 60 com o Projeto RADAMBRASIL, que tinha como objetivo realizar um levantamento integrado dos recursos naturais do país. Este programa proporcionou o treinamento e especialização de diversos técnicos brasileiros, que até então só conheciam o manuseio de fotografias aéreas.

A extensão do território brasileiro e o pouco conhecimento dos recursos naturais, aliados ao custo de se obter informações por métodos convencionais, foram os fatores decisivos para o país entrar no programa de sensoriamento remoto por satélite.

Hoje inúmeras instituições do país utilizam-se desta tecnologia para obter informações de caráter geológico, geomorfológico, geográfico, pedológico, hidrológico, agrícola, de qualidade ambiental etc. Porém, as dificuldades encontradas por estes técnicos na interpretação dos dados, em virtude da falta de conhecimentos básicos e de literatura em português sobre o tema, levam muitas vezes à sub-utilização destes produtos, ou até mesmo à sua utilização incorreta.

Neste contexto, este texto pretende apresentar e descrever nos capítulos que se seguem os aspectos mais relevantes que caracterizam as duas fases principais do sensoriamento remoto: a fase de aquisição e a fase de utilização dos dados.

Na fase de aquisição são fornecidas as informações referentes à radiação eletromagnética, aos sistemas sensores, ao comportamento espectral dos alvos, à atmosfera etc. Na fase de utilização são mencionadas as diferentes possibilidades de aplicação destes dados nas várias áreas do saber, como geografia, agronomia, engenharia civil, engenharia florestal, geologia, biologia, hidrologia, pedologia etc.

## **5.1 – A Radiação Eletromagnética (REM)**

Como mencionado na introdução, na metodologia de sensoriamento remoto duas fases podem ser destacadas: a aquisição de dados – relacionada com os processos de detecção e registro de informação, e a fase de utilização/análise dos dados – que compreende o tratamento e a extração de informações dos dados obtidos.

Na fase de aquisição temos alguns elementos que devem ser bem compreendidos para uma correta interpretação dos dados adquiridos. Esses elementos são: radiação eletromagnética, fonte de radiação, efeitos atmosféricos, comportamento espectral dos alvos e sistema sensor, conforme pode ser observado na Fig. 2.

O fluxo de radiação eletromagnética, ao se propagar pelo espaço, pode interagir com superfícies ou objetos, sendo por estes refletido, absorvido e/ou reemitido. Este fluxo depende fortemente das propriedades físico-químicas dos elementos irradiados, e o fluxo resultante constitui uma valiosa fonte de informações a respeito daquelas superfícies ou objetos. Dentro deste contexto, pode-se conceituar sensoriamento remoto como um conjunto de atividades cujo objetivo consiste na caracterização das propriedades físico-químicas de alvos naturais, através da detecção, registro e análise do fluxo de energia radiante por eles refletido e/ou emitido.

De todas as formas de energia existentes a de especial importância para o sensoriamento remoto é a radiação eletromagnética ou energia radiante, cujas fontes principais são o Sol e a Terra.

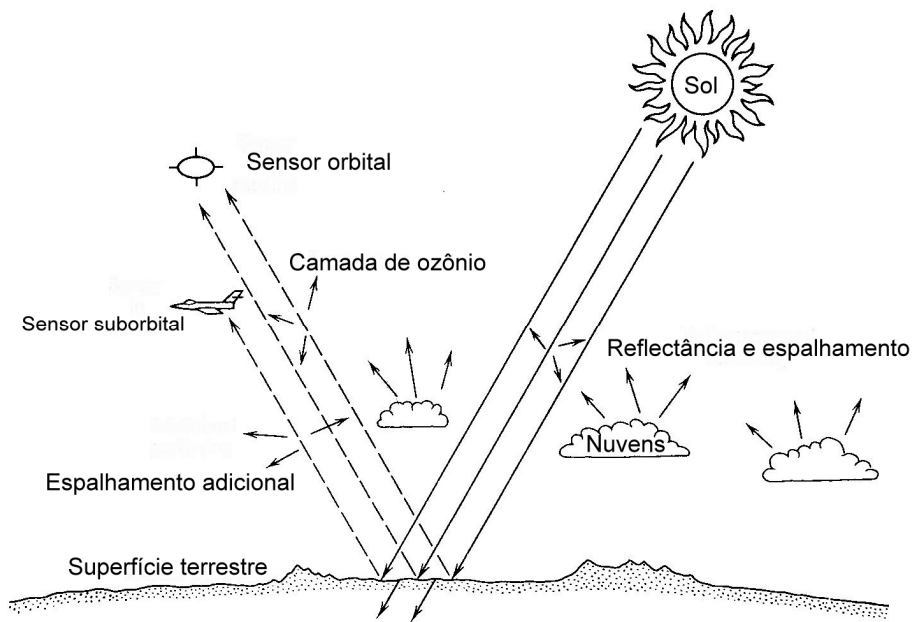


Figura 2 – Elementos envolvidos na fase de aquisição de dados

A radiação eletromagnética (REM) é definida como sendo a forma de energia que se move à velocidade da luz, seja em forma de ondas ou de partículas eletromagnéticas, e que não necessita de um meio material para se propagar.

A faixa de comprimentos de onda, frequência ou energia em que se encontra a radiação eletromagnética é praticamente ilimitada. A representação contínua da radiação eletromagnética em termos de comprimento de onda, frequência ou energia é denominada de espectro eletromagnético, conforme pode ser verificado na Fig. 3.

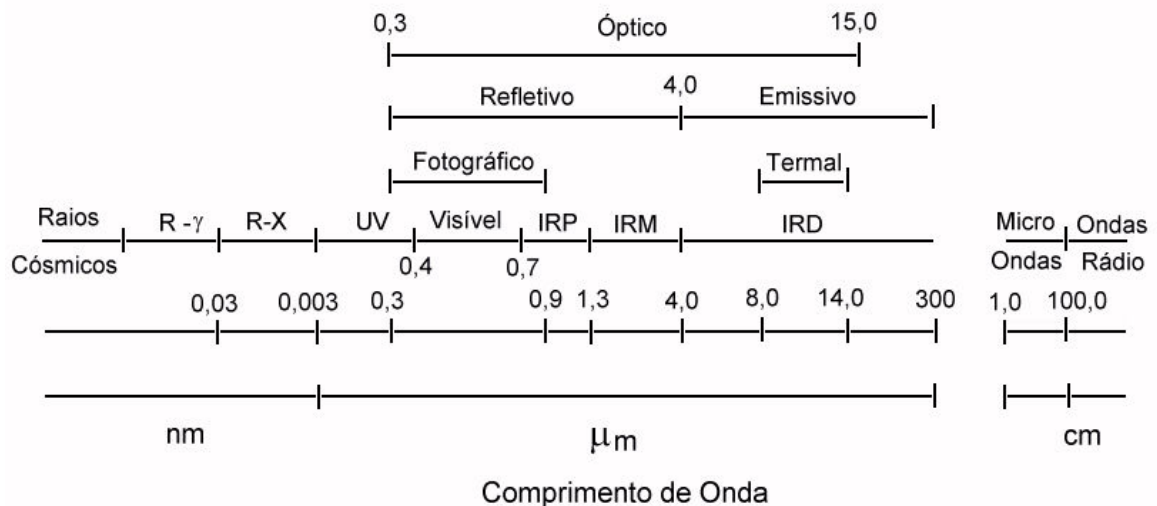


Figura 3 – Espectro eletromagnético

O espectro eletromagnético é subdividido em faixas, que representam regiões possuindo características peculiares em termos de processos físicos geradores de energia, ou mecanismos físicos de detecção desta energia. Embora o limite de cada faixa espectral não seja bem definido, as seguintes regiões podem ser destacadas: raios cósmicos, raios  $\gamma$  ( $< 0,03$

nm), raios X (0,03 – 3,0 nm), ultravioleta (0,003 – 0,4  $\mu\text{m}$ ), visível (0,4 – 0,72  $\mu\text{m}$ ), infravermelho próximo (0,72 – 1,3  $\mu\text{m}$ ), infravermelho médio (1,3 – 4,0  $\mu\text{m}$ ), infravermelho distante (4,0 – 300  $\mu\text{m}$ ), microonda (1,0 – 100 cm) e ondas de rádio (> 100 cm). À medida que se avança para a direita do espectro temos ondas de maior comprimento de onda e menor frequência.

As faixas mais usadas em sensoriamento remoto terrestre são: visível, IRP, IRM, Termal e Microondas. Das faixas mais utilizadas em sensoriamento remoto, algumas recebem denominações próprias, a saber: espectro fotográfico (0,3 – 0,9  $\mu\text{m}$ ), espectro refletivo (0,3 – 4,0  $\mu\text{m}$ ), espectro emissivo (> 4,0  $\mu\text{m}$ ) e espectro infravermelho termal (8,0 – 14,0  $\mu\text{m}$ ).

## 5.2 – Conceitos Fundamentais

### Irradiância

Irradiância (E) é a quantidade de radiação que incide sobre uma superfície, por unidade de área. Pode ser expressa em  $\text{W}/\text{m}^2$ ,  $\text{mW}/\text{cm}^2$ ,  $\text{cal.}/\text{cm}^2 \text{ min}$ .

O Sol é a principal fonte de radiação eletromagnética da Terra. Possui uma massa gasosa constituída de 73% de hidrogênio, 25% de hélio e 2% de outros gases. Sua superfície é chamada de fotosfera, cuja temperatura é de aproximadamente 6.000 K.

A quantidade total de radiação eletromagnética recebida pela Terra é determinada pela projeção da sua superfície sobre um plano perpendicular à propagação da radiação ( $\pi R^2$ , onde R é o raio da Terra). Como o planeta roda em torno do seu eixo, esta radiação é distribuída, embora de forma desigual, sobre toda a sua superfície ( $4\pi R^2$ ). Daí que a radiação solar média recebida sobre a terra, designada por insolação, seja  $342 \text{ W}/\text{m}^2$ , valor correspondente a 1/4 da constante solar. O valor real recebido à superfície do planeta depende dos fatores astronômicos, da latitude geográfica, da época do ano (em função da posição da Terra ao longo da eclíptica), do estado de transparência da atmosfera sobre a localidade, em particular da nebulosidade.

A energia solar é originada de reações termonucleares, onde o hidrogênio é transformado em hélio, liberando energia neste processo.

A Terra, enquanto efetua seu movimento de translação em torno do Sol, gira em torno de seu próprio eixo, definindo o movimento de rotação. O plano perpendicular ao eixo de rotação da Terra está inclinado em relação ao plano de órbita da Terra ao redor do Sol com um ângulo de  $23^\circ 27'$ . Dessa forma, a Terra, ao longo do ano, está sujeita a diferentes condições de iluminação.

A irradiância solar em uma superfície varia em função da:

- variação anual da distância zenital e azimute solar (variação sazonal), que ocorre devido à variação da declinação solar; esta por sua vez é função da inclinação do eixo de rotação terrestre ( $23^\circ 27'$ ) em relação ao plano de órbita da Terra em torno do Sol;
- variação da distância Terra-Sol durante o ano, provocada pela órbita elíptica da Terra, e responsável pela alteração de mais ou menos 2% na irradiância;

- transmitância atmosférica, que por sua vez varia em função da quantidade e qualidade das moléculas presentes na atmosfera (ozônio, vapor d'água, dióxido de carbono, partículas de poeira etc.) e do comprimento de onda;
- inclinação e orientação da superfície topográfica em relação à fonte de irradiação.

### **Emitância**

Emitância (M) ou exitância é a quantidade de radiação que deixa determinada superfície (emitida e não refletida) por unidade de área, podendo ser expressa em  $W/m^2$ ,  $mW/cm^2$ ,  $cal./cm^2 \text{ min}$ . É dependente da temperatura dos alvos.

### **Reflectância**

Reflectância ( $\rho$ ) é a relação entre o fluxo de radiação refletido e o incidente. Trata-se de uma propriedade intrínseca dos materiais. É expressa em porcentagem ou medida relativa.

### **Radiância**

Radiância (R) é a quantidade de radiação que deixa determinada superfície por unidade de área em uma direção de medida. A radiância inclui tanto a radiação emitida como a radiação refletida pelos alvos. Para alvos naturais da superfície terrestre, o que determina se o sistema sensor está registrando a emitância ou a reflectância é o comprimento de onda em que estiver operando o sensor, o que pode ser caracterizado pelas propriedades dos detectores, filtros etc. Se este estiver operando em comprimentos de onda menores do que  $4,0 \mu m$ , ele estará registrando predominantemente a reflectância dos alvos. Caso contrário, estará registrando predominantemente a emitância dos mesmos.

## **5.3 – Efeitos atmosféricos**

Quando se adquire um dado através de um sensor remoto, seja a nível orbital ou suborbital, o sinal coletado interage com a atmosfera até atingir o sensor. Assim, torna-se importante conhecer os efeitos causados pela atmosfera no sinal medido por um sensor.

A atmosfera é formada por um conjunto de gases, vapor d'água e partículas, que envolve a superfície da Terra. Não existe um limite superior para a atmosfera; verifica-se apenas uma progressiva rarefação do ar com a altitude. Geralmente considera-se que a atmosfera terrestre possui cerca de 80 a 100 km de espessura.

Sob o ponto de vista termodinâmico, a atmosfera é um sistema aberto, ou seja, há intercâmbio de massa com a superfície terrestre e com o espaço. A fase dispersante é o ar, uma mistura homogênea de nitrogênio (78%), oxigênio (21%), argônio (1%), dióxido de carbono e outros gases que figuram em pequenas proporções.

A concentração de vapor d'água na atmosfera é pequena, pois dificilmente ultrapassa 4% em volume; é bastante variável (quantidade maior nas regiões tropicais e menor nas regiões polares) e, geralmente, diminui com altitude. No entanto, exerce importante influência na aquisição de dados por sensoriamento remoto.

Dois são os processos de atenuação mais importantes que afetam a propagação da radiação eletromagnética pela atmosfera: absorção e espalhamento.

### Absorção

A radiação eletromagnética, ao se propagar pela atmosfera, é absorvida seletivamente pelos seus vários constituintes, tais como: vapor d'água, ozônio, dióxido de carbono etc. Dentro das faixas do ultravioleta e visível, o ozônio é o principal atenuador por absorção, enquanto que na faixa do infravermelho o vapor d'água e o dióxido de carbono são os principais atenuadores (Fig. 4).

Existem, entretanto, ao longo de todo o espectro eletromagnético, regiões onde a absorção atmosférica é relativamente pequena; estas regiões são conhecidas como janelas atmosféricas e caracterizam-se por possuírem uma boa transmitância. É nessas regiões que são desenvolvidas praticamente todas as atividades de sensoriamento remoto.

### As principais janelas atmosféricas são:

- 0,3 – 1,3  $\mu\text{m}$  (ultravioleta – infravermelho próximo)
- 1,5 – 1,8  $\mu\text{m}$  (infravermelho médio)
- 2,0 – 2,6  $\mu\text{m}$  (infravermelho médio)
- 3,0 – 3,6  $\mu\text{m}$  (infravermelho médio)
- 4,2 – 5,0  $\mu\text{m}$  (infravermelho distante)
- 8,0 – 14,0  $\mu\text{m}$  (infravermelho termal)

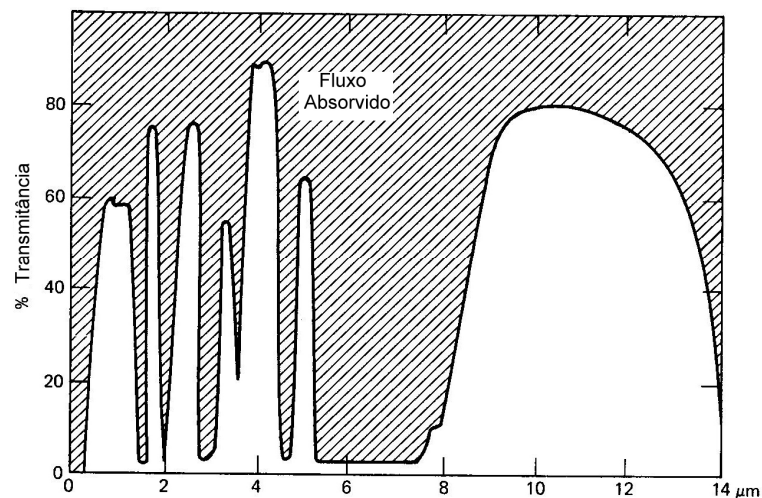


Figura 4 – Janelas atmosféricas

### Espalhamento

Enquanto no processo de absorção a radiação eletromagnética é absorvida, transformada em outras formas de energia e reemitida em outros comprimentos de onda, no processo de espalhamento a radiação solar incidente na atmosfera, ao interagir com esta, gerará um campo de luz difusa que se propagará em todas as direções.



Tanto no processo de planejamento de aquisição de dados por sensores remotos quanto no processo de interpretação é importante levar em consideração o fenômeno de espalhamento, pois a radiação eletromagnética coletada pelo sistema sensor não provém somente do alvo, uma vez que a radiação espalhada pela atmosfera e por outros alvos poderá também atingir o sistema sensor, mascarando, total ou parcialmente, a informação desejada.

#### 5.4 – Comportamento Espectral de Alvos

O comportamento espectral de um alvo pode ser definido como sendo a medida da reflectância deste alvo ao longo do espectro eletromagnético. Por exemplo, a Fig. 5 mostra três alvos: água, solo e vegetação, que em uma faixa do espectro eletromagnético compreendida entre 0,5 a 2,5  $\mu\text{m}$ , apresentam diferentes formas e intensidade de reflectância. Graças a isso, podemos discriminar e identificar os diferentes alvos existentes na natureza.

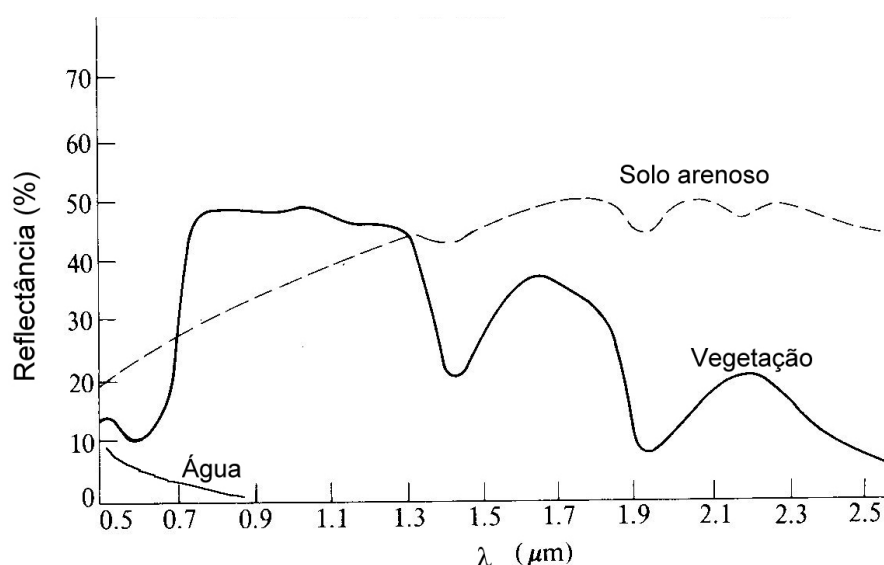


Figura 5 – Reflectância da água, vegetação e solo

**Minerais e Rochas** - Nos minerais e rochas os elementos e substâncias mais importantes que determinam as feições diagnósticas na faixa do espectro refletivo (0,4 a 2,5  $\mu\text{m}$ ) são íons ferroso e férrico, água e hidroxila. Os elementos químicos mais frequentes como o silício, alumínio e magnésio possuem interesse secundário.

**Solos** - O comportamento espectral dos solos é função principalmente da porcentagem de matéria orgânica, granulometria, composição mineralógica, umidade e capacidade de troca catiônica (CTC). O aumento do conteúdo de matéria orgânica provoca uma diminuição da resposta espectral. No que se refere à granulometria, com o aumento da concentração de minerais félsicos, a diminuição do tamanho das partículas provoca um aumento nos valores de reflectância e a atenuação das bandas de absorção. Ocorre o contrário à medida que se aumenta a concentração de minerais máficos. Com relação à umidade e a capacidade de troca catiônica, os solos úmidos possuem reflectância mais baixa que os solos secos na faixa do espectro refletivo o mesmo ocorrendo com o aumento da capacidade de troca catiônica.

**Vegetação** - O comportamento espectral típico de uma folha verde no intervalo espectral de 0,4 a 2,5  $\mu\text{m}$  é mostrado na FIG. 5. Na região do visível a reflectância é relativamente baixa, decorrente da forte absorção da radiação dos pigmentos do grupo da clorofila. Existem duas bandas de absorção preeminentes, centradas aproximadamente em 0,48  $\mu\text{m}$ , devido à presença de carotenos, e 0,68  $\mu\text{m}$ , relacionada ao processo de fotossíntese. Destaca-se ainda um pico de reflectância em torno de 0,5  $\mu\text{m}$ , correspondente à região verde do espectro visível, o que explica a coloração verde das plantas. Na faixa compreendida entre 0,7 a 1,3  $\mu\text{m}$  a reflectância passa para valores próximos a 40%. Este aumento da reflectância está relacionado à estrutura interna celular da folha. Esta alta reflectância é importante para que a folha mantenha o equilíbrio no balanço de energia e não se superaqueça, evitando assim a destruição da clorofila. O decréscimo gradual dos valores de reflectância para comprimentos de onda superiores a 1,3  $\mu\text{m}$  é devido à presença da água, com pico de absorção próximo a 1,4 e 1,9  $\mu\text{m}$ . Todas estas considerações referem-se a uma única folha verde isolada e sadia.

Embora estes dados de uma única folha sejam fundamentais, o seu comportamento espectral não pode ser aplicado diretamente para uma planta inteira ou para uma cobertura vegetal. Percentualmente, a reflectância de uma cobertura vegetal é consideravelmente menor do que a de uma folha verde isolada, devido a diversos fatores como a influência de superfícies desfolhadas, mudanças no ângulo de iluminação e orientação das folhas.

Basicamente, a medida da reflectância espectral da vegetação depende de uma série de fatores como as condições atmosféricas, espécie, solo (granulometria, água, nutrientes), índice de área foliar (cobertura da vegetação por unidade de área), estado fenológico (variação sazonal), biomassa (densidade total de vegetação), folha (forma, posição, água, pigmentação, estrutura interna etc.), geometria de medida, tipo de sistema sensor e cobertura da copa.

**Água** - De um modo geral, a reflectância da água limpa diminui com o aumento dos comprimentos de onda, ou seja, na faixa mais utilizada em sensoriamento remoto verificam-se as maiores reflectâncias na região do visível, mais especificamente nos comprimentos de onda do azul e verde, decrescendo gradualmente na direção do infravermelho.

À medida que acrescentamos sedimentos na água o pico de reflectância se desloca na direção dos maiores comprimentos de onda. Além do mais, a reflectância é maior do que a da água limpa.

## 5.5 – Sistemas Sensores

Sensor é um dispositivo capaz de responder à radiação eletromagnética em determinada faixa do espectro eletromagnético, registrá-la e gerar um produto numa forma adequada para ser interpretada pelo usuário.

Um sistema sensor é constituído basicamente por um coletor, que pode ser uma lente, espelho ou antena e um sistema de registro, que pode ser um detetor ou filme.

Os sistemas sensores utilizados na aquisição e registro de informações de alvos podem ser classificados segundo a resolução espacial (imageadores e não-imageadores), segundo a fonte de radiação (ativos e passivos) e segundo o sistema de registro (fotográficos e não-fotográficos).

*Sensores imageadores* – são os sistemas que fornecem uma imagem de um alvo. Como exemplo podemos citar os *scanners* e as câmeras fotográficas.

*Sensores não-imageadores* – são os sistemas que fornecem informações sobre o alvo sem produzir imagens; estas informações podem estar contidas em gráficos, tabelas etc. Como exemplo destes sensores temos os radiômetros, espectrorradiômetros e termômetros de radiação.

*Sensores ativos* – os sensores são ditos ativos quando têm uma fonte própria de radiação eletromagnética. Como exemplo citamos o radar e uma câmera fotográfica com flash.

*Sensores passivos* – são os que não possuem fonte própria de radiação. Como exemplo temos: radiômetros, espectrorradiômetros e termômetros de radiação.

*Sensores fotográficos* – são os sistemas sensores que utilizam como fonte de registro um filme fotográfico. Como exemplo temos a câmera fotográfica.

*Sensores não-fotográficos* – são os sistemas que não utilizam como fonte de registro um filme. Como exemplo temos: radiômetros, sensor ETM+/Landsat, sensor MSS/Landsat, SPOT.

Os dados de sensoriamento remoto podem ser agrupados em quatro domínios ou resoluções, a saber: temporal, radiométrico, espectral, espacial ou geométrico.

*Resolução temporal* – está relacionada à repetitividade que o sistema sensor possui na obtenção de informações dos alvos. Por exemplo, o satélite norte-americano Landsat 7 apresenta uma repetitividade de 16 dias.

*Resolução radiométrica* – entende-se por resolução radiométrica a maior ou menor capacidade de um sistema sensor em detectar e registrar diferenças de reflectância e/ou emitância dos elementos da paisagem (rocha, solo, água, vegetação etc.). No satélite Landsat, no sistema sensor ETM+, as informações dos alvos imageados são registradas em 256 tons distintos de cinza ou números digitais.

*Resolução espectral* – refere-se a melhor ou pior caracterização dos alvos em função da largura espectral e/ou número de bandas em que opera o sistema sensor. Uma alta resolução espectral é obtida quando as bandas de um sistema sensor são estreitas e/ou quando se utiliza um maior número de bandas espectrais. Por exemplo, o sistema sensor ETM+ do Landsat 7 possui oito faixas espectrais, apresentando, portanto, uma resolução espectral melhor do que o sistema sensor MSS (Multispectral Scanners System) deste mesmo satélite. Além do que, o ETM+ possui algumas bandas mais estreitas do que o MSS.

*Resolução espacial* – pode ser definida como sendo a mínima distância entre dois objetos (alvos) na qual um sensor pode registrá-los como sendo objetos distintos. Depende das características dos detetores, altitude da plataforma, contraste entre os objetos etc. Por exemplo, o sistema sensor ETM+ possui resolução espacial de 30 m, nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7.

Em sensoriamento remoto, um satélite é um engenho colocado em órbita pelo homem de forma a obter informações da superfície da Terra ou de outro astro.

Mesmo tendo funções semelhantes, os satélites artificiais são agrupados em categorias, de acordo com os objetivos principais para os quais foram criados. Dentro dessa concepção existem os satélites militares, científicos, de comunicação, meteorológicos e de recursos naturais ou observação da Terra.

Os satélites para estudos dos recursos terrestres fazem parte do grupo de satélites de sensoriamento remoto e monitoramento do meio ambiente, dos quais os mais utilizados no Brasil são: o LANDSAT, o SPOT, o CBERS, IKONOS, QUICK BIRD, o TERRA e o AQUA, destinados ao levantamento, mapeamento e monitoramento dos continentes e oceanos.

A seguir apresentamos uma descrição de alguns satélites.

## LANDSAT

O sistema Landsat foi desenvolvido pela NASA com o objetivo de permitir a aquisição de dados espaciais, espectrais e temporais da superfície terrestre, de forma global, sinóptica e repetitiva.

Lançados em 1972 (ERTS – Landsat 1), 1975 (Landsat 2), 1978 (Landsat 3), 1982 (Landsat 4), 1984 (Landsat 5), 1993 (Landsat 6) e 1999 (Landsat 7) e 2013 (Landsat 8) utilizam como satélite uma plataforma do tipo NIMBUS, onde são instalados os sensores e os demais subsistemas destinados à gravação e transmissão de dados, medição e controle de altitude e temperatura, retransmissão etc. A potência para funcionamento do sistema é conseguida através de painéis solares que convertem a radiação solar em energia elétrica.

Os satélites da série Landsat deslocam-se do norte para o sul em órbita geocêntrica, circular, quase polar e heliossíncrona, isto é, o ângulo Sol-Terra-satélite permanece constante, o que garante condições semelhantes de iluminação ao longo do ano, na área imageada.

Os Landsats 1, 2 e 3 estavam equipados com dois sistemas sensores: um sensor MSS (*Multispectral Scanner System*) e um sensor RBV (*Return Beam Vidicon*). Nos Landsats 4 e 5 o sistema RBV foi substituído pelo sistema sensor TM (*Thematic Mapper*), com sete bandas espectrais. Nos Landsats 6 e 7 o sistema TM foi modificado, passando a ser denominado ETM+, com oito bandas espectrais, e o sensor MSS foi extinto.

No Landsat 8 há novidades acerca do projeto **LDCM** (Landsat Data Continuity Mission):

- O satélite possui 01 banda pancromática e 09 bandas multiespectrais;
- A resolução da PAN é de 15 metros. A multiespectral possui resolução espacial de 30 metros;
- Se você fusionar a PAN com a MULT, a resolução espacial final será de 15 metros;
- As imagens Landsat-8 são entregues em 16 Bits, sendo necessário realizar um **Rescale**(Conversão Radiométrica);
- As imagens Landsat-8 são orientadas ao norte verdadeiro, sendo necessário reprojeta-las;
- Os produtos Landsat-8 são entregues na projeção UTM, Datum WGS 1984;
- O formato de entrega das imagens Landsat-8 é o GeoTIFF.

## **CBERS**

Em 6 de julho de 1988 foi assinado um programa de cooperação entre a China e o Brasil para desenvolver satélites de observação da Terra. Esse programa conjunto de Satélites Sino-Brasileiros de Recursos Terrestres (CBERS) combina os recursos financeiros e de especialistas dos dois países para estabelecer um sistema completo de sensoriamento remoto. Foram lançados três satélites: CBERS 1, CBERS 2 e CBERS 2B.

O CBERS possui em sua carga útil múltiplos sensores, com resoluções espaciais e frequências de observação variadas. Os três sensores imageadores a bordo são o imageador de visada larga (WFI), com duas bandas espectrais a câmera CCD de alta resolução com cinco bandas espectrais e o varredor multiespectral infravermelho (IR-MSS) com quatro bandas espectrais. O WFI tem uma visada de 900 km no solo, que dá uma visão sinótica com resolução espacial de 260 m e cobre o planeta em menos de cinco dias. Já os sensores CCD de alta resolução e IR-MSS fornecem informações mais detalhadas em uma visada mais estreita, de 120 km. A câmera CCD de alta resolução tem a capacidade adicional de apontamento lateral de  $\pm 32^\circ$ , que dá frequência de observações aumentada ou visão estereoscópica para uma dada região.

## **TERRA**

A plataforma orbital TERRA foi lançada em 18 de dezembro de 1999 a bordo do veículo lançador AtlasIIAS, como parte do programa da NASA denominado Earth Observing System (EOS). Trata-se de uma missão multinacional que envolve parcerias com as agências aeroespaciais do Canadá e do Japão.

O principal objetivo da missão é contribuir para pesquisas sobre a dinâmica atmosférica global e suas interações com a superfície terrestre e oceano. Nessas três esferas, a plataforma Terra contribui para pesquisas sobre:

- a) atmosfera: fluxo de energia radioativa, composição da troposfera, aerossóis, temperatura e a umidade, nebulosidade;
- b) superfície terrestre: mudanças na cobertura e no uso das terras, dinâmica das vegetações, dinâmica da agricultura, temperatura da superfície, ocorrência de queimadas e eventos vulcânicos;
- c) oceanos: temperatura da superfície, o fitoplâncton e a matéria orgânica dissolvida. Nas regiões polares o satélite obtém informações sobre as mudanças na cobertura de gelo da Terra, o gelo do mar e a cobertura da neve.

Os dados do satélite começaram a ser coletados em fevereiro de 2000. A bordo do satélite TERRA estão os sensores MODIS, ASTER, CERES, MISR e MOPITT.

## **SPOT**

A série de satélites SPOT é controlada pela empresa francesa Spot Image. O projeto foi iniciado no final da década de 70 sob liderança do governo francês, pelo Centre National d'Études Spatiales (CNES) e apoio da Suécia e Bélgica. Os satélites da família SPOT foram desenhados para operar com sensores ópticos, em bandas do visível, infravermelho próximo e infravermelho médio. Ao todo foram lançados 5 satélites, divididos em três gerações, de acordo com alterações de suas cargas úteis.

Os 3 primeiros satélites da série SPOT (lançados em 1986, 1990 e 1993) levaram a bordo sensores HRV idênticos, capazes de oferecer resolução espacial de 10m e 20m em modo pancromático e multiespectral, respectivamente. O quarto satélite, lançado em 1998, inovou com o acréscimo do sensor VEGETATION e alterou alguns parâmetros do sensor HRV, transformando-o no sensor HRVIR. O quinto satélite da série foi lançado em 2005, com três tipos de sensores a bordo: HRG (evolução do sensor HRVIR com aumento na resolução espacial das imagens e retorno do canal pancromático), o sensor VEGETATION-2 (idêntico ao seu antecessor) e o novo sensor HRS especializado em adquirir imagens stereo.

Hoje a plataforma do SPOT opera com três satélites (2, 4 e 5) e oferece imagens com resoluções espaciais que variam de 2,5m a 20m. Atuando em conjunto e devido à capacidade de visadas dos sensores, a série fornece imagens das regiões de interesse em intervalos de 1 a 3 dias e é interessante por sua versatilidade na disponibilidade de imagens, na frequência e tamanho das áreas imageadas, na disponibilidade de vários níveis de correção e na possibilidade de programação de imageamento.

As imagens SPOT possuem aplicações nas mais diversas áreas científicas e comerciais, no monitoramento de fenômenos e recursos naturais, acompanhamento do uso agrícola das terras, apoio ao monitoramento e definição de áreas de preservação, atualização de mapas e cartas, entre outros.

## **IRS**

O programa indiano de Satélites de Observação da Terra IRS (Indian Remote Sensing Satellite) oferece uma ampla possibilidade de acesso às imagens em diversas resoluções e consequentemente aplicações, com satélites especializados em coletar dados de forma temática. O objetivo principal da missão é fornecer dados de sensoriamento remoto para a National Natural Resource Management System (NNRMS) e apoiar o desenvolvimento econômico indiano, mas os dados do IRS também são distribuídos para outros países, inclusive para o Brasil.

A missão, em sua maioria desenvolvida e operada pela Indian Space Research Organization (ISRO), lançou os primeiros satélites experimentais Bhaskara 1 e Bhaskara 2 em 1979 e 1981, respectivamente. A primeira geração de satélites operacionais iniciou-se em 1988 com o lançamento do IRS-1A, seguido pelo IRS-1B em 1991, ambos equipados com sensores multiespectrais idênticos que operaram até a década de 90. O terceiro satélite da série (IRS-1E) não conseguiu entrar em órbita e foi perdido no lançamento que ocorreu em 1993, com o veículo lançador indiano PSLV (Polar Satellite Launch Vehicle). Em outubro de 1994, o PSLV obteve sucesso e lançou o IRS-P2 que levou a bordo os sensores LISS-IIA e LISS-IIB com câmera CCD, que operou nas faixas no visível e infravermelho próximo.

A segunda geração de satélites iniciou-se com o lançamento do IRS-1C em 1996, que levou a bordo sensores multiespectrais e pancromáticos, capazes de gerar imagens com melhor resolução espacial (5 metros) e possibilitar estudos inéditos em áreas urbanas, além de contribuir para estimativas de safras agrícolas e levantamentos de recursos naturais. Na época do lançamento o IRS-1C foi considerado o mais avançado satélite disponível no mercado de observação da terra e operou por mais de 10 anos. Em 1997 a ISRO lançou o satélite IRS-1D, que continua em atividade até hoje e possui as mesmas especificações do IRS-1C.

Em 1996 foi lançado o sexto satélite da série IRS, denominado IRS-P3 que levou a bordo instrumentos experimentais para contribuir no estudo do sistema oceano-atmosfera. Essa experiência serviu de apoio para o desenvolvimento do satélite IRS-P4 (também denominado OCEANSAT-1), lançado em 1999 e operacional, especializado em coleta de dados de parâmetros físicos e biológicos dos oceanos.

O nono satélite da série IRS foi lançado de forma experimental em 2001 e denomina-se TES (Technology Experiment Satellite). Esse satélite foi projetado para testar as tecnologias desenvolvidas pela ISRO e aprimorar o desempenho dos satélites especializados em cartografia que seriam lançados nas missões futuras, no que diz respeito à estrutura física dos componentes do satélite, controle de atitude, sistema de comunicação, transmissão de dados, sensores, etc. Ele continua operacional e leva a bordo uma câmera pancromática, que obtém imagens com 1 metro de resolução espacial, para viabilizar experimentos em sensoriamento remoto, com aplicações estratégicas na área de defesa de território e inserção da Índia no mercado de imagens de alta resolução espacial.

Para substituir as missões IRS-1C e IRS-1D e manter a continuidade dos dados oferecidos, a ISRO lançou em 2003 o décimo satélite da série, denominado IRS-P6 ou RESOURCESAT-1. Esse sistema de observação da terra é próprio para trabalhos na área de agricultura, levantamentos de uso e cobertura das terras, monitoramento de safras, além de atuar em estudos de áreas urbanas e cartografia. Opera com três instrumentos sensores semelhantes aos oferecidos por seus antecessores, com atualizações tecnológicas para viabilizar maior qualidade dos dados oferecidos.

O décimo primeiro satélite da série IRS, lançado em 2005, foi denominado CARTOSAT-1 (IRS-P5) e possui aplicação direta na área de cartografia de precisão, pois foi projetado para levar a bordo duas câmeras pancromáticas posicionadas em ângulos diferentes com o objetivo de fornecer imagens com estereoscopia, com 2,5 metros de resolução e período de revisita de 5 dias. Com esses atributos, os dados do satélite podem contribuir para realização de mapeamentos em escalas detalhadas tanto em ambientes rurais quanto urbanos, além de servir de apoio na geração de mapas topográficos em grande escala. A série CARTOSAT também lançou satélites idênticos em 2007 (CARTOSAT-2) e em 2008 (CARTOSAT-2A) equipados com câmeras pancromáticas de alta resolução espacial (1 metro), revisitas de 4 dias e com possibilidade de visadas de até 45° tornando-os aptos a oferecer dados com menor período de revisita.

Em 2008 também foi lançado o satélite IMS-1 (Indian Mini Satellite-1) da série IRS que incorpora novas tecnologias e subsistemas miniaturizados. Esse satélite leva dois sensores ópticos para aplicações em sensoriamento remoto: Multiespectral Camera (Mx) e Hiperspectral Camera (HySI), que adquirem dados nas regiões do visível e infravermelho próximo do espectro eletromagnético.

A missão IRS mantém em órbita 8 satélites em atividade e existe a expectativa de que nos próximos cinco anos ocorram mais lançamentos, como os satélites Risat, Resourcesat-2 e 3, Cartosat-3 e Oceansat-2 e 3 que estão em desenvolvimento.

## **IKONOS**

O IKONOS é um satélite de alta resolução espacial operado pela Empresa GeoEye. O primeiro satélite da série (IKONOS-I) não obteve sucesso no lançamento em abril de 1999 e com isso, o projeto do IKONOS-II foi adiantado para entrar em órbita em setembro de 1999.

Em janeiro de 2000 o IKONOS tornou-se o primeiro Satélite de Observação da Terra a oferecer imagens de alta resolução para uso comercial e além das aplicações comerciais, possui uma ampla aplicabilidade em trabalhos científicos que necessitam de dados e informações detalhadas da superfície terrestre

O IKONOS possui sensores que operam no visível e infravermelho próximo e obtém imagens pancromáticas e multiespectrais com resolução espacial de 1 metro e 4 metros respectivamente. Podem ser programados para adquirir imagens stereo visando a elaboração de Modelos de Elevação Digital (DEM) ou Modelos Digitais de Superfície (MDS).

## **QUICK BIRD**

O Quick Bird é um satélite síncrono com o Sol, com órbita quase polar, a 450 km de altitude, com inclinação de 98° em relação ao pólo. Este satélite foi programado para uma frequência de revisita que varia de um a três dias. Dependendo da latitude a resolução espacial pode chegar a 61 cm. Gasta 93,4 minutos para dar uma volta em torno da Terra e possui uma largura de varredura de 16,5 km. Seu sistema sensor opera em cinco faixas espectrais

## **GOES**

A missão de satélites GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite), é operada pela National Oceanic and Atmospheric Administration – NOAA e controlada pela National Aeronautics and Space Administration - NASA.

As imagens oferecidas regularmente são muito importantes para o serviço de previsão do tempo dos países localizados no continente americano. Em conjunto com os satélites da série METEOSAT, o GOES completa a rede internacional de observação meteorológica da Terra.

Esses satélites geoestacionários encontram-se a cerca de 35.800 km da Terra e órbita equatorial geossíncrona, com velocidade de deslocamento coincidente com a velocidade de rotação da Terra. Essas características orbitais permitem com que os satélites capturem imagens de uma mesma porção da superfície terrestre e obtenham uma ampla visada. Os satélites que estão em operação, enviam a cada 30 minutos, imagens da Terra que são úteis para monitorar uma série de eventos que necessitam de dados contínuos, como os fenômenos atmosféricos, formação e desenvolvimento de nuvens, temperatura da superfície da terra, vapor d'água, sondagens da estrutura vertical da atmosfera e vapor contido na atmosfera.



A rede de satélites GOES foi iniciada na década de 1970, com o lançamento de dois satélites experimentais (SMS-1 e SMS-2) e desde 1975 colocou em órbita 13 satélites, sendo que atualmente somente 4 estão em atividades vinculadas ao programa. Outros satélites que foram desvinculados dos objetivos gerais da missão continuam em órbita operando como satélites de comunicação, muito importantes para os países insulares do Oceano Pacífico.

Os satélites levam a bordo vários instrumentos sensores, alguns especificamente para utilização em meteorologia, que coletam dados de campos magnéticos e da estrutura vertical da atmosfera. Além desses instrumentos, ele leva a bordo um sensor imageador que opera com 5 bandas espectrais, nas faixas do visível e infravermelho. Atualmente há quatro satélites GOES em operação.

## **METEOSAT**

Desde 1977, a série de satélites europeus METEOSAT foi responsável pelo lançamento de nove satélites geostacionários. Os dados e os serviços oferecidos pela série são principalmente voltados para meteorologia, com ênfase no apoio à previsão do tempo. Contudo os dados também podem ser utilizados em outras áreas do conhecimento, incluindo a agricultura. Em 1987 o projeto passou a ser controlado pela European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT) e a Agência Espacial Europeia (ESA) continuou a atuar no desenvolvimento do segmento espacial.

A primeira geração do METEOSAT foi formada pelos sete primeiros satélites e foi importante para promover as pesquisas na área de previsão do tempo por mais de 30 anos. Com o passar do tempo e os avanços da ciência meteorológica, foi necessário prover a comunidade com dados de maior frequência e de melhor acurácia. Com isso, a EUMETSAT e a ESA iniciaram em 2002 o lançamento da segunda geração de satélites.

Em novembro de 2008 a série possuía quatro satélites em órbita, sendo dois de cada geração e, portanto oferecendo produtos diferenciados.

As imagens e os dados adquiridos pelos satélites são recebidos pelas estações posicionadas em solo, onde são processados e disseminados para usuários em tempo quase-real.

## **NOAA**

A série de satélites NOAA é controlada pela National Oceanic Atmospheric Administration e desenvolvida em cooperação com a Agência Espacial Americana (NASA). Integra, em conjunto com o satélite europeu MetOp, o sistema POES (Polar Operational Environmental Satellite).

A história do NOAA iniciou-se em 1960 com os satélites da série TIROS que foram implementados pelo U.S. Defense e pela NASA, para atuarem na área de meteorologia.

A série realizou o lançamento de mais de uma dezena de satélites e diversos instrumentos operacionais (sondas e imageadores). O sistema opera com, no mínimo, dois satélites posicionados em órbita quase-polar heliossíncrona a aproximadamente 835 km de altitude.

Em novembro de 2008, a série possuía quatro satélites operacionais: NOAA-15, NOAA-16, NOAA-17 e NOAA-18.

O sistema atual obtém imagens multiespectrais da superfície terrestre (captadas pelo sensor AVHRR-3) e adquire dados numéricos coletados por meio de sondas (obtidas pelo sensor ATOVS). Os dados gerados pelos satélites NOAA são utilizados, sobretudo, em modelos climáticos e de previsão do tempo atmosférico. No entanto, servem de material para vários projetos que envolvem o sistema Terra x Oceano X Atmosfera e podem apoiar diversos tipos de monitoramentos, como por exemplo, detecção de focos de queimadas.

## **ORBVIEW**

A missão ORBVIEW, foi originalmente responsabilidade da Empresa Orbimage (Orbiting Image Corporation) que atuou no desenvolvimento e operação dos quatro primeiros satélites da série. Em 2006, o controle dos satélites OrbView passou a ser feito pela Empresa GeoEye, com sede localizada na Virgínia (Estados Unidos). A série é composta por cinco satélites que possuem objetivos e instrumentos diferentes entre si, voltados ao uso comercial.

O primeiro satélite, denominado OrbView 1 ou MicroLab 1 foi lançado em abril de 1995 para atuar no imageamento atmosférico e previsão do tempo. Capaz de operar tanto de dia quanto a noite com dois instrumentos sensores: ODT e GPS/MET. O OrbView 2 ou SeaStar, foi desenvolvido para atuar em pesquisas na área de oceanografia, monitoramento ambiental e aquecimento global. Leva a bordo o sensor SeaWIFS projetado pela Agência Espacial Americana (NASA), lançado em 1997 e operacional.

O terceiro satélite da série, denominado OrbView 3 foi lançado em 2003 e operou até 2007. Posicionado em baixa altitude, foi desenvolvido para obter imagens de alta resolução espacial para uso civil. Apresenta configurações semelhantes ao seu antecessor, o OrbView 4, lançado em 2001 e perdido após o lançamento. Ambos foram projetados com câmeras pancromáticas e multiespectrais, com 1 metro e 4 metros de resolução espacial respectivamente. A diferença entre os dois satélites é que o OrbView 4 possuía também uma câmera hiperespectral de 200 canais.

Os satélites subsequentes da série OrbView lançados e com planos para lançamentos futuros tiveram seus nomes alterados para GeoEye. O satélite GeoEye-1 foi lançado em setembro de 2008 e alcança 41 cm de resolução espacial no pancromático e 1,6 metros no multiespectral, com fornecimento de imagens direcionado à Companhia Google.

## **ENVISAT**

O satélite ENVISAT foi lançado em março de 2002 pela Agência Espacial Européia (ESA) e surgiu a partir do desenvolvimento da missão “Polar Platform for future Earth”, iniciada como um item do Columbus Space Station Programme e da “Polar Orbiting Earth Observation Mission” com instrumentos que pudessem substituir os dados enviados pelo satélite ERS, seu antecessor. O principal objetivo do ENVISAT é fornecer dados da atmosfera, do oceano, da terra e do gelo, visando o monitoramento do aquecimento global, do grau de contaminação atmosférica e dos riscos de desastres naturais.

O ENVISAT possui dez instrumentos a bordo, divididos entre sensores ópticos e sensores ativos, sendo seu principal sensor óptico o MERIS e seu principal radar o ASAR. Este satélite possui combustível suficiente para que sua vida útil estenda-se até 2010, porém a Agência Espacial Européia (ESA) já trabalha na substituição do satélite ENVISAT pelo satélite Sentinel 1, que integrará uma rede de vigilância formada por cinco satélites de menor porte que atuarão na observação da Terra com o objetivo de acompanhar as mudanças ambientais globais.

## **EROS**

A missão EROS (Earth Remote Observation Satellite) faz parte de um programa de satélites de baixo custo projetado e construído pela Israel Aircraft Industries (IAI), empresa estatal do Governo de Israel. A operação e comercialização das imagens são atribuições da ImageSat International, a primeira empresa comercial não-americana a colocar em órbita um satélite de alta resolução espacial.

A série EROS foi concebida para possibilitar acesso rápido às imagens de alta resolução espacial. Atualmente, dois satélites encontram-se em órbita da Terra: o EROS A, lançado em 05/12/2000 que leva a bordo a câmera CCD capaz de adquirir imagens de 1,8 m de resolução espacial e o EROS B, lançado em 25/04/2006 que possui resolução espacial de 70 cm. Ambos possuem apenas uma câmera à bordo e são enquadrados na categoria de sensores remotos que operam com alta resolução espacial.

Devido à sua versatilidade, os satélites podem realizar movimentos em suas câmeras de até 45° e permitem que sejam gerados pares estereoscópicos. Dessa forma os dois satélites conseguem, em conjunto, adquirir 2 ou 3 imagens por semana de qualquer lugar da superfície da Terra tornando-o bastante competitivo no mercado que exige alta resolução espacial e temporal.

### **5.6 - Sistema de formação de cores**

Foram propostas diversas teorias para a visão das cores. Segundo a teoria de Young existem na retina três tipos de cones, contendo cada tipo uma substância sensível à luz de diferentes comprimentos de onda. Um tipo é estimulado pelos raios vermelhos, outro pelos verdes e um terceiro pelos azuis/violetas. A cor amarela é vista devido à estimulação de igual número de elementos do verde e do vermelho e muito pouco ou quase nada do azul. Se os cones sensíveis ao vermelho, verde e azul são excessivamente excitados, vemos, respectivamente, as cores vermelha, verde e azul.

A parte periférica da retina, desprovida de cones, é insensível à cor e somente dá impressões de branco, cinza e preto (bastonetes). A parte mais central da retina é a responsável pela visão em cores, pois nesta região estão presentes a maioria dos cones.

O processo de formação de cores através de uma cor primária azul (B), verde (G) e vermelha (R) a outra cor primária é denominado de processo aditivo de formação de cores. As

cores resultantes deste processo são denominadas cores secundárias, que são o amarelo (Y), o magenta (M) e o ciano (C), respectivamente resultantes da adição do verde e vermelho, azul e vermelho e azul e verde, como pode ser visualizado na Fig. 6. O branco é resultado da adição das três cores ditas primárias.

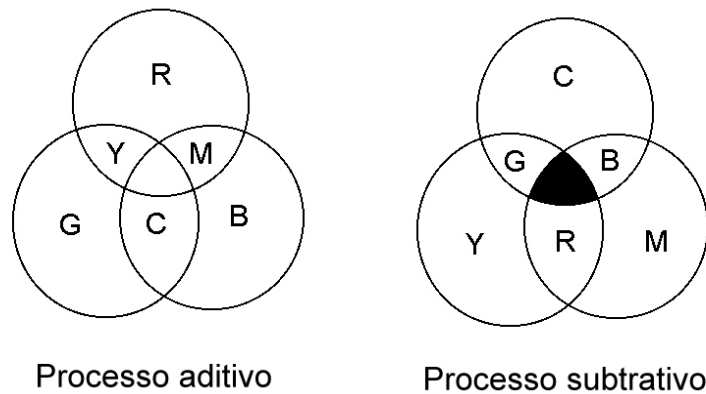


Figura 6 – Processos de formação das cores

No processo subtrativo utilizam-se as cores secundárias, ou seja, o amarelo, o magenta e o ciano. A sobreposição do amarelo com magenta resulta na formação da cor vermelha. A sobreposição do ciano e magenta e ciano e amarelo formam respectivamente as cores azul e verde. A cor preta é resultante da sobreposição do ciano, amarelo e magenta.

### 5.7 – Técnicas de Extração de Informações

De modo geral, na realização de trabalhos que utilizam fotografias aéreas ou imagens de satélite com fins de levantamentos, monitoramento ou mapeamento, em qualquer que seja a área de conhecimento, devem ser seguidas as seguintes etapas: definição dos objetivos, escolha da área de estudo, aquisição dos produtos (imagens ou fotografias aéreas), escolha da técnica de extração das informações (interpretação visual e ou classificação de imagens), trabalho de campo, validação do mapeamento e relatório.

Em geral, nos diferentes tipos de aplicação (geomorfologia, geologia, pedologia, vegetação, agricultura e uso de solo) começa-se com a escolha da escala com que se deseja trabalhar. Esta depende da precisão dos resultados e dos objetivos da pesquisa (Tab. 1). A seguir, define-se a banda ou o conjunto de bandas (caso o trabalho seja realizado com imagens de satélite), dependendo das características dos alvos de estudo. A FIG. 7 pode ajudar na seleção das melhores bandas espectrais. O período de aquisição das imagens é escolhido em função da variação das condições fenológicas dos alvos, condições de iluminação e condições atmosféricas.

Tabela 1 – Sensores x maior escala de trabalho

Satélite	Sensor	Maior escala
LANDSAT	MSS	1:150.000
	TM	1:50.000
	ETM+	1:25.000
SPOT	PA	1:20.000
	HRVIR	1:40.000
	HRG	1:10.000
CBERS	WFI	1:600.000
	IR-MSS	1:150.000
TERRA/ASTER	CCD	1:40.000
	VNIR	1:30.000
	SWIR	1:50.000
IKONOS	TIR	1:200.000
	PA	1:2.000
	Multiespectral	1:8.000
QUICK BIRD	PA	1:1.500
	Multiespectral	1:5.000

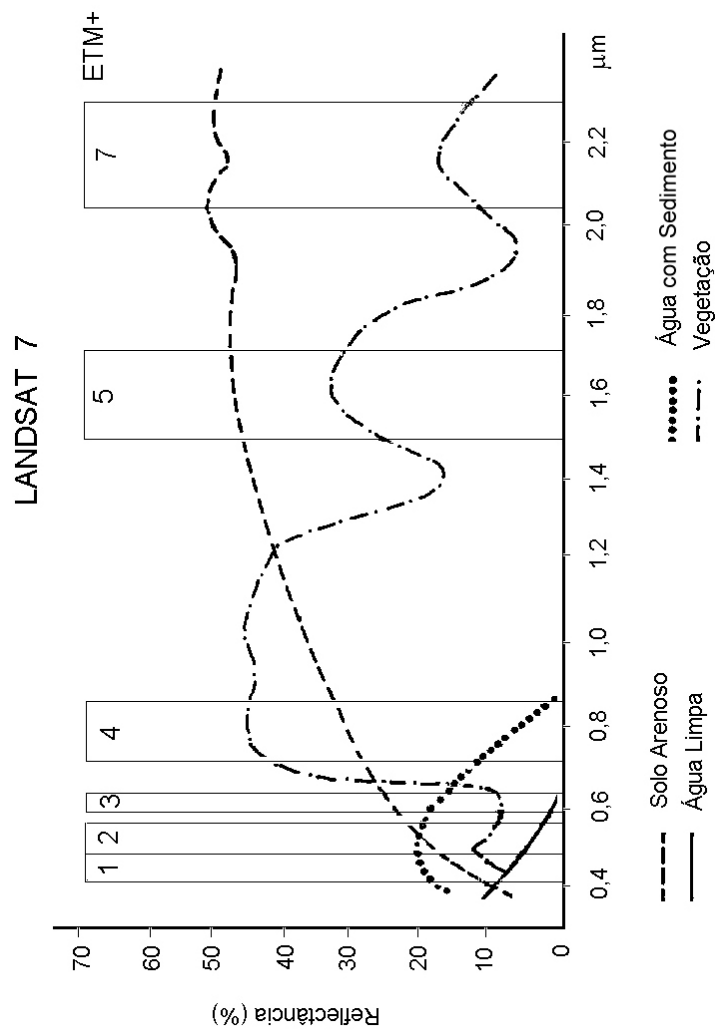


FIGURA 7 – Comportamento espectral de alguns alvos

### 5.7.1 – Técnicas de Interpretação Visual

Obtidas as fotografias aéreas e/ou imagens (satélite) e estando definidos os objetivos do trabalho, inicia-se o processo de interpretação, o qual envolve três etapas: foto-leitura, foto-análise e a fointerpretação propriamente dita.

A foto-leitura consiste essencialmente na identificação de feições ou objetos sobre imagens fotográficas. É uma interpretação superficial e muito simples, onde se levam em consideração apenas aspectos qualitativos, como por exemplo: isto é uma árvore, aquilo é uma casa etc.

Foto-análise consiste no estudo das feições ou objetos presentes na fotografia ou imagem, ou seja, é o estudo da avaliação e ordenação das partes que compõem a fotografia/imagem. É uma interpretação mais precisa do que a foto-leitura, pois se mencionam aspectos semiquantitativos daquilo que se interpreta. O foto-intérprete começa a utilizar o seu conhecimento técnico e a experiência prática do seu campo de trabalho.

A interpretação é o processo que utiliza um raciocínio lógico, dedutivo e indutivo para compreender e explicar os objetos, feições ou condições estudadas nas duas fases anteriores.

Para o foto-intérprete, as características mais importantes na interpretação de imagens fotográficas são: tonalidade/cor, textura, forma, tamanho, sombra e padrão.

*Tonalidade/cor* – A tonalidade está relacionada com a intensidade da radiação eletromagnética refletida e/ou emitida pelos alvos, ou com o retorno do sinal, no caso dos sistemas ativos (radar).

A tonalidade nada mais é do que diferentes graduações de cinza, que variam do branco ao preto, constituindo-se em elemento essencial na interpretação de fotografias aéreas e em imagens de satélite. As graduações de cinza da imagem dependem das características da emulsão, processamento fotográfico, propriedades físico-químicas dos objetos/alvos fotografados ou imageados, além das condições de iluminação/topografia e condições atmosféricas. Assim, a latitude, mês e hora são variáveis que interferem, podendo um mesmo tipo de cobertura aparecer com tonalidades diferentes, dependendo da hora, local e época do ano.

A tonalidade em uma fotografia aérea ou em uma imagem de satélite é diretamente proporcional à radiância dos alvos da superfície.

As diferentes tonalidades de cinza encontradas em uma fotografia aérea, ou em uma determinada faixa de comprimentos de onda (imagem de satélite) para um mesmo alvo e para uma mesma data e horário de tomada dos dados, são explicadas pela variação da irradiância na superfície.

A irradiância depende da latitude, da inclinação do Sol (época do ano), da distância Terra/Sol, da orientação e inclinação da superfície topográfica e do horário de obtenção dos dados.

A cor, por sua vez, depende do comprimento de onda de radiação eletromagnética e da sensibilidade do filme (no caso de fotografias aéreas) e das bandas usadas para gerar a composição colorida (no caso das imagens de satélite). Uma das vantagens é que o olho humano é capaz de distinguir mais cores do que tons de cinza.

*Textura* – a textura é o padrão de arranjo espacial dos elementos texturais. Elemento textural é a menor feição contínua e homogênea distinguível em uma fotografia aérea e/ou imagem de satélite, porém passível de repetição. Depende da escala e da resolução espacial do

sistema sensor, além do contraste entre os objetos ou feições da superfície. A textura varia de lisa a grosseira, dependendo das características dos alvos, resolução e escala.

A tonalidade e a textura são conceitos visuais interrelacionados que auxiliam a percepção e o reconhecimento de características da superfície em fotografias aéreas e em imagens de satélite.

*Forma* – geralmente, as feições naturais apresentam formas irregulares, enquanto que feições trabalhadas pelo homem, como exemplo, culturas, reflorestamentos, estradas etc., possuem formas geométricas.

*Tamanho* – o tamanho pode ser utilizado para identificar feições individuais, dependendo da escala utilizada. O tamanho da feição pode indicar o tipo de ocupação, tipo de uso, tamanho da propriedade etc.

*Sombra* – as sombras são fenômenos comuns nas imagens de satélite obtidas no inverno. Elas são resultantes da iluminação oblíqua do Sol ou da ausência do retorno do sinal, no caso de dados obtidos por sensores ativos.

Em fotografia e imagens de grande escala, a sombra pode proporcionar o reconhecimento e aferição da altura de edifícios, árvores/reflorestamentos etc. Porém, muitas vezes o efeito da sombra mascara detalhes importantes.

Imagens obtidas com baixos ângulos de elevação solar (inverno), favorecem os estudos geomorfológicos, em função da sombra propiciar o inferimento do modelo topográfico. No entanto, não são adequadas para o estudo do solo, pois seu efeito pode ocultar alvos ou feições de interesse.

*Padrão* – em imagens de satélite, o processo de extração visual de informações consiste basicamente na inspeção e na identificação de diferentes padrões tonais e texturais em cada banda espectral, assim como sua comparação em diferentes bandas espectrais e épocas. Devido às características de repetitividade de imageamento, pode-se analisar variações temporais apresentadas pelos diferentes padrões de tonalidades e de textura dos alvos. O padrão ou arranjo espacial das fazendas, dos campos, das culturas, ou de outros alvos torna-se, usualmente, uma característica importante na interpretação.

### **5.7.2 - Técnicas de Classificação de Imagens**

A classificação de imagens refere-se à interpretação de imagens de sensoriamento remoto auxiliada por computador. Embora alguns procedimentos permitam incorporar informações acerca de características das imagens, como textura e contexto, a maior parte da classificação de imagens baseia-se exclusivamente na detecção de assinaturas espectrais (padrões de resposta espectral) de classes de cobertura do solo.

Classificação, em sensoriamento remoto, significa a associação de pontos de uma imagem a uma classe ou grupo; por exemplo, água, cultura, área urbana, reflorestamento, cerrado etc., ou ainda o processo de reconhecimento de classes ou grupos cujos membros exibem características comuns.

Ao se classificar uma imagem, assume-se que objetos/alvos diferentes apresentam propriedades espectrais diferentes e que cada ponto pertence a uma única classe. Além disso, os pontos representativos de uma certa classe devem possuir padrões próximos de tonalidade e textura.

A classificação de imagens pode ser subdividida em supervisionada e não supervisionada, de acordo com a forma como a classificação é conduzida. Na classificação não supervisionada o analista busca definir todas as categorias de cobertura do solo existentes na imagem em certos níveis de generalização, enquanto que na classificação supervisionada, a tarefa consiste em detectar tipos específicos de cobertura do solo já conhecidos.

**Classificação não supervisionada** - Este tipo de classificação não requer qualquer informação prévia sobre as classes de interesse. Ela examina os dados e os divide nos agrupamentos espectrais naturais predominantes presentes na imagem. O analista então identifica esses agrupamentos como classes de cobertura do solo, através de uma combinação de sua familiaridade com a região estudada e visitas para levantamento de verdade de campo. A lógica com a qual a classificação não supervisionada trabalha é conhecida como análise de agrupamento (*cluster*). É importante reconhecer que os agrupamentos produzidos neste caso não são classes de informação, mas categorias espectrais (isto é, agrupamentos de padrões de reflectância similares). Geralmente o analista necessita reclassificar as classes espectrais em classes de informação. A classificação não supervisionada é útil quando não se tem informações sobre a área imageada, por exemplo, não se dispõe de dados prévios sobre o número de classes presentes. As classes são definidas no algoritmo de classificação.

**Classificação supervisionada** - A classificação supervisionada é utilizada quando se tem algum conhecimento sobre as classes na imagem, quanto ao seu número e pontos (na imagem) representativos destas classes. Antes da fase de classificação propriamente dita, o analista obtém as características das classes, por exemplo, média e variância de cada classe, que serão utilizadas como termos de comparação na classificação, fase denominada de treinamento. Neste tipo de classificação nós identificamos exemplos das classes de informação (tipos de cobertura do solo) presentes na imagem. Estes exemplos são chamados áreas de treinamento. O sistema de processamento de imagens é então usado para desenvolver uma caracterização estatística das reflectâncias para cada classe de informação. Este estágio é frequentemente chamado de análise de assinaturas e pode envolver o desenvolvimento de uma caracterização tão simples quanto a média ou o intervalo de reflectâncias em cada banda, ou tão complexo como análises detalhadas da média, variâncias e covariâncias em todas as bandas.

Existem diversos algoritmos para classificação de imagens, dentre os quais merecem destaque: paralelepípedo, máxima verossimilhança e k-médias.

### 5.7.3 - Aplicação no Uso da Terra e Cobertura Vegetal

O levantamento do uso da terra numa dada região tornou-se um aspecto de interesse fundamental para a compreensão dos padrões de organização do espaço. Desse modo, existe a necessidade de atualização constante dos registros de uso do solo, para que suas tendências possam ser analisadas. Neste contexto, o sensoriamento remoto constitui-se numa técnica de grande utilidade pois permite, em curto espaço de tempo, a obtenção de informações a respeito de registros de uso da terra.

O estudo do uso da terra consiste em buscar conhecimento de toda a sua utilização por parte do homem ou, quando não utilizado pelo homem, a caracterização dos tipos de categorias de vegetação natural que reveste o solo, como também suas respectivas localizações. De forma sintética, a expressão "uso da terra ou uso do solo" pode ser entendida como sendo a forma pela qual o espaço está sendo ocupado pelo homem.



O conhecimento atualizado das formas de utilização da terra, bem como o uso histórico, tem sido um fator imprescindível ao estudo dos processos que se desenvolvem na região, tornando-se de fundamental importância na medida em que os efeitos de seu mau uso causam deterioração no meio ambiente. Os processos de erosão intensos, desertificação, inundações, assoreamentos de cursos d'água, têm sido exemplos cotidianos de seu mau uso.

O conhecimento atualizado da distribuição e da área ocupada pela agricultura, vegetação natural, áreas urbanas e edificadas, bem como informações sobre as proporções de suas mudanças se tornam cada vez mais necessários aos legisladores e planejadores, seja ao nível de governo federal, estadual ou municipal, para permitir a elaboração da melhor política de uso e ocupação do solo.

Entretanto, as medidas para o planejamento do uso da terra têm sido, até recentemente, baseadas em informações fragmentadas sobre os efeitos do uso do solo no ambiente. Isto ocorria porque não existiam registros seguros sobre as condições de uso da terra, não se podendo avaliar as alterações que são provocadas pelo homem.

A utilização de dados atualizados de uso e revestimento da terra é muito ampla, podendo-se citar como exemplo: inventário de recursos hídricos, controle de inundações, identificação de áreas com processos erosivos avançados, avaliação de impactos ambientais, formulação de políticas econômicas etc. No entanto, não existe classificação de revestimento e uso da terra que seja única e ideal. Cada classificação é feita de forma a atender as necessidades do usuário e adaptadas à região.

Neste sentido, os sistemas de sensoriamento remoto, hoje disponíveis, permitem a aquisição de dados de forma global, confiável, rápida e repetitiva, sendo estes dados de grande importância para o levantamento, mapeamento e utilização das informações de uso e ocupação do solo de uma dada região.

O desenvolvimento de um sistema para classificar dados sobre uso da terra e cobertura vegetal natural, obtidos a partir da utilização de técnicas de sensoriamento remoto, tem sido muito discutido. O tipo e a quantidade de informações que podem ser obtidas pelos diferentes sistemas sensores dependem da resolução espacial, radiométrica, espectral e temporal dos mesmos.

A metodologia para levantamento e mapeamento de categorias de uso da terra e cobertura vegetal natural segue em geral as seguintes etapas:

- elaboração de um mapa base: limite da área de interesse, drenagem, coordenadas, rodovias etc.;
- elaboração de uma chave de interpretação (a partir da análise dos elementos de interpretação, presentes na imagem: tonalidade, cor, textura, forma, tamanho, padrão etc.);
- interpretação visual preliminar das imagens (ou classificação)
- trabalho de campo: com objetivo de estabelecer uma associação entre o que foi identificado na imagem, com as correspondentes unidades existentes no terreno, bem como validar o mapeamento;
- interpretação visual final (ou classificação): tem por objetivo ajustar a interpretação visual preliminar após a coleta dos dados em campo;
- montagem do mapa temático final: uso da terra e cobertura vegetal natural.

#### 5.7.4 – Validação do Mapeamento

O mapa temático obtido a partir de imagens de satélite tem por objetivo representar o mundo real. No entanto essa representação possui erros introduzidos durante todo o processo de elaboração do mapa, advindas de falhas do foto-intérprete na identificação das classes, na delimitação dos diferentes alvos, na escolha da escala de trabalho, nas limitações da resolução espacial e espectral do sensor, na data de obtenção das imagens e no desenho final do mapa.

A qualidade de um mapa temático é avaliada em termos de precisão e exatidão. A precisão refere-se ao quanto a área de uma categoria obtida com o mapeamento reflete a verdade no campo. No entanto, a exatidão refere-se à determinada categoria identificada na imagem, esta realmente correta. Portanto, para que o mapa temático represente o mundo real ele deve ter uma confiabilidade estatística tanto em precisão quanto em exatidão do mapeamento. Uma das formas de avaliar a precisão de mapeamento é determinar os erros de inclusão e omissão, com base na área de cada classe calculada no mapa temático e na área real no campo.

O grande problema desse tipo de avaliação é obter informações de campo que realmente representem a verdade terrestre. Tais informações podem ser obtidas em áreas amostrais com o uso de GPS ou produtos de sensoriamento remoto de melhor resolução espacial.

Os tipos mais comuns de amostragem para avaliar a precisão e exatidão de um mapa são: amostragem aleatória simples e estratificada. As unidades de amostragem são: por pontos, transectos e áreas. O tamanho da amostra também deve ser levado em consideração, em geral ele deve levar em conta o critério estatístico e o econômico.

Do ponto de vista estatístico a amostra deve ser suficientemente grande para garantir a confiabilidade dos dados obtidos; no entanto, do ponto de vista econômico não deve ter um tamanho muito grande pois inviabiliza sua utilização. A avaliação da exatidão pode ser obtida por meio de coeficientes de concordância, sendo que estes podem ser expressos como concordância total ou para classes individuais. Alguns dos coeficientes de concordância comumente usados para avaliar a acurácia total do mapa temático são: a concordância total, o coeficiente de concordância *Kappa* e o coeficiente de concordância *Tau*.

#### 5.8 - Processamento digital de imagens

A imagem digital é formada pela conversão do sinal analógico, medido pelo sensor, em uma representação digital que possa ser armazenada numa fita magnética compatível ou CD-ROM, para posterior processamento em computadores. Ela é, desta forma, uma representação numérica quantizada dos valores de radiância correspondentes a cada pequena área unitária imageada no terreno (pixel). Estes valores digitais são normalmente referidos como níveis de cinza ou número digital (ND) onde apenas valores inteiros e discretos são assumidos.

Em sua primeira aproximação, uma imagem pode ser considerada resultante da reflectância ou emitância dos alvos da cena. A tonalidade ou cor em cada ponto é determinada pela alteração ou interação espectral da radiação solar incidente ou da radiação emitida por cada elemento de resolução da superfície.

Diferentes objetos refletem e/ou emitem diferentes quantidades de energia em diferentes comprimentos de onda e estas diferenças espectrais são registradas em uma imagem na forma de variações tonais, de cores ou de densidade. Os sensores remotos buscam detectar e mostrar as diferenças em tonalidade ou cor entre alvos ou entre um alvo e o ambiente, sem as quais não haveria alvo identificável. Deste modo cada pixel contém a informação espectral do alvo de interesse, mais a informação atmosférica, relevo, sazonalidade etc.

No caso de imagens de satélite, a radiância pode ser obtida a partir dos números digitais. Os números digitais podem ser dispostos numa forma matricial onde, além das dimensões espacial e de brilho (radiância) que representam o conjunto de dados que compõe uma imagem tem ainda dimensões espectrais e temporais, uma vez que uma mesma cena pode ser observada em várias bandas espectrais e em datas diferentes.

Portanto uma imagem digital é uma matriz multidimensional, das várias dimensões que representam uma cena. Os índices das linhas e colunas da matriz da imagem digital identificam as coordenadas espaciais X e Y de cada elemento da área imageada no terreno (pixel), e o valor numérico de cada elemento da matriz identifica o brilho (radiância) daquela área. Para uma mesma matriz, maior será a resolução espacial (no caso ETM+ é de 30 x 30 m para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7; de 60 x 60 m para a banda 6 e 15 x 15 m para a banda PAN), e quanto maior for o intervalo total dos valores discretos de níveis de cinza, maior será a resolução radiométrica (no ETM+ varia entre zero e 255 níveis de cinza, enquanto que no MSS varia entre zero e 127).

Em uma imagem digital, quanto maior o intervalo de possíveis valores assumidos por um pixel (ND), maior sua resolução radiométrica; e quanto maior o número de elementos da matriz, maior sua resolução espacial. Os níveis de cinza podem ser analisados através de um histograma, em termos de frequência numérica ou porcentagem de ocorrência, e fornecem informações referentes ao contraste e nível médio de cinza, não fornecendo, entretanto, nenhuma informação sobre a distribuição espacial. A média dos níveis de cinza corresponde ao brilho da imagem, enquanto que a variância refere-se ao contraste. Quanto maior a variância, maior será o contraste da imagem.

Esta forma de representação numérica das imagens permite a aplicação de uma grande variedade de técnicas e análises de processamentos por computadores, convenientes ao tratamento de enorme volume de dados contidos em uma imagem. No entanto, para o processamento destes dados são necessários softwares específicos. No Brasil os softwares mais usados para processamento digital de imagens são: SPRING, SITIM, IDRISI, ERDAS, GRASS, ER-MAPPER, PCI E ENVI.

As principais técnicas de processamento digital de imagens são: correção de imagens, realce de imagens, classificação de imagens e transformação de imagens.

A correção diz respeito ao ajuste das imagens de forma a obter uma representação da superfície da Terra o mais fiel possível à realidade. O realce está predominantemente voltado à modificação das imagens para otimizar sua aparência para o sistema visual. A classificação refere-se à interpretação de imagens auxiliada por computador. E a transformação refere-se à derivação de novas imagens através de algum tratamento matemático das bandas das imagens brutas.

### 5.8.1 - Correção de imagens

Imagens de sensoriamento remoto são captadas normalmente a grande distância da superfície terrestre. Como consequência, há um percurso atmosférico substancial que a radiação eletromagnética precisa atravessar antes de chegar ao sensor. Dependendo do comprimento de onda e das condições atmosféricas, a radiação que atinge o sensor pode ser substancialmente modificada. O próprio sensor pode mascarar a radiação que incide sobre ele, uma vez que combina uma variedade de componentes óticos, mecânicos e elétricos. Além do mais, durante o período em que a imagem está sendo adquirida, a plataforma (satélite) segue uma faixa que está sujeita a pequenas variações ao mesmo tempo em que a Terra se move debaixo dela. A geometria da imagem está, portanto, constantemente sofrendo modificações. Finalmente, o sinal necessita ser enviado à Terra, podendo sofrer uma grande variedade de distúrbios sistemáticos e aparentemente aleatórios que contribuem para degradar a qualidade da imagem que recebemos. A correção de imagens procura remover estes efeitos de degradação. A correção de imagens pode ser subdividida em correção radiométrica e correção geométrica

#### **Correção radiométrica**

A correção radiométrica refere-se à remoção ou diminuição de distorções originadas quando do registro da radiação eletromagnética por parte de cada detector. Vários fatores podem causar distorções nos valores digitais registrados para as células de uma imagem. Algumas distorções mais comuns, para as quais existem procedimentos de correção, são: desajustes na calibração dos detetores, erros esporádicos na transmissão dos dados e influências atmosféricas.

A correção radiométrica de imagens visa corrigir estas degradações e é uma das mais importantes fases do processamento digital pois, caso estas imperfeições não sejam removidas, poderão ser enfatizadas, por exemplo, quando da aplicação posterior de técnica de realce de imagens.

As principais correções radiométricas são o *stripping* (padrão sucessivo de linhas horizontais que aparecem na imagem devido, por exemplo, à diferença ou desajuste de calibração dos detetores) e o *dropped lines* ou linhas com ausência de informações (padrão horizontal anômalo na imagem que ocorre pela perda de informações quando da gravação ou transmissão defeituosa ou ainda no processamento posterior dos dados).

#### **Correção atmosférica**

A atmosfera é um dos principais provocantes de degradações nas imagens originais, muitas vezes comprometendo a análise e interpretação destas. A intensidade da influência atmosférica depende do comprimento de onda, ou seja, varia de banda para banda (faixa espectral de operação do sistema sensor) e a sua correção na imagem pode ser feita a partir de um modelo matemático.

Estes modelos matemáticos são de difícil aplicação porque normalmente os parâmetros atmosféricos requeridos no modelo geralmente são desconhecidos. Estes parâmetros devem ser obtidos na hora e data de passagem do satélite por estações meteorológicas com equipamentos de radiossondagem.

Na prática, desenvolveram-se técnicas de correção atmosférica com bons resultados, principalmente o método do mínimo histograma, que consiste na identificação, na imagem, de áreas com sombras de relevo, sombra de nuvens ou corpos límpidos d'água, onde assume-se que estas áreas possuem radiância zero e os valores de níveis de cinza não nulos encontrados nestes alvos são considerados provenientes do efeito aditivo do espalhamento atmosférico. O menor valor medido em cada banda espectral nestas áreas é subtraído dos valores digitais de toda a cena na respectiva banda.

Um outro método alternativo de correção atmosférica é o da regressão de bandas. Este método assume que entre duas bandas altamente correlacionadas, a equação da reta de melhor ajuste deveria passar pela origem, caso não houvesse efeito aditivo da atmosfera. Porém, devido a este efeito, a reta corta o eixo y em algum ponto maior do que zero. O valor do ponto de interceptação representa o valor adicionado devido a efeitos atmosféricos naquela banda. Este valor constante da equação da reta é subtraído da banda considerada.

### **Correção geométrica**

Um outro tipo de distorção que as imagens originais apresentam são as chamadas distorções geométricas, que diminuem a precisão da informação. Uma série de aplicações como na cartografia, confecção de mosaicos, sistema geográfico de informações e detecção de mudanças de alvos necessita de dados com uma boa precisão, o que leva a uma necessidade de efetuar tais correções.

Algumas das distorções geométricas são causadas pelos deslocamentos sofridos pelo sistema de eixos do sensor, que podem ser de três tipos, o *row*, *pitch* e *yaw*, que provocam um não alinhamento das varreduras consecutivas.

As variações do tipo *row* afetam a imagem no sentido longitudinal à varredura, enquanto que as variações do tipo *pitch* provocam distorções transversais à varredura. Um efeito semelhante a um leque é provocado pelas variações do tipo *yaw*.

Outras distorções são provocadas pela variação de altitude do satélite, com distorção na escala, e pela variação da velocidade da plataforma, com conseqüente superposição negativa ou positiva das varreduras consecutivas. Também o movimento de rotação da Terra provoca um deslocamento gradual das varreduras no sentido Oeste, assim como as imperfeições do mecanismo eletro-ótico-mecânico do satélite fazem com que a velocidade de deslocamento do espelho não varie linearmente ao longo de sua trajetória, resultando numa aparente variação no comprimento da varredura. Finalmente, quando a superfície do terreno varrida pelo espelho não é normal à órbita do satélite, pode ocorrer um arrasto no sentido transversal à varredura.

Estas distorções geométricas podem ser corrigidas através do uso de determinados modelos matemáticos que descrevem as distorções existentes nos dados. Após a aquisição dos coeficientes deste modelo, uma função de mapeamento é criada para a construção da nova imagem corrigida.

## ***Registro ou retificação de imagens***

As imagens têm, portanto, erros geométricos sistemáticos e não-sistemáticos. Dois tipos de correções são frequentemente usados: o registro e a retificação.

Por registro de imagens entende-se como o processo que envolve a superposição de uma mesma cena que aparece em duas ou mais imagens distintas, de tal modo que os pontos correspondentes nestas imagens coincidam espacialmente. O objetivo do registro é basicamente manipular dados não diretamente correlacionados como sobrepor imagens obtidas por diferentes sensores, sobrepor imagens de diferentes épocas ou de diferentes tomadas de posição etc. A finalidade é, por exemplo, construir mosaicos, detectar mudanças de alvos, obter composições coloridas ou cruzar diferentes informações.

A retificação de imagem é o processo com que uma imagem é transformada planimetricamente. A geometria de uma imagem extraída de uma fita magnética tem um sistema de coordenadas x y (linhas e colunas) que não é planimétrico. Para tornar a imagem planimétrica, converte-se o sistema de coordenadas x y da imagem para um sistema de coordenadas padrão nos mapas, por exemplo, o sistema de coordenadas UTM. Isto pode ser feito associando-se pontos de um mapa padrão (folha topográfica) aos mesmos pontos da imagem a ser retificada. No entanto, isto não remove distorções causadas pela topografia e deslocamentos do relevo nas imagens.

Os mesmos princípios de processamento de imagens são usados para a retificação e o registro de imagens. A diferença é que na imagem retificada a referência é um mapa com uma projeção cartográfica específica, enquanto que no registro de imagem a referência é outra imagem.

Essas distorções geométricas podem ser corrigidas através do uso de determinados modelos matemáticos que descrevam as distorções existentes nos dados. Após a aquisição dos coeficientes deste modelo, uma função de mapeamento é criada para a construção da nova imagem corrigida. O principal instrumento utilizado para correção geométrica é o modelo polinomial, onde o ponto de controle é o elemento principal. O ponto de controle pode ser definido como sendo uma característica detectável na imagem, com localização geodésica precisamente conhecida e preferivelmente invariável com o tempo. Aeroporto, cruzamento de estradas, pontes, feições geológicas podem ser tomados como pontos de controle. Esses pontos são necessários para se estimar os coeficientes do modelo matemático.

O desempenho desses pontos depende do seu número, distribuição e precisão de localização. O número é importante na determinação do grau do polinômio do modelo matemático. Quanto à distribuição, se os pontos de controle não estiverem bem distribuídos na imagem, podem ocorrer faixas sem informações das distorções, dificultando a correção. O ideal é que a imagem tenha um grande número de pontos de controle bem distribuídos e com coordenadas geodésicas e de imagem precisamente conhecidas.

### **5.8.2 – Realce de imagens**

O realce diz respeito à modificação de imagens para torná-las mais apropriadas às capacidades da visão humana. A análise visual desempenha um papel muito importante em todos os aspectos no que se refere à interpretação de imagens de sensoriamento remoto.

As técnicas de realce de imagens modificam, através de funções matemáticas, os níveis de cinza ou os valores digitais de uma imagem, de modo a destacar certas informações espectrais e melhorar a qualidade visual da imagem, facilitando a análise posterior do foto-intérprete. As principais técnicas de realce de imagens são: ampliação de contraste, geração de composições coloridas e filtragem digital.

### **Ampliação de contraste**

Geralmente os níveis de cinza originais de uma cena, obtidos por um sistema sensor qualquer, não ocupam todo o intervalo possível. Esta técnica de realce de contraste (*contrast stretch*) realça a imagem através de uma transformação matemática, ampliando o intervalo original para toda a escala de níveis de cinza ou números digitais disponíveis

Embora a transformação mais comum seja a linear, pode-se implementar qualquer outro tipo de transformação dependendo do histograma original e do alvo ou feição de interesse. Ou seja, esta transformação pode ainda ser: logarítmica, exponencial, raiz quadrada etc.

### **Composições coloridas**

A utilização de composições coloridas é fundamentada no fato de que o olho humano é capaz de discriminar mais facilmente matiz de cores do que tons de cinza. Para cada banda associa-se uma cor primária (azul, verde ou vermelha), ou ainda, as suas complementares (amarela, magenta ou cian), de modo que para alvo diferente da cena associa-se uma cor ou uma combinação de cores diferentes.

Esta técnica comumente utiliza imagens que já estejam realçadas por ampliação de contraste. A restrição deste método é que permite a utilização simultânea de no máximo três bandas.

A reconstituição das cores na imagem advém do processo aditivo das cores primárias (azul, verde e vermelho) conforme estudado anteriormente. A imagem resultante é costumeiramente denominada imagem colorida RGB (*red, green e blue*).

Um outro realce por composição colorida é a transformação IHS, que envolve uma decomposição de uma imagem RGB em componentes de intensidade, matiz e saturação.

### **Filtragem digital**

A técnica de filtragem digital consiste em uma transformação dos níveis de cinza pixel a pixel, levando-se em consideração a informação espacial, isto é, a relação existente entre os pixels vizinhos.

Filtragem digital é definida como qualquer técnica ou processo de tratamento de imagens que, diferencialmente, modificam o conteúdo da imagem e tendem a enfatizar feições de interesse do analista, enquanto suprime outras indesejáveis, como por exemplo, o ruído. É bastante utilizada em geologia estrutural no realce de certas feições de imagem como os lineamentos, falhas, xist

Os três principais tipos de filtros são o passa-alta, passa-baixa e passa-faixa. Denomina-se passa-alta quando ocorre diminuição dos componentes de baixa frequência e aumento dos de

alta frequência, ocorrendo um realce de bordas e detalhes da imagem, enfatizando, por exemplo, redes de drenagem.

Os filtros do tipo passa-baixa tendem a aumentar os componentes de baixa frequência e diminuir os de alta frequência, ocorrendo perda de detalhes e redução do contraste da imagem. Porém, atenuam a influência de processos ruidosos provocados, por exemplo, por defeitos do sensor e erros na transformação matemática. Os filtros passa-faixa atenuam influências de ruídos periódicos.

### **5.8.3 – Classificação de imagens**

A classificação de imagens refere-se à interpretação de imagens de sensoriamento remoto auxiliada por computador. Embora alguns procedimentos permitam incorporar informações acerca de características das imagens, como textura e contexto, a maior parte da classificação de imagens baseia-se exclusivamente na detecção de assinaturas espectrais (padrões de resposta espectral) de classes de cobertura do solo. O sucesso da classificação depende basicamente da:

- Presença de assinaturas distintas para as categorias de cobertura do solo de interesse no conjunto de bandas a ser usado;
- Habilidade para distinguir com segurança estas assinaturas de outros padrões de resposta espectral que possam estar presentes.

Um passo importante no processo de classificação é a avaliação da precisão das áreas amostradas. Isto envolve a identificação no campo das áreas amostradas.

Classificação, em sensoriamento remoto, significa a associação de pontos de uma imagem a uma classe ou grupo; por exemplo, água, cultura, área urbana, reflorestamento, cerrado etc., ou ainda o processo de reconhecimento de classes ou grupos cujos membros exibem características comuns.

Ao se classificar uma imagem, assume-se que objetos/alvos diferentes apresentam propriedades espectrais diferentes e que cada ponto pertence a uma única classe. Além disso, os pontos representativos de uma certa classe devem possuir padrões próximos de tonalidade e textura.

A classificação de imagens pode ser subdividida em supervisionada e não supervisionada, de acordo com a forma como a classificação é conduzida. Na classificação não supervisionada o analista busca definir todas as categorias de cobertura do solo existentes na imagem em certos níveis de generalização, enquanto que na classificação supervisionada, a tarefa consiste em detectar tipos específicos de cobertura do solo já conhecidos.

#### **Classificação não supervisionada**

Este tipo de classificação não requer qualquer informação prévia sobre as classes de interesse. Ela examina os dados e os divide nos agrupamentos espectrais naturais predominantes presentes na imagem. O analista então identifica esses agrupamentos como classes de cobertura do solo, através de uma combinação de sua familiaridade com a região estudada e visitas para levantamento de verdade de campo. A lógica com a qual a classificação não supervisionada trabalha é conhecida como análise de agrupamento (*cluster*). É importante reconhecer que os agrupamentos produzidos neste caso não são classes de informação, mas categorias espectrais (isto é, agrupamentos de padrões de reflectância



similares). Geralmente o analista necessita reclassificar as classes espectrais em classes de informação.

A classificação não supervisionada é útil quando não se tem informações sobre a área imageada, por exemplo, não se dispõe de dados prévios sobre o número de classes presentes. As classes são definidas no algoritmo de classificação.

A classificação não supervisionada está se tornando muito popular na manutenção de bases de dados, principalmente porque utiliza procedimentos de agrupamento extremamente rápidos e que necessitam poucos parâmetros operacionais. Com procedimentos adequados de trabalho de campo e avaliação de exatidão, essa ferramenta pode representar uma maneira rápida e eficaz de produzir dados confiáveis de cobertura do solo de forma contínua.

### **Classificação supervisionada**

A classificação supervisionada é utilizada quando se tem algum conhecimento sobre as classes na imagem, quanto ao seu número e pontos (na imagem) representativos destas classes. Antes da fase de classificação propriamente dita, o analista obtém as características das classes, por exemplo, média e variância de cada classe, que serão utilizadas como termos de comparação na classificação, fase denominada de treinamento.

Neste tipo de classificação nós identificamos exemplos das classes de informação (tipos de cobertura do solo) presentes na imagem. Estes exemplos são chamados áreas de treinamento. O sistema de processamento de imagens é então usado para desenvolver uma caracterização estatística das reflectâncias para cada classe de informação. Este estágio é frequentemente chamado de análise de assinaturas e pode envolver o desenvolvimento de uma caracterização tão simples quanto a média ou o intervalo de reflectâncias em cada banda, ou tão complexo como análises detalhadas da média, variâncias e covariâncias em todas as bandas.

A classificação também pode ser subdividida em determinística e estatística. Na classificação determinística (ou geométrica) pressupõem-se que os níveis de cinza de uma imagem podem ser descritos por funções que assumem valores bem definidos de acordo com a classe.

Na classificação estatística, assume-se que os níveis de cinza são variáveis aleatórias  $z$ . A variável aleatória  $z$  é uma função densidade de probabilidade.

Uma vez que a caracterização estatística tiver sido obtida para classe de informação, a imagem é então classificada através do exame das reflectâncias de cada pixel para decidir com qual das assinaturas ele mais se parece. Há várias técnicas para tomar decisões e elas são, com frequência, denominadas de classificadores. Os mais comuns são: paralelepípedo, mínima distância às médias e por máxima verossimilhança. Cada um deles emprega uma lógica diferente para atribuir pixels às classes.

### ***Paralelepípedo***

A idéia deste algoritmo é determinar um intervalo de valores de níveis cinza para cada classe e para cada banda, através da utilização da área de treinamento. Por exemplo, quando se utiliza uma classificação com três bandas, a determinação dos intervalos dos valores digitais correspondentes a uma certa classe nestas bandas na área de treinamento definirá um

paralelepípedo, onde qualquer ponto da imagem que pertencer a esse paralelepípedo será considerado como pertencente a esta classe.

Este método de classificação é simples e é rápido quanto ao tempo de processamento computacional. Entretanto, apresenta os seguintes problemas: aproximação grosseira da assinatura espectral real dos alvos; pode haver superposição de classes dificultando a separação destas, além do fato de as classes, na realidade, não serem perfeitamente retangulares, levando a erros por excesso (pontos de uma certa classe que na realidade não pertencem a elas podem ser classificadas como tal).

Uma variante do algoritmo *single-cell* é o algoritmo de classificação denominado *multi-cell*, cuja idéia básica é dividir o paralelepípedo do *single-cell* em celas unitárias. Em cada uma destas subcelas é representado um número que indica quantas vezes elas ocorrem na cela do paralelepípedo. A nova classe é obtida considerando-se um limiar mínimo de ocorrência. O algoritmo *multi-cell* possui a vantagem de apresentar resultados mais próximos da realidade, porém o tempo de processamento é maior.

### ***Máxima verossimilhança***

Este algoritmo estatístico de classificação, *maxver* (máxima verossimilhança), consiste em classificar a imagem ponto a ponto, usando o critério da máxima verossimilhança a partir de classes fornecidas pelo usuário e envolve os seguintes passos: determinação do número de classes; escolha das amostras; extração de parâmetros média e variância (ou covariância); supondo-se função gaussiana, calcular as funções densidade de probabilidade de ocorrência de cada classe (um ponto  $z$  será pertencente a determinada classe se  $pr(z) > \text{limiar}$ ). O limiar é um valor real positivo abaixo do qual um ponto não é considerado como pertencente a uma classe.

Deve-se ter em mente algumas restrições neste algoritmo de classificação: a distribuição pode não ser gaussiana para todas as classes; a média e a variância de cada classe podem não ser significativas, caso as amostras sejam inadequadas; na maioria dos casos, a probabilidade de ocorrência de cada classe não é conhecida com precisão; o tempo de processamento é grande e exige um bom conhecimento prévio da área pois torna-se necessário fornecer um número grande de classes.

Podem ocorrer também erros de classificação, ou seja, a probabilidade de dizer que determinado alvo pertence à classe 2, quando na verdade pertence à classe 1, ou de dizer que é da classe 1 quando na verdade é da classe 2. O procedimento por máxima verossimilhança é inquestionavelmente o mais usado para classificação em sensoriamento remoto.

### ***Mínima distância às médias***

Nesta classificação, a separação da imagem segundo diferentes classes é feita basicamente pelo computador, e envolve a utilização da distância euclidiana para medir a similaridade entre os centros iniciais de possíveis classes (médias  $m_1, m_2, \dots, m_k$ ) e posterior avaliação do agrupamento. Este algoritmo deve ser utilizado quando os dados de campo são limitados ou não disponíveis.

#### 5.8.4 – Outras Técnicas de Processamento Digital de imagens

O processamento digital de imagens oferece uma gama ilimitada de possíveis transformações em dados de sensoriamento remoto. Dentre elas podemos destacar:

##### Índice de vegetação

Há uma variedade de índices de vegetação que têm sido desenvolvidos para auxiliar no monitoramento da vegetação. A maior parte está baseada em interações entre a vegetação e a radiação eletromagnética nos comprimentos de onda do vermelho (V) e infravermelho próximo (IVP). Estas duas faixas contêm mais de 90% da variação da resposta espectral da vegetação. Estes índices realçam o comportamento espectral da vegetação, correlacionando-os com os parâmetros biofísicos da mesma, tais como: biomassa, índice de área foliar (IAF) e percentagem de cobertura vegetal.

A reflectância da vegetação na região do vermelho (0,6 - 0,7  $\mu\text{m}$ ) é baixa devido à absorção pelos pigmentos das folhas (principalmente a clorofila). Na região do infravermelho próximo (0,8 - 0,9  $\mu\text{m}$ ), a vegetação apresenta alta reflectância por causa do espalhamento por parte da estrutura das células das folhas. Um índice de vegetação muito simples pode ser obtido dividindo a medida da reflectância no infravermelho pela reflectância do vermelho. Áreas de vegetação densa terão como resultado um valor de índice muito alto. Embora necessite de calibração específica para ser usado como medida real de biomassa, muitas instituições usam o índice como uma medida relativa para fins de monitoramento.

Os índices de vegetação mais usados são: RATIO, NDVI, SAVI e ARVI.

*Ratio Vegetation Index* (RATIO) foi proposto por Rouse et al (1974) para separar vegetação verde de solo utilizando Imagem Landsat – MSS. O IV RATIO é produzido por uma simples divisão de valores de reflectância contidos em bandas do infravermelho próximo por aqueles contidos na banda do vermelho. Sua fórmula é descrita a seguir.

Em que: 
$$RATIO = \frac{NIR}{RED}$$

- *NIR*: banda correspondente ao Infravermelho Próximo (Near Infra Red – NIR);
- *RED*: banda correspondente ao vermelho.

O resultado detecta o contraste entre a banda vermelha e a infravermelha para pixels da vegetação com valores de índices elevados que estão sendo produzidos por combinações de reflectância baixas no vermelho (por causa da absorção da clorofila) e altas no infravermelho (em consequência da estrutura da folha). Além disso, o fato do índice ser construído como uma relação, os problemas de iluminação, variáveis em consequência da topografia e das condições de iluminação solar (azimute e distância zenital) são minimizados. Entretanto, o índice é susceptível a erros pela divisão por zero e a escala resultante da medida pode ser não linear. Em consequência, as imagens IV RATIO não têm distribuições normais, sendo difícil de aplicar alguns procedimentos estatísticos.

*Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) ou Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, foi introduzido para produzir um IV espectral que separa vegetação verde do brilho do solo de fundo, utilizando primeiramente dados digitais do Landsat MSS. É expresso como a diferença entre a banda do infravermelho próximo e vermelho normalizada pela soma das bandas:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Este é o IV mais comumente empregado, que detém a habilidade para minimizar efeitos topográficos ao produzir uma escala linear de medida, possui a propriedade de variar entre -1 a +1 (quanto mais próximo de 1 maior a densidade de cobertura vegetal); o 0 representa valor aproximado para ausência de vegetação, ou seja, representa superfícies não vegetadas. A normalização desta razão dentro de um intervalo (-1, +1) por intermédio da razão da diferença dividida pela soma das bandas do Vermelho e IVP, tem o efeito de aumentar valores baixos e comprimir valores altos.

O NDVI tem se mostrado bastante útil na estimativa de parâmetros biofísicos da vegetação e o seu ponto forte é o conceito de razão que reduz várias formas de ruídos multiplicativos como diferenças de iluminação, sombra de nuvens, atenuação atmosférica, certas variações topográficas. Uma peculiaridade atribuída ao NDVI é a rápida saturação que o torna insensível ao aumento da densidade do dossel. Os valores NDVI estabilizam-se em um patamar independente do aumento da densidade do dossel.

O *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI) que foi proposto por Huete (1988) possui a propriedade de minimizar os efeitos do solo de fundo no sinal da vegetação ao incorporar uma constante de ajuste de solo, o fator L no denominador da equação NDVI. O fator L varia com a característica da reflectância do solo (calor e brilho) e vai variar dependendo da densidade da vegetação que se deseja analisar. Para vegetação muito baixa, é sugerido utilizar o fator L = 1.0; para vegetação intermediária L = 0,5; para altas densidades L = 0,25. A utilização do L = 0 os valores do SAVI serão idênticos ao NDVI, e para o L = 100 os valores do SAVI serão aproximados ao do PVI. A equação do SAVI é escrita da seguinte maneira: A equação do SAVI é escrita da seguinte maneira:

$$SAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} (1 + L)$$

L = variável de ajuste do solo

O *Atmospherically Resistant Vegetation Index* (ARVI) – O Índice de Vegetação Resistente à Atmosfera procura corrigir pixel a pixel por intermédio da diferença de reflectâncias do azul e vermelho, os efeitos do espalhamento atmosférico por aerossóis.

$$ARVI = \frac{NIR - RB}{NIR + RB}$$

Em que o RB é uma combinação das reflectâncias das bandas do azul (B) e do vermelho (R):

$$RB = R - \gamma (B - P)$$

$\gamma$  depende do tipo de aerossol (pode-se usar  $\gamma = 1$  na falta de um modelo para o efeito dos aerossóis).

## **Divisão de Bandas**

Esta técnica consiste na divisão do valor digital dos pixels de uma banda pelos correspondentes valores de uma outra banda. É amplamente utilizada em pesquisa mineral e de discriminação litológica.

Ao se efetuar uma razão entre bandas os quocientes variam em um intervalo que compreende valores reais contínuos. Para a discretização destes valores multiplicam-se os quocientes por um “ganho” e adiciona-se um *off-set*, cujos valores ideais de ganho e *off-set* variam de acordo com a imagem e com o tipo de *ratio* (divisão de bandas ou razão de canais). Estes valores devem atribuir à imagem resultante uma maior variância possível dos níveis de cinza (números digitais), sem saturá-la, e a média deve estar próxima da média do intervalo máximo dos valores digitais da imagem.

Esta técnica possui a vantagem de atenuar os efeitos multiplicativos relativos à topografia, ângulo de elevação e azimute solar, além de enfatizar a separação dos alvos com comportamentos de gradiente diferente nas curvas de reflectância. Possui, também, a capacidade de reduzir a dimensão dos dados, ou seja, as informações de quatro bandas podem ser obtidas através de uma única composição colorida, usando-se três imagens *ratio*. Porém, possui a desvantagem de perder as características espaciais da cena, devido à atenuação das influências de iluminação ou sombreamento do relevo, além de atenuar a discriminação de alvos com comportamento de gradiente semelhante nas curvas de reflectância, e perder as informações espectrais originais.

## **Análise das Componentes Principais**

Os componentes principais, também conhecidos como transformação de Karhunen-Loeve, consistem na geração de novas bandas, não correlacionadas, de tal forma que o máximo de informação possível encontra-se nos primeiros componentes. Envolve uma transformação linear dos dados originais, através de uma rotação e translação de eixos no espaço de atributos espectrais.

Embora haja perda das características espectrais originais, os componentes principais são importantes na redução da dimensionalidade dos dados. Por exemplo: informações de quatro bandas espectrais podem ser reduzidas para duas, ou de sete para três bandas. Além disso, as imagens resultantes geralmente apresentam um melhor poder de discriminação visual.

A análise dos componentes principais (PCA) é uma técnica de transformação linear relacionada com análise fatorial. Para um conjunto de bandas de imagem, esta técnica produz um novo conjunto de imagens, conhecidas como componentes, que estão decorrelacionadas umas com as outras e que são ordenadas em termos da variância do conjunto de bandas originais.

A PCA tem sido tradicionalmente usada como meio de compactação de dados. Para um conjunto típico de bandas de imagem multiespectral, é comum descobrir que as duas ou três componentes são capazes de explicar virtualmente toda a variabilidade original nos valores de reflectância. As últimas componentes tendem a ser denominadas por efeitos de ruído. Rejeitando-se estas últimas componentes, o volume de dados é reduzido sem perda apreciável de informação.

Nos casos onde as imagens estão disponíveis para duas datas, as bandas de ambas as imagens são submetidas à PCA como se todas elas viessem da mesma imagem. Nestes casos,

mudanças entre as duas datas tendem a aparecer nas últimas componentes. Mais nitidamente, se uma série temporal de imagens NDVI é submetida a análise, uma visão muito detalhada das mudanças ambientais e tendências pode ser obtida. Neste caso, a primeira componente mostrará o NDVI típico sobre a série completa, enquanto cada componente sucessiva irá mostrar eventos de mudança em uma sequência com importância ordenada. Examinando-se estas imagens, juntamente com gráficos da sua correlação com as bandas individuais na séries original, pode ser obtida uma percepção importante da natureza das mudanças e tendências sobre a série temporal.

## REFERÊNCIAS

- ASSAD, E. D. e SANO, E. E. **Sistema de Informações Geográficas: Aplicações na Agricultura**. Brasília, EMBRAPA/CPAC, 1998.
- BURROUGH, P. A. E MCDONNELL, R.A. **Principles of geographical information systems**. Oxford, Oxford University Press, 1998. 333 p.
- CÂMARA, G; CASANOVA, M.A.; HEMERLY, A.; MAGALHÃES, G.C.E MEDEIROS, C.M.B. **Anatomia de sistemas de informação geográfica**. Campinas, UNICAMP, 10ª . Escola de Computação, 1996. 197 p.
- DEMERS, M. N. **Fundamentals of geographic information systems**. New Jersey, J. Wiley, 2009, 443 p.
- JENSEN, J. **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspective em recursos terrestres** (tradução José Carlos Neves Epiphanyo et. al.). São José dos Campos, SP, Parêntese, 2009.
- LONGLEY, P. A; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D.W. **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica**. . Porto Alegre, Buokman, 2013.
- MAGUIRE, D.; GOODCHILD, M.F E RHIND, D.W. **Geographical information systems**. New York, Longman Scientific & Technical, Vol. 1 e 2 , 1993.
- MAGUIRE, D.; GOODCHILD, M.F. Y RHIND, D.W. **Geographic information systems: principles, and applications**. Harlow, Longman Scientific and Technical, 1997.
- MIRANDA, J. I. **Fundamentos de Sistemas de Informações Geográficas**. EMBRAPA, Brasília, 2005.
- MOREIRA, M. A . **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação**. Viçosa, MG, UFV, 4ª. ed., 2011.
- NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. São Paulo, Edgard Blucher, 4ª. ed. 2011.
- ROCHA, C.H.B. **Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar**. Ed. Autor, Juiz de Fora, 2000.
- ROSA, Roberto. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. Uberlândia, EDUFU, 7ª ed. 2009.
- ROSA, R. e BRITO, J.L.S. **Introdução ao Geoprocessamento: Sistema de Informações Geográficas**. Uberlândia, 1996.
- TOMLIN, D. **Geographic information systems and cartographic modeling**. New Jersey, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1990. 249 p.
- TOMLINSON, R. F. **Thinking about GIS: Geographic information system planning for mamanagers**. ESRI Press, 2005. 328 p.
- XAVIER DA SILVA, J. E ZAIDAN, R.T. **Geoprocessamento & análise ambiental: aplicações**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2004. 363 p.