

## **Tópico 1 - Sistemas de Informação Geográfica: Principais conceitos**



**Sandra Caeiro**

### **Objetivos deste tópico**

- Compreender e diferenciar os conceitos de Ciência da Informação Geográfica e de Sistemas de Informação Geográfica;
- Conhecer a evolução dos sistemas de informação geográfica no mundo em geral, e em Portugal;
- Identificar e compreender como se representa a informação geográfica, em particular, os dois principais modelos geográficos matricial e vetorial;
- Identificar a importância das componentes escala e tempo no âmbito dos SIG;
- Compreender os principais métodos de interpolação e estatística espacial e sua utilidade;
- Compreender os sistemas de projeção cartográfica;
- Compreender os conceitos de modelos digitais de terreno e deteção remota e sua aplicação em SIG;
- Compreender como se efetua o posicionamento dos dados geográficos;
- Compreender a importância da qualidade da informação geográfica;
- Conhecer os principais Softwares de Sistemas de Informação Geográfica;
- Conhecer os objetivos e principais fases de um projeto em SIG.

## 1.1 A Ciência da Informação Geográfica e os Sistemas de Informação Geográfica: principais conceitos

O conhecimento espacial assume, desde há longa data, uma importância crítica no desenvolvimento das actividades humanas e no modo como o homem interage com o espaço. A possibilidade de se conhecer a localização geográfica de um fenómeno, de se estabelecer relações com outros elementos do território, de identificar padrões espaciais, ou de tomar decisões com base nas suas características geográficas, são alguns exemplos de como a informação e o conhecimento espaciais desempenharam ao longo dos tempos um papel preponderante no desenvolvimento social, político e económico da humanidade. Quase todos os fenómenos com que nos confrontamos diariamente assumem uma expressão territorial. Representar, analisar e conhecer a dimensão espacial associada a esses fenómenos constitui um dos principais desafios que se colocam aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) (Painho e Curvelo, 2008).

O campo das ciências da informação geográfica (CIG) só recentemente se foi evidenciando como um domínio científico com autonomia, não simplesmente um instrumento e não somente uma junção ocasional de conhecimentos de outras áreas. Na sua componente fundamental, inclui matérias de cartografia, posicionamento, sistemas de informação e computação gráfica. A exploração da informação pode ainda requerer conhecimentos no domínio da estatística, da investigação operacional, dos sistemas periciais e da teoria da decisão. A incorporação de conceitos e a resolução de problemas específicos dos inúmeros domínios de aplicação congregou todas estas matérias no problema geral da modelação geográfica, acrescentando-lhes teorias e técnicas de domínios tão díspares como a física, a engenharia civil, o planeamento, a biologia, a economia, a demografia, entre muitos outros (Matos, 2008).

A emergência da Ciência da Informação Geográfica surge associada à criação e evolução dos sistemas de informação geográfica nas sociedades atuais (Painho e Curvelo, 2008).

O termo "Ciência da Informação Geográfica" foi introduzido pela primeira vez pelo Americano Michael Goodchild em 1992, que definiu o termo como o estudo

sistemático de acordo com princípios científicos da natureza e propriedades da informação (Goodchild, 1992).

A Ciência da Informação Geográfica é assim um dos domínios do conhecimento da Ciência da Informação, que lida com a informação geográfica. Esta ciência que é experimental, opera através das técnicas, métodos e abordagens associadas ao uso dos SIG, ou seja a CIG é o campo de pesquisa que procura redefinir os conceitos geográficos e o seu uso no contexto dos SIG (Painho e Curvelo, 2008).

Os conteúdos da Ciência da Informação Geográfica de acordo com Goodchild (1992) são:

- Levantamento e recolha de dados;
- Armazenamento e gestão de dados;
- Estatística espacial;
- Modelação de dados e teorias sobre os dados espaciais;
- Estrutura de dados, algoritmos e processos;
- Visualização;
- Ferramentas analíticas;
- Aspetos institucionais, administrativos e éticos.

A Ciência da Informação Geográfica (CIG) é um dos domínios do conhecimento da Ciência da Informação, que lida com a informação geográfica. Esta ciência que é experimental, opera através das técnicas, métodos e abordagens associadas ao uso dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), ou seja a CIG é o campo de pesquisa que procura redefinir os conceitos geográficos e o seu uso no contexto da ferramenta operacional e prática SIG, que permite armazenar, processar, visualizar e analisar dados de natureza espacial. A CIG constitui um edifício do conhecimento que é implementado nos SIG e que torna o seu uso possível (Fig. 1) (Painho e Curvelo, 2008).



Fig. 1 - O edifício da Ciência da Informação Geográfica. Fonte: Painho e Curvelo (2008).

Os SIG podem definir-se como um sistema composto por hardware, software e um ambiente institucional que permitem capturar, armazenar, verificar, integrar, sobrepor, manipular, analisar e visualizar dados referenciados geograficamente, funcionando como uma ferramenta de apoio à resolução de problemas geográficos. Envolve uma base de dados espacialmente referenciada e um software próprio. Desta forma um sistema SIG deve conter:

- entrada de dados;
- representação;
- armazenamento e pesquisa de dados;
- gestão, transformação e análise de dados;
- saída de dados, produção de relatórios, gráficos e estatísticas.

Os SIG podem integrar informação de escalas e fontes diversas, como por exemplo:

- mapas analógicos em formato papel;
- fotografia aérea;
- componentes multimédia: imagem, vídeo, som;
- cartografia numérica;
- tabelas alfanuméricas;
- dados de campo;
- deteção remota;
- GPS;
- *lazer scanning*
- Outros.

Uma vez referenciados os dados a coordenadas espaciais ou geográficas poder-se-á utilizar o SIG tanto como um sistema de base de dados com capacidades específicas para dados referenciados espacialmente, como para realizar operações para analisar as fontes de informação.

A construção de um modelo geográfico para descrição da realidade apresenta diversos problemas, nomeadamente a diversidade do universo de fenómenos, a dificuldade na definição dos fenómenos e na sua especialização e caracterização. O universo do discurso é composto por uma série de definições, ou seja por um conjunto de ontologias (Matos, 2008). As **ontologias** correspondem a modelos intencionais de uma linguagem lógica que especificam um conjunto de premissas de acordo com o sentido intencional dos termos do vocabulário comumente utilizado no contexto do conhecimento a representar (Painho e Curvelo, 2008). Este vocabulário é fundamental em SIG de forma a definir entidades, classes, propriedades, funções e relações espaciais, modelos geográficos, entre outros, como se poderá verificar ao longo deste tópico.

Alguns dos termos que são importantes no âmbito da CIG/SIG são (Matos, 2008):

*Objeto* - representação física de uma entidade (fenómeno espacial ou não);

*Característica (feature)* - conjunto da entidade e do objeto;

*Tipo de objeto* - forma de representação espacial dependente do modelo conceptual utilizado (e.g. linha, ponto, polígono, pixel);

*Elemento gráfico* - componente gráfica da construção do objeto;

*Camada (layer) ou tema ou cobertura* - separação lógica de informação cartográfica de acordo com o tema (e.g. estradas, cidades, uso do solo);

*Carta ou mapa* - conteúdo geométrico e propriedades gráficas de uma representação geográfica com estrutura de desenho ou destinada à visualização.

## 1.2. Evolução dos Sistemas de Informação Geográfica no mundo

A conceptualização no espaço surge naturalmente no modo de perceber a realidade e a antiguidade da construção de representações cartográficas é disso uma evidência. O mais antigo vestígio de um mapa data de 3800 a. C., uma placa de argila mesopotâmica representando montanhas, cursos de água e outros objetos passíveis

de representação cartográfica (Matos, 2008). O petróglifo de Bedólina, no Norte de Itália (200 aC. - 1500 dC.) é conhecido como sendo o primeiro esforço de representação de um território habitado. Nesta gravura é possível identificar figuras humanas, animais e habitações (Figura 2).

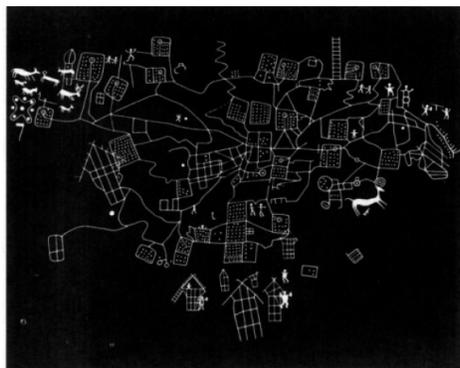


Figura 2 - Exemplo da cartografia na pré-história - O petróglifo de Bedólina. Fonte: Painho e Curvelo (2008).

Mas a tecnologia SIG evolui a partir da cartografia temática por via da combinação de crescentes capacidades computacionais, aperfeiçoamento de técnicas analíticas e renovado interesse nos problemas e responsabilidades ambientais/sociais. Neste contexto, as operações de análise espacial, através da sobreposição de temas, permite traçar uma fronteira temporal e identificar a génese das abordagens que, mais tarde, integradas e, novas ferramentas computacionais, viriam a dar lugar ao que hoje designamos como sistemas de informação geográfica. Os primeiros mapas que surgiram com estas características datam de 1800 (Figura 3) (Painho e Curvelo, 2008).

De acordo com Longley *et al.* (2005), as três fases principais ligadas à história dos SIG são a fase da inovação, a fase de comercialização e a fase de exploração (Tabela 1) que se dão em simultâneo nos EUA, Canadá e Europa.

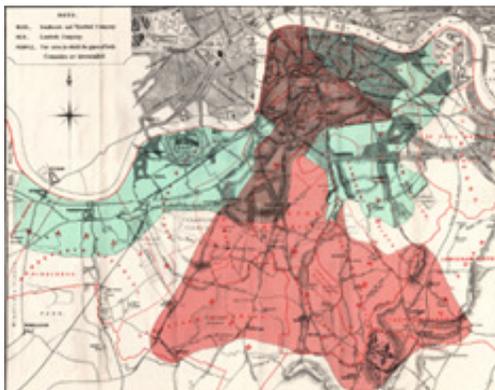


Figura 3 - "The great experience" - Mapa utilizado pelo epidemiologista John Snow, para descrever em 1854 a ocorrência de mortalidade de cólera entre a população que consumiu água contaminada (a verde) com a população abastecida por poços de água não contaminada (a vermelho). A área de sobreposição corresponde à área de análise da sua experiência.

Fonte: UCLA (2013).

A fase de inovação (década de 50 a 70) está ligada ao desenvolvimento da cartografia automática, ao lançamento do primeiro SIG, o *Canada Geographic Information System* - CGIS. A fase de comercialização (década de 80 a 90) está associada à comercialização do SIG nos seus diferentes softwares (exemplo o ArcInfo). A fase de exploração (início do século XXI) é onde aumenta exponencialmente o número de utilizadores de SIG, onde é lançada a diretiva europeia *INfrastrurture for SPatial InforRmation in Europe* - INSPIRE<sup>1</sup> que visa a harmonização e a produção de dados compatíveis no espaço europeu, e o lançamento on-line de motores de busca de mapas como o *Google Earth* ou o *Virtual Earth* (Painho e Curvelo, 2008). Nesta última fase dá-se a utilização generalizada como produto de consumo e como instrumento de trabalho sobre dados geográficos, sendo que o *Google Earth* terá sido o veículo que verdadeiramente disseminou os SIG ao grande público (Matos, 2008).

<sup>1</sup> Mais informação sobre esta diretiva 2007/2/EC do Parlamento Europeu e do Conselho publicada em 14 de Março de 2007, encontra-se disponível em [http://snig.igeo.pt/Inspire/directiva\\_inspire.asp?menu=1](http://snig.igeo.pt/Inspire/directiva_inspire.asp?menu=1).

Tabela 1 - Principais acontecimentos ligados ao desenvolvimento dos SIG (Painho e Curvelo, 2008).

FASE DE INOVAÇÃO – DÉCADAS DE 50 A 70			
GERAL	INVESTIGAÇÃO/ENSINO	INDÚSTRIA	TECNOLOGIA
1957 – Primeiro Produto de Cartografia Automática 1963-Edgar Horwood CRIA a URISA 1969 – Lançamento do SYMAP 1971- CGIS entra em operação	Década de 50-60- Univ. Wash "Geografia Quantitativa" 1964- Harvard Lab 1967- Criação do ECU (UK) 1969- Publi. <i>Design with Nature</i> 1974- Conferência AutoCarto1 1977- topol. data structures conf. Anos 70- Primeiros programas de mestrado	1963- Início do CGIS (R. Tomlison) 1967- DIME 1968 – LINMAP 1969- ESRI Inc 1969- Intergraph Corp 1969 - GRID 1973- Software vectorial GIMMS 1978- ERDAS 1978- IMGRID	Anos 50- Desenvolvimento da Cartografia Automática 1954 - Cartas meteorológicas do Instituto de Meteorologia de Estocolmo 1960 –TIROS-1 Anos 60- Mesa digitalizadora (free cursor) 1972- Lançamento Landsat1 Anos 70 –inkjet raster plotter de grande formato 1978- Minicomputadores
FASE DE COMERCIALIZAÇÃO – DÉCADAS DE 80 E 90			
GERAL	INVESTIGAÇÃO/ENSINO	INDÚSTRIA	TECNOLOGIA
1988- NCGIA 1991-UCGIS 1992- Digital Chart of the Worl 1993- Início do programa GISDATA 1993- Criada a EUROGI 1994- EO 12906 1994- OpenGIS Consortium 1998- criado o AGILE	1984- <i>Basic Readings in GIS</i> 1986- <i>Principles of GIS for Land Resources Assessment</i> 1987- <i>Int.J.GIS</i> 1988- <i>GISWorld</i> 1991- <i>Big Book of GIS</i> 1997- <i>Handling Geographic Info</i> 1999- GIS Day 1999 - <i>Big Book of GIS 2<sup>nd</sup> Ed.</i>	1981- ArcInfo 1986- MapInfo Corp 1996- Mapquest 1998- TerraServer	1985- GPS 1988- TIGER 1996- Internet GIS 1996- Lançamento do "Advanced Earth Observation Satellite" 1999- IKONOS
FASE DE EXPLORAÇÃO – SÉCULO XXI			
GERAL	INVESTIGAÇÃO/ENSINO	INDÚSTRIA	TECNOLOGIA
2000- 1 milhão de utilizadores SIG 2001- Início do programa GINIE 2002- Iniciativa INSPIRE 2002- Lançamento online do National Atlas of the United States 2004 Criação da NGA National Geospatial - Intelligence Agency	Número de Instituições de Ensino superior c/ oferta SIG (Berlusconi, 2003): EUA- 227 Canadá-53 Reino Unido-28 Austrália-21 Japão - 15 Brasil-11 China - 11	2000- A GIS ultrapassa os 7 biliões de US\$ Google Earth e Google Maps MSN Virtual Earth Yahoo! Maps ArcWeb GlobeXplorer TeleAtlas (...)	

### 1.3 Os Sistemas de Informação Geográfica em Portugal

A origem dos SIG em Portugal remonta ao início da década de 70 com os primeiros sistemas a serem utilizados pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil, no Gabinete de área de Sines e na Empresa geral de Fomento, no âmbito de atividades de planeamento e investigação nas Universidades. O crescente apelo e investimento em atividades científicas e de investigação nas universidades e noutras instituições públicas, originou a criação da Junta Nacional de Investigação Científica -JNIC em 1986, tendo sido uma importante força para a utilização dos SIG em Portugal. Mas o

maior impacte deu-se através da criação do Sistema Nacional de Informação Geográfica (SNIG) em 1986 (Painho e Curvelo, 2008).

O SNIG é uma infra-estrutura de informação geográfica adequada ao planeamento e gestão dos recursos naturais, à caracterização e conservação do ambiente, ao ordenamento do território e ao planeamento e à gestão de actividades económicas e de natureza social, estando acessível a todos os utilizadores, com a finalidade de proporcionar uma rede de identificação, visualização e exploração de informação geográfica, bem como o acesso a bases de dados temáticas de âmbito nacional, regional e local (Painho e Curvelo, 2008) (Fig. 4). A primeira versão a ser disponibilizada na internet em 1995, representou um alicerce primordial para a implementação da Directiva INSPIRE em Portugal.



Fig. 4 – Portal da internet de entrada no SNIG (2013) (<http://snig.igeo.pt/> acedido em 25 de fevereiro de 2013). No SNIG é possível pesquisar e efectuar “downloads” de informação geográfica de base e mapas.

O CNIG, Centro Nacional de Informação Geográfica foi criado em 1990 como Núcleo central e coordenador do SNIG, responsável por assegurar a atualização permanente dos dados do SNIG; apoiar a criação de entidades a nível regional ou local, desenvolver ações de articulação a nível nacional, internacional e supranacional e

contribuir para o aperfeiçoamento técnico e científico no domínio da informação geográfica. Em 2002 o CNIG foi extinto e fundido com o Instituto Português de Cartografia e Cadastro, dando origem ao Instituto Geográfico Português, IGP (Painho e Curvelo, 2008).

Em 2006, iniciou-se uma nova fase do SNIG com um modelo conceptual em conformidade com os princípios e normativos estabelecidos pela referida Diretiva. Este sistema foi piloto numa série de intervenções no âmbito da disponibilização da informação espacial e permite a produção de mapas a partir de informação que disponibiliza (Figura 5)(Cosme, 2012).

São funcionalidades deste geoportal (Cosme, 2012):

- disponibilizar o serviço de catálogo de metadados de conjunto de dados, aplicações e serviços;
- oferecer outros serviços de rede para os conjuntos e serviços de dados geográficos em relação aos quais tenham sido criados metadados, nomeadamente serviços de visualização, serviços de descarregamento; serviço de transformação de conjuntos de dados geográficos, tendo em vista garantir a interoperabilidade; e serviços de acesso a aplicações de informação geográfica;
- criar um espaço de interação na comunidade geográfica, envolvendo informação sobre a diretiva INSPIRE, projetos de I&D no domínio das ciências de informação geográfica, e um espaço de opinião e debate, o fórum SNIG.

O SNIG e toda a sua informação está disponível em <http://snig.igeo.pt>. Devem explorar as funcionalidades disponíveis e perceber o seu funcionamento.

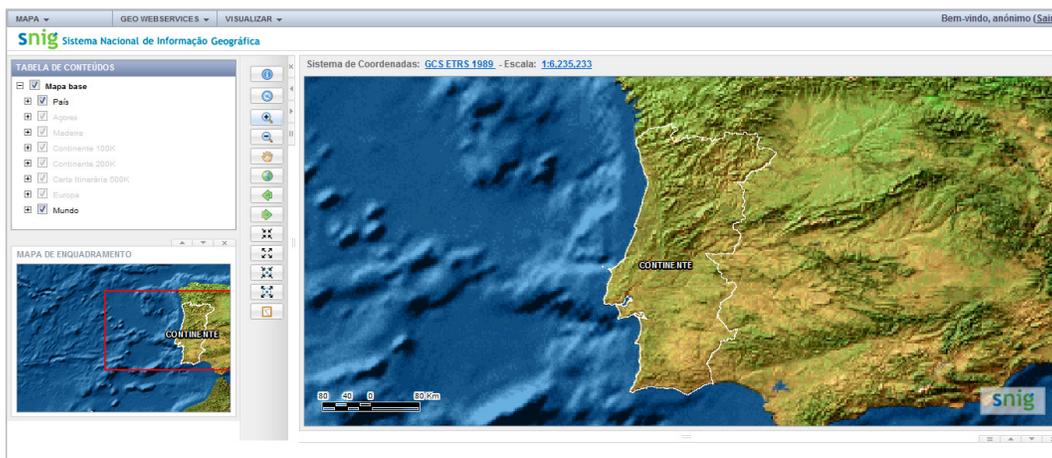


Figura 5 - Visualização de mapas provenientes de servidores nacionais e internacionais no SNIG. Fonte: SNIG (2013).

Em Portugal existem várias instituições produtoras de informação geográfica. No espaço da u.c. encontra-se disponível uma lista e respetivos endereços de internet de alguns dos principais produtores de informação geográfica existentes em Portugal. Destaque-se o Sistema Nacional de Informação Territorial como uma infraestrutura de dados espaciais de âmbito nacional e oficial. A rede de entidades que o partilham e que podem fornecer informação engloba entidades públicas com responsabilidade na gestão territorial. A função fundamental do SNIT (disponível em [www.dgotdu.pt](http://www.dgotdu.pt)) é a de assegurar o acompanhamento e avaliação da política de ordenamento do território e urbanismo, bem como de informação sobre o território e o estado do ordenamento do território.

## 1.4 A representação formal da informação geográfica: modelos geográficos

### 1.4.1 Introdução

Os SIG permitem o armazenamento de um conjunto de informação que possibilita a representação e localização geográfica das entidades e processos do mundo real. As especificidades dos SIG residem não tanto na singularidade da informação que utilizam mas sobretudo, no modo como essa informação é modelada num ambiente computacional adequado à gestão, armazenamento, manipulação, análise e visualização das características espaciais dos objetos do mundo real (Painho e Curvelo, 2008).

A representação formal dos fenómenos geográficos através de modelos geográficos constitui uma das principais componentes da Ciência da Informação Geográfica. A construção destes modelos pressupõe um processo de abstração e simplificação da realidade que poderemos designar como conceptualização do mundo geográfico. As entidades ou fenómenos do mundo real podem ser representados e modelados como **objetos discretos**, ou seja a representação que traduz a localização geográfica de um fenómeno que apresenta uma existência limitada e circunscrita no mundo geográfico. Exemplos de representações destes objetos são fenómenos tais como edifícios, redes hidrográficas ou regiões administrativas (por exemplo região, concelho, freguesia). No entanto, muitos fenómenos geográficos poderão ser melhor descritos através de **superfícies contínuas**. Neste caso a sua representação espacial não se coloca em termos de ocorrência ou não em determinado local, mas sim em termos de condição, valor, amplitude ou concentração do fenómeno em cada ponto do espaço geográfico. Este tipo de representação é especialmente adequado à representação de fenómenos geográficos sem contornos rígidos, de que são exemplos a temperatura, a altitude ou a humidade. O fenómeno é assim modelado recorrendo a uma superfície  $z = f(x,y)$  em que as coordenadas  $x$  e  $y$  representam a posição geográfica e a coordenada  $z$  a condição ou valor do fenómeno nesse ponto (Painho e Curvelo, 2008) (Fig. 6).

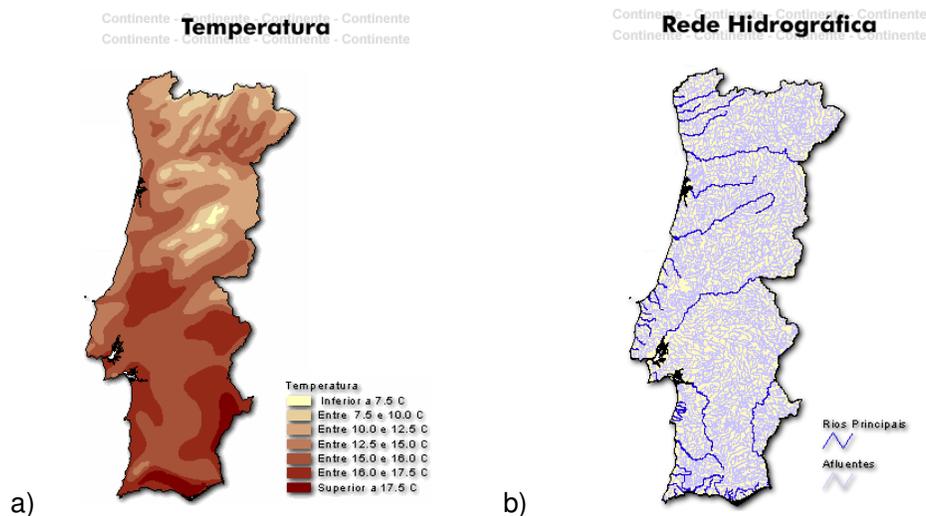


Fig. 6 – Atlas do Ambiente: a) representação da temperatura em Portugal - *superfície contínua*; b) representação da rede hidrográfica em Portugal - *objetos discretos* Fonte: APA (2013a).

A representação formal dos fenómenos geográficos corresponde a especificações que envolvem um processo computacional de organização de uma taxonomia dos objectos de um dado domínio (representação de uma cidade, de uma linha de água, de uma área protegida, etc.), para uma forma que permita a sua tradução automática para o SIG (representação em pontos, linhas, ou polígonos, respetivamente - Figs. 7 e 8)

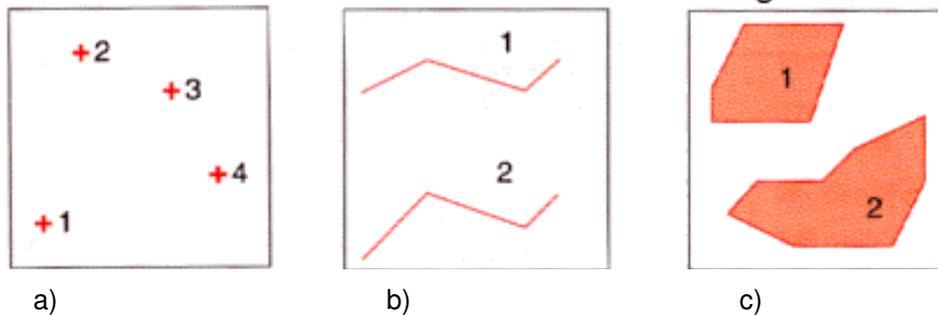


Fig. 7 – Representações dos fenómenos geográficos num SIG. a) Pontos (e.g. Cidades), b) Linhas (e.g. rios, estradas); Polígonos (e.g. área de equipamentos, solo). Fonte: Painho (1998).

	PONTOS	LINHAS	ÁREAS
<b>NOMINAL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>AEROPORTO</li> <li>IGREJA</li> <li>CIDADE</li> <li>HOSPITAL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>RIO</li> <li>FRONTEIRA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>FLORESTA</li> <li>OCEANO</li> <li>SAPAL</li> </ul>
<b>ORDINAL</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CIDADE</li> <li>VILA</li> <li>ALDEIA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>AUTO-ESTRADA</li> <li>EST. PRINCIPAL</li> <li>ESTR. SECUNDÁRIA</li> <li>CAMINHO-FERRO</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ÁREA NÃO INUNDÁVEL</li> <li>ÁREA INUNDÁVEL</li> </ul>
<b>INTERVALO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>1.000 Hab</li> <li>10.000 Hab</li> <li>100.000 Hab</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>CURVA DE NÍVEL</li> <li>50</li> <li>100</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>DENSIDADE</li> <li>300</li> <li>200</li> <li>100</li> </ul>

Fig. 8 - Exemplos de dimensionalidade dos objetos geográficos e sua representação gráfica por pontos linhas e áreas. Fonte: Painho e Curvelo (2008).

Os fenómenos geográficos/objectos são armazenados no SIG de acordo com a sua localização e respectivos atributos. O SIG permite assim fazer análises espaciais de

sobreposição e permitem juntar e adicionar objectos com atributos ou localizações comuns (Fig. 9).

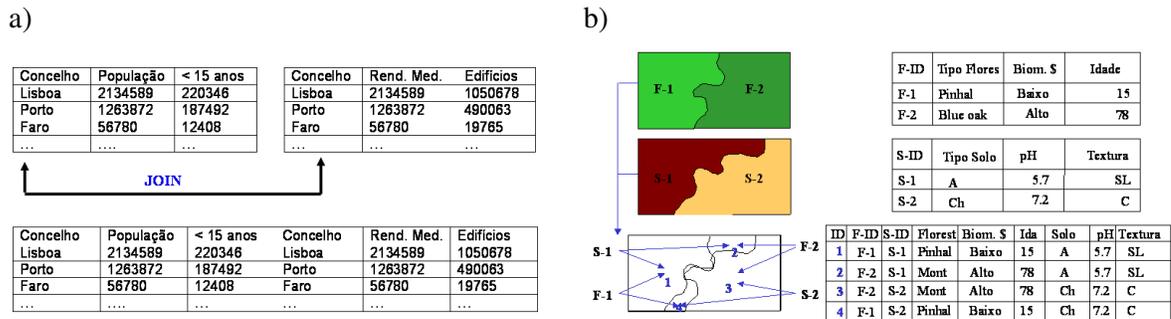


Fig. 9 - Sobreposição de informação com base em atributos comuns (concelho) (a) ou de localizações comuns (“spatial joins” junção de tipo de solo e floresta). Fonte: Painho (1998).

Na componente prática desta u.c. (tópico 3), deverão efetuar exercícios num software para praticar estas funcionalidades.

#### 1.4.2 Os modelos de dados geográficos: modelos vetorial e matricial

As perspectivas de objectos discretos ou superfícies contínuas correspondem a dois modelos conceptuais de representação do fenómeno geográfico. A esta forma de representação associam-se dois principais métodos de representação digital de dados geográficos, o modelo vetorial e o modelo matricial ou *raster*. Ainda que ambos possam ser utilizados para codificar *superfícies contínuas* ou *objetos discretos*, na prática tende-se a registar uma forte associação entre o **modelo vetorial** (Fig. 10) e a perspectiva de **objetos discretos** e o **modelo matricial** (Fig. 11) e a perspectiva **superfícies contínuas**.

O armazenamento da informação dos **modelos vetoriais** numa estrutura designada por **topológica** é umas das características mais importantes na generalidade dos SIG, facilitando a posterior aplicação de funções de pesquisa e análise espacial (Matos, 2008). A topologia permite armazenar a informação posicional e o elemento gráfico associado ao tipo de objeto representado, ou seja integra informação referente às relações que esses objetos mantêm entre si. As propriedades topológicas mantêm-se constantes quando o espaço geográfico dos objetos é distorcido, por exemplo: quando

um mapa é esticado, propriedades como a distância e os ângulos são alteradas, ao passo que as propriedades topológicas como a adjacência (contiguidade entre os elementos geométricos), conectividade (propriedade geométrica que descreve as ligações entre as linhas), e estar contido (propriedade geométrica que descreve uma área contida noutra), mantêm-se inalteradas (Painho e Curvelo, 2008).

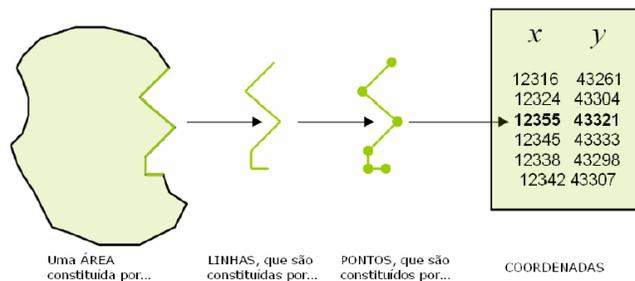


Fig. 10 – Os elementos básicos do modelo vetorial e interdependência entre os polígonos, linhas, pontos e as coordenadas destes últimos. Fonte: Adaptado de Clarke (2003) *vide* Painho e Curvelo (2008).

Tudo o que é necessário para que um ponto seja considerado topologicamente correto é uma indicação, ou uma referência geográfica, que o permita posicionar em relação a outros objetos espaciais. Para que um objeto linear possua topologia terá que consistir numa serie ordenada de pontos com a indicação explícita do ponto inicial e final. Estes dois elementos armazenam a informação sobre a conectividade e estão fortemente relacionados com o processo de digitalização. As entidades do mundo real apresentam frequentemente níveis de complexidade que não são passíveis de ser modelados através do modelo vetorial simples. Na representação do escoamento dos cursos de água, ou sentidos de circulação das estradas (conexão entre arcos); na delimitação das parcelas de terrenos ou estabelecimento das fronteiras entre países (polígonos adjacentes) ou na representação de um pais como o Lesoto (polígono ilha), entre outros, é necessário fornecer uma série de instruções ao computador que possibilitem armazenar a posição relativa dos objetos geográficos, i. e. a representação explicita de alguns tipos de relacionamentos associados aos conceitos topológicos dos dados (Painho e Curvelo, 2008). Na figura 11 é possível visualizar os princípios básicos que sustentam as estruturas de dados topológicas, pondo em

evidencia o modo como as relações entre os objetos tende a ser armazenada num SIG.

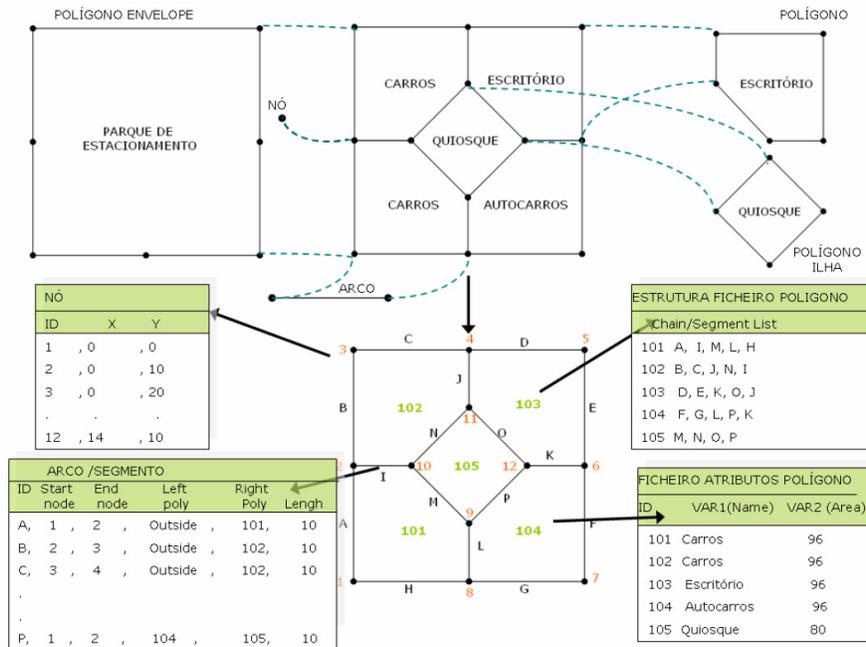


Figura 11 - Estrutura topológica de áreas complexas. Fonte: Adaptado de Heywood *et al.*, (1998) *vide* Painho e Curvelo (2008).

Num SIG de forma à topologia estar correta e assim permitir uma correta sobreposição e análise espacial da informação:

- nenhum nó ou segmento de reta (arcos) é duplicado;
- os nós e segmentos de reta podem ser referenciados a mais do que um polígono;
- todos os polígonos têm um identificar único e são corretamente representados.

O objeto vetorial (ponto, linha ou polígono) encontra-se no SIG associado a um registo numa tabela com os atributos que caracterizam esse objeto (ver figura 12). A utilização de um SIG com base me modelos vetoriais pode ser orientada para a inventariação, pesquisa e visualização de dados assim como para suporte de análise espacial (Matos, 2008).

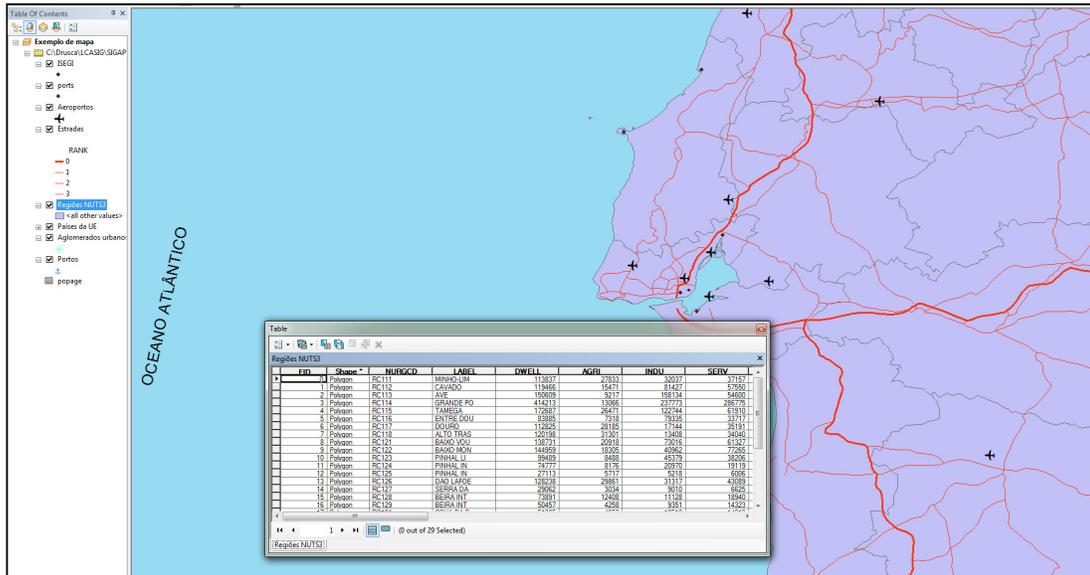


Figura 12 - Mapa com as regiões e tabela associada (informação sobre divisões administrativas NUT3). Fonte de dados ESRI.

A estrutura do **modelo matricial** é caracterizada por uma grelha regular de células, normalmente quadradas (designadas por pixéis), estas unidades básicas podem no entanto assumir diferentes formas: unidades triangulares, hexagonais ou rectangulares. Estas unidades correspondem a uma partição da área de estudo e a cada uma delas encontram-se associado o valor de um dado atributo. Uma vez que a cada célula é associado apenas um valor, o espaço geográfica na estrutura matricial é considerado discreto. De uma forma geral esta estrutura de dados não é adequada à localização precisa de objectos discretos, pois o espaço geográfico é dividido em células regulares que integram uma estrutura em mosaico discreta com resoluções nem sempre adequadas à sua representação. As relações espaciais dos objetos estão implícitas na estrutura em grelha, não sendo por isso necessárias as relações explícitas de armazenamento, comparativamente aos modelos vetoriais (Painho e Curvelo, 2008) (Figuras 13 e 14).

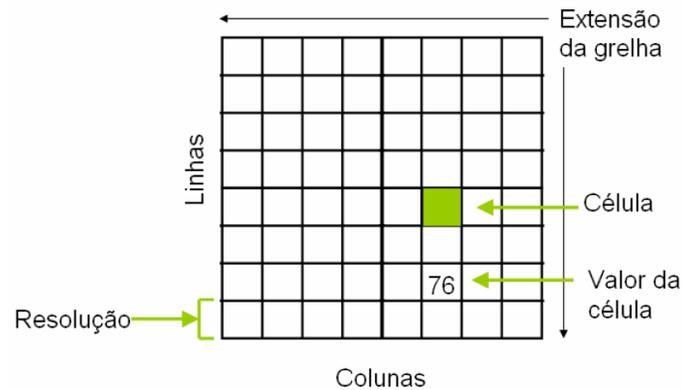


Fig. 13 – Modelo de dados matriciais ou *raster*: estrutura genérica da rede regular. Fonte: Painho e Curvelo (2008).



Fig. 14 - Mapa matricial, onde se observa que os contornos (de elevação no caso deste mapa) são delineados por células. Fonte de Dados da ESRI.

A cada célula está associado um único valor numérico  $V_{ij}$ . Tais valores podem provir de medições específicas para cada célula, casos das imagens satélite, obtidos por interpolação ou por conversão a partir de informação vetorial (Matos, 2008). Quanto menor for a dimensão da célula maior será a resolução da imagem e maior é a dimensão do ficheiro dos dados. Um dos problemas da estrutura matricial decorre da dificuldade em definir uma resolução adequada à representação do fenómeno em análise. Frequentemente esta não pode ser tipificada, pois depende do objetivo do

trabalho, do tipo de dados a introduzir no sistema, da escala dos dados originais, da sua exatidão e da sua precisão (Painho e Corvelo, 2008).

Apesar da estrutura matricial ser frequentemente usada para representar fenómenos estáticos, pode ser facilmente adaptada para lidar com processo dinâmicos. Alterações ao longo do tempo podem ser registadas em diferentes temas (*layers*) referentes a um determinado período temporal. Assim o tempo, tal como o espaço, é assumido como discreto neste modelo (Painho e Corvelo, 2008).

Uma das diferenças fundamentais relativamente às estruturas de dados vetoriais é que a individualidade das características geográficas se perde, ou seja, como exemplificado na figura 15, são identificadas células de edifícios mas não é possível identificar se pertencem a um ou mais edifícios e a que edifícios dizem individualmente respeito (Matos, 2008). No entanto, comparativamente ao modelo vetorial a representação de dados na estrutura matricial apresenta vantagens na produção de outputs de utilização simples e nos processos de análise espacial que envolvem operações de sobreposição e reclassificação e análise de vizinhanças, distâncias e proximidade. No modelo matricial não há assim necessidade de cálculo geométrico de interseções, assumindo que as diferentes matrizes a sobrepor têm já a mesma origem e a mesma dimensão de célula, em que os valores de célula a operar na sobreposição são identificados unicamente por valores idênticos de linha e coluna. A simplicidade no estabelecimento da vizinhança entre células é um dos fatores que tornam este tipo de estruturas de dados adequadas à modelação de fenómenos de propagação, como por exemplo a propagação de fogos florestais. Os modelos matriciais não são necessariamente quadrados ou retangulares, embora o mais frequente seja efetivamente a utilização de células quadradas. As células hexagonais são também utilizadas, tendo como principal vantagem o facto de a adjacência entre células se fazer através de uma aresta e não de forma heterogénea através de vértices ou de arestas, como acontece nas células quadradas (Painho e Corvelo, 2008).

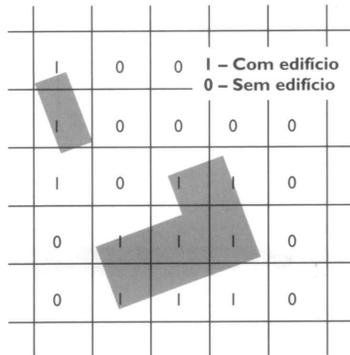


Figura 15 - Representação de zonas com edifícios e sem edifícios numa estrutura matricial, justaposta a uma representação vetorial. Fonte: Matos (2008).

A sobreposição dos modelos matriciais está fortemente associado ao que se designa por **álgebra de mapas** que é a linguagem utilizada para a análise espacial cartográfica utilizando o modelo de dados matricial. Para o efeito, recorre a uma linguagem composta de operadores e funções espaciais que podem ainda ser combinadas com um determinado tipo de operadores (e.g. condicionais, aritméticos, lógicos, combinatórios) (Painho e Curvelo, 2008). Mais informação sobre estas funções e operações pode ser encontrada em Matos (2008).

Aos modelos matriciais está também associado a geocomputação por **autómatos celulares**. Os autómatos celulares representam um sistema dinâmico constituído por uma estrutura matricial em que cada célula tende a assumir vários estados discretos. De um modo geral, a evolução do sistema é operada por intermédio de um conjunto de regras locais, que têm por base os estados das células vizinhas. Trata-se de um modelo simples (modulado em computador em aplicações específicas), capaz de formular, e captar o essencial de um fenómeno complexo, cujo comportamento é o resultado global de muitas unidades (células) a evoluir segundo um conjunto de regras simples de interação (ver um exemplo de aplicação deste método na figura 16).

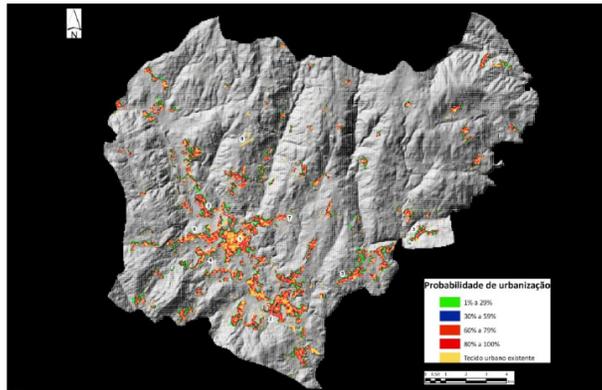


Figura 16 - Simulação da expansão humana para 2030 em Cabeceiras de Basto (Norte de Portugal), com base em autómatos celulares. Fonte: Costa (2010).

As perspetivas objetos discretas e superfícies contínuas tendem, na prática, a associar aos modelos vetorial e matricial, respetivamente, ainda que ambos estes modelos possam ser utilizados para codificar superfícies ou objetos discretos.

A escolha por cada um dos modelos matricial ou vetorial depende dos objetivos e tipos e dados disponíveis. A análise das vantagens e desvantagens de cada um destes modelos tem sido alvo de discussão pela comunidade científica ligada a estas questões. O que se poderá referir é que os modelos matriciais, são mais detalhados (devido a serem representadas por pixels) e muito estruturadas, permitindo obter dados com muita precisão se a recolha dos dados e introdução no SIG tenha sido correta e adequada ao objetivo. A estrutura de dados vetorial é mais rápida e eficiente, menos repetitiva (tendo em conta a representação por pontos, linhas ou áreas) e os vetores vão diretos ao âmago das características geográficas das entidades que representam (Painho e Corvelo, 2008).

As potencialidades, funcionalidades e aplicações dos modelos vetoriais e matriciais serão abordados nos dois tópicos seguintes desta unidade curricular.

### 1.5 A escala e o tempo

A escala e o tempo, conjuntamente com os atributos dos objectos, constituem as componentes básicas da informação geográfica. Independentemente dos *softwares* utilizados os SIG apresentarem ainda fortes limitações no fornecimento de ferramentas

adequadas ao tratamento da dimensão temporal da informação geográfica, o **tempo** e a temporalidade, o movimento e a mudança, continuam a desempenhar um problema essencial para muitas das aplicações SIG.

A informação sobre a data de uma informação geográfica é fundamental para a sua contextualização e uso, como se ilustra na figura 17, com o exemplo da distribuição da população em Portugal Continental. De facto, os SIG parecem estar forçados, em tempos ontológicos, a separar espaço e tempo, o que deste modo impede algumas utilizações científicas desta tecnologia. Se o espaço e o tempo puderem ser efetivamente estudados em separado e os resultados mais tarde combinado, então o tempo deixará de ser uma prioridade de investigação em CIG (Painho e Curvelo, 2008).

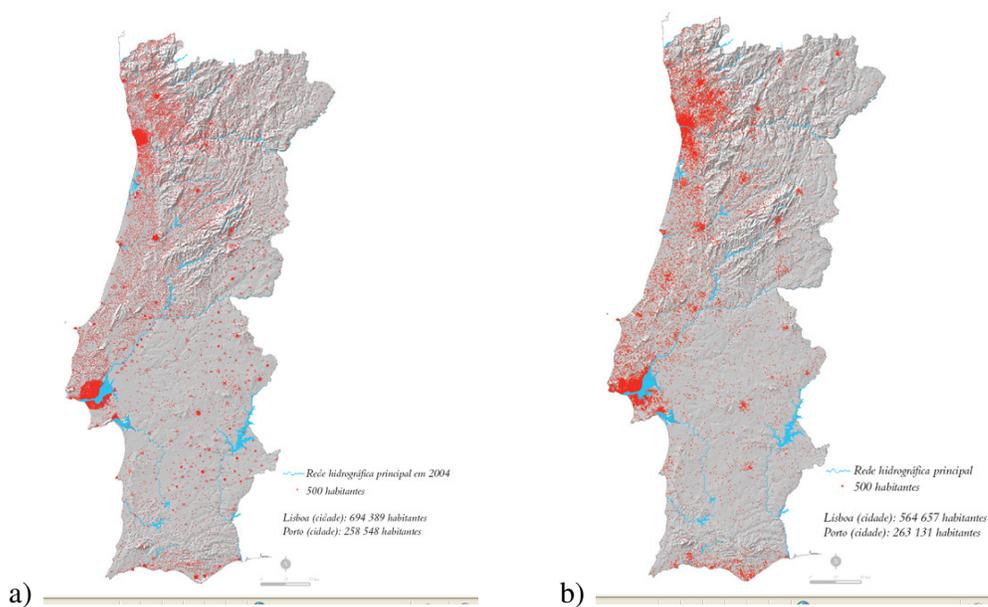


Fig. 17 - Distribuição da População no Continente Português, a) 1940 e em b) 2001. Fonte: Pimentel (2010). A data da informação referida nestes mapas é muito importante para a sua utilização e análise, dado que os dados variam no intervalo de tempo em análise.

Em cartografia a **escala** refere-se à razão entre as dimensões no mapa e as dimensões do mundo real, mapas de pequena escala representam vastas regiões do globo, ao passo que mapas de grande escala representam com maior detalhe, pequenas porções da superfície da terra. A escala do mapa relaciona-se com a geometria do mundo e pressupõe uma generalização do mapa (Painho e Curvelo,

2008). Por exemplo o nível de detalhe e precisão não é o mesmo se analisarmos a rede hidrográfica produzida à escala 1:25000 (como é o caso das cartas militares), comparativamente à escala 1:1 000 000, como é o caso do mapa do Atlas digital do Ambiente, onde neste último caso a precisão e detalhe é necessariamente muito menor (Figura 18).

Chama-se só aqui a atenção que no SIG a visualização do mapa é possível a qualquer escala, independentemente da escala a que o mapa foi produzido. A sobreposição e análise espacial de dois mapas efetuadas a escala diferente também é obviamente possível, embora como já referido, apresentam níveis de detalhe diferentes.

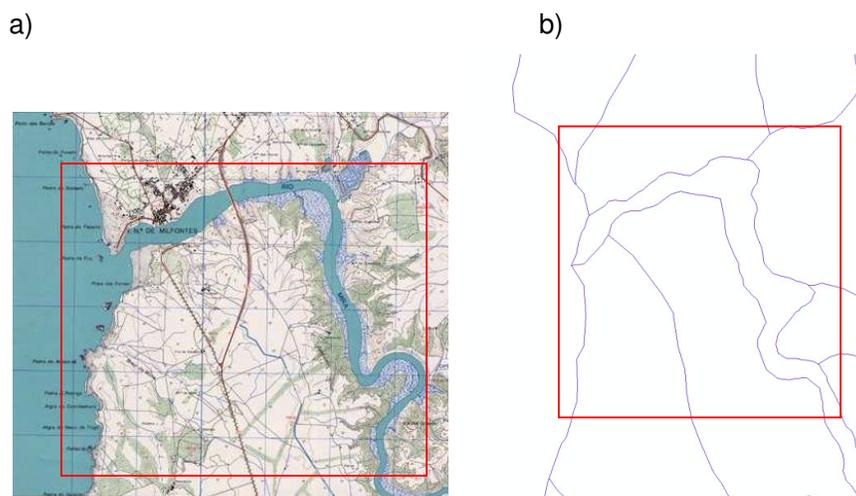


Figura 18 - O nível de detalhe e precisão com que é delineado o estuário e foz do Rio Mira é muito maior na carta militar 1:25 000 do IGeoE (a), comparativamente ao delineado na carta hidrográfica do Atlas do ambiente da APA à escala 1:1 000 000 (b).

## 1. 6 Interpolação e estatística espacial

Os métodos de interpolação são necessários quando não é viável conhecer a distribuição contínua de uma determinada grandeza, por exemplo, a pluviosidade anual num determinado território, ou o teor de nitratos no solo, ou a distribuição espacial de um determinado poluente na atmosfera, água ou solo.

Os métodos de interpolação espacial são assim aqueles que permitem a transformação de um conjunto de valores pontuais, assumindo como pontos de amostra de uma grande de variação contínua, numa superfície de valores de grandeza em análise. Na prática, os métodos de interpolação têm como argumento uma matriz parcialmente preenchida ou um conjunto vetorial de pontos com um valor associado e têm como objetivo a obtenção de valores para as células não preenchidas. A interpolação não é exclusiva dos modelos matriciais (Matos, 2008).

Para um mesmo conjunto de localizações e valores, a superfície obtida por interpolação difere consoante o método adotado. Diferentes métodos podem proporcionar melhores ou piores aproximações conforme o tipo de distribuição dos valores experimentais, realçando-se os métodos **determinísticos** e os **probabilísticos**.

Os métodos determinísticos ajustam a superfície ao conjunto de valores pontuais, tendo genericamente em consideração que o que está mais próximo deve ser mais semelhante que o que está distante mas não tendo em consideração a correlação espacial entre os valores e características particulares da distribuição espacial dos valores (Matos, 2008). De entre os métodos determinísticos mais utilizados destacam-se (Matos, 2008):

i) **Os diagramas de Voronoi**, em que a afetação do valor associado a um ponto é dada ao polígono do diagrama de Voronoi a que está inserido. O método consiste na

geração de um diagrama de Voronoi () , fechado para a área correspondente ao domínio de análise, a partir dos pontos aos quais estão associados os valores que se pretende interpolar. A cada polígono é atribuído o valor do ponto correspondente e assume-se como sendo uma aproximação aceitável que o valor é constante nesse polígono. Este método tem sido muito utilizado em hidrologia.

ii) O **Inverse Distance Weight IDW**, onde é implementado o conceito de autocorrelação espacial, assumindo que quanto mais próximo estiver um ponto da célula a ser estimada, mais semelhante será o valor dessa célula e desse ponto. O IDW não faz estimações acima, ou abaixo, dos valores existentes na amostra. Numa superfície de elevação, provoca um efeito de achatamento nos picos e nos vales.

Devido ao facto dos valores estimados serem médias, a superfície resultante não passa nos pontos da amostra;

iii) o *spline* em vez de utilizar a média dos valores como o IDW, faz ajustar uma superfície sobre os pontos de valores conhecidos, por uma subdivisão triangulada ou quadrangulada do conjunto de pontos original, gerando superfícies suaves. A distância dos pontos em relação às células a serem estimadas não tem uma influência como no caso do IDW. Este método resolve a falta de sensibilidade do método anterior em relação às variações locais, mas corre-se o risco de gerar ondulações que não têm origem nos dados, originando valores anómalos abaixo e acima do máximo no conjunto de valores conhecidos (ver figura 19, onde se compara os resultados deste três métodos e onde se observa que o *spline* origina valores negativos).

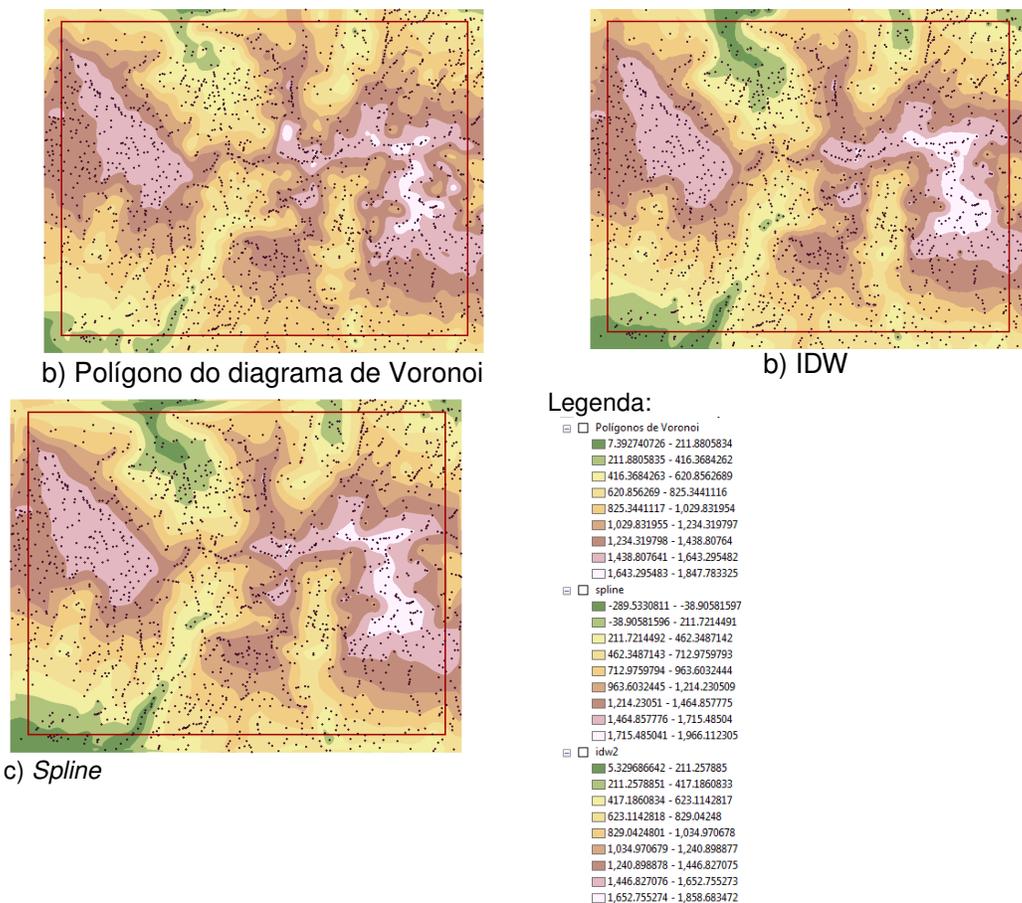


Figura 19 - Interpolação de pontos de elevação, para obtenção de superfícies de revelo (em metros) utilizando os três métodos determinísticos mais utilizados: a) Interpolação com base em polígonos de Voronoi; b) IDW; c) *Spline*. Os pontos a preto correspondem aos pontos de amostragem (valores de cotas). Fonte de Dados da ESRI.

A interpolação pode ter como base não só modelos determinísticos, como os referidos anteriormente, mas também pode ser baseada em métodos probabilísticos, com base em estatística espacial. A **geoestatística ou estatística espacial** é uma das áreas emergentes de investigação que tem fortes relações com a CIG. A estatística espacial baseia-se na auto-correlação ou dependência espacial dos dados geográficos, baseando-se esta dependência para a realização de estimativas. Esta dependência tende a pôr em evidência a inadequação dos métodos da estatística tradicional na análise da informação geográfica (Painho e Curvelo, 2008).

Atualmente, a geoestatística integra as atividades de análise e estimação dos valores de uma variável distribuída no espaço e/ou tempo. Tais valores são implicitamente assumidos como sendo correlacionados com outros, e o estudo de tal correlação é denominado de análise estrutural ou modelação do variograma (Soares, 2000).

De um modo geral, uma abordagem geoestatística integra o seguinte conjunto de etapas sequenciais: a) análise exploratória dos dados; b) análise estrutural (cálculo e modelação do variograma onde se avalia a dependência espacial da variável em estudo e c) realização de estimativas (krigagem ou simulação) (Painho e Curvelo, 2008).

A abordagem geoestatística é assim mais precisa que os métodos determinísticos, onde é possível ainda introduzir conhecimento suplementar, sendo por exemplo possível incorporar o conhecimento de outras variáveis que fazem depender o comportamento da variável a estimar/interpolar. Um exemplo de aplicação da geoestatística num SIG encontra-se ilustrada na Figura 20 onde se determinou a superfície da concentração do metal cádmio nos sedimentos do estuário do sado, com interpolação geoestatística, tendo como dados base um conjunto de pontos de amostragem, onde foram recolhidos os sedimentos e determinada a concentração do metal, tendo sido ainda utilizada informação com a fração fina do sedimento, variável da qual depende a presença de contaminantes. No caso da poluição atmosférica a geoestatística também é muito útil face à dependência da distribuição dos poluentes atmosféricas com a climatologia.

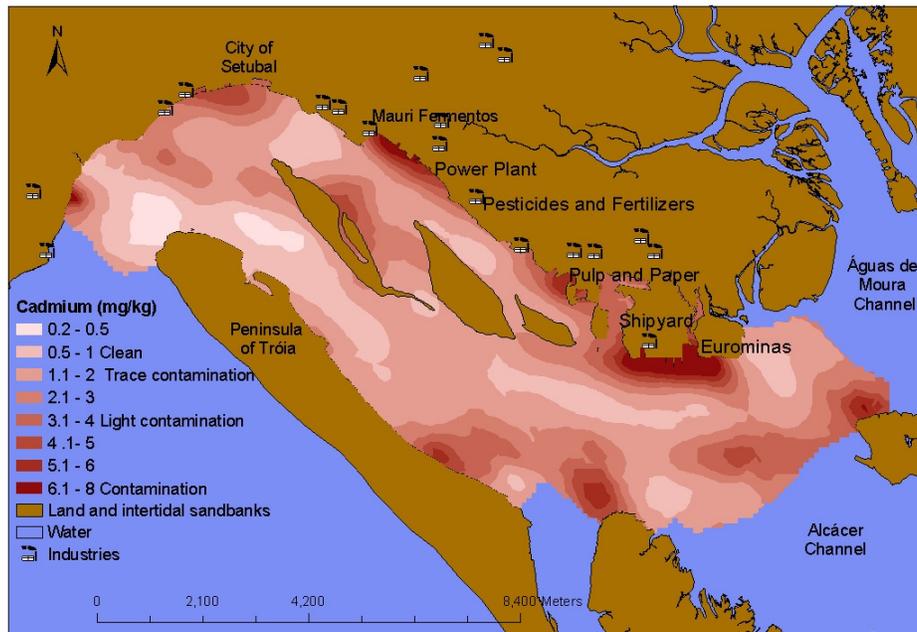


Figura 20 - Distribuição espacial da concentração do metal cádmio (mg/kg) no sedimento do estuário do Sado. Esta superfície foi determinada com interpolação geostatística, tendo como dados base um conjunto de pontos de amostragem, onde foram recolhidos os sedimentos e determinada a concentração do metal e seu nível de contaminação. Fonte: Caeiro *et al.* (2005).

A possibilidade de criação das superfícies por interpolação pelos métodos referidos anteriormente está usualmente disponível nos softwares de SIG (no caso do software Arcgis através da extensão - Spatial Analyst)<sup>2</sup>.

Quando é possível realizar diretamente a medição em toda a superfície, tal como acontece atualmente com a medição de altitude feita por processo de **laser scanning**<sup>3</sup>, não são necessários os métodos de interpolação espacial (Matos, 2008). O levantamento de informação por *laser scanning* consiste na representação digital de objetos do mundo real através de gráficos tridimensionais tendo sido uma metodologia desenvolvida consideravelmente nos últimos tempos. Esta tecnologia permite reproduzir de forma rigorosa quaisquer superfícies, utilizando as coordenadas dos

<sup>2</sup> Na parte prática desta disciplina não serão efetuados exercícios de interpolação, mas podem ser exercitados livremente após a exploração da extensão do Spatial Analyst do ArcGIS (tópico 4).

pontos que são recolhidos através da emissão de um feixe laser e posterior medição das características da luz refletida.

### 1.7 Sistemas de projeção cartográfica

Na base dos SIG está a sobreposição entre diferentes informações geográficas de forma a permitir o processamento, visualização e análise dos dados de natureza espacial. Este tratamento só é possível se os dados geográficos estiverem projetados no mesmo sistema de coordenadas.

Independentemente da forma como a informação geográfica é estruturada ou apresentada, a atribuição de coordenadas a pontos é indissociável do processo de representação geográfica. A representação plana de fenómenos distribuídos sobre a superfície terrestre requer a projecção cartográfica do elipsóide sólido que resulta da rotação de uma elipse, a terra, em torno de um dos seus eixos, num plano. A essa projecção associa-se um sistema de coordenadas cartesianas bidimensional (Matos, 2008).

A utilização de um elipsóide como superfície de referência requer a definição da sua dimensão, forma e posição. O estabelecimento desses parâmetros constitui a definição de um *datum* geodésico. Um elipsóide pode ser posicionado de forma a ajustar-se melhor a uma pequena zona do geóide (superfície que mais se aproxima da forma da terra e coincide aproximadamente com a superfície do nível médio das águas do mar – fig 21) ou a todo o geóide, tomando os respetivos *data* as designações de *datum* local e *datum* global. Por exemplo, o *datum* associado ao Sistema Global de Posicionamento, designado por WGS84, é um *datum* global, definido em função de um sistema cartesiano tridimensional e visando um bom ajustamento global ao geóide. O *datum* local por exemplo a nível de Portugal Continental é o *datum* 73 localizado da Melriça ou o Datum Lisboa (Matos, 2008).

A representação plana de fenómenos distribuídos sobre a superfície terrestre, referenciados a uma elipsóide por coordenadas geodésicas, requer a planificação de uma porção do elipsóide. Dado que o elipsóide não é uma superfície planificável, a sua representação plana só pode ser feita abdicando de algumas propriedades métricas da figura original. As funções de aplicação do elipsóide no plano designam-se

por projecções cartográficas. O conjunto formado pelo *datum* e pela projecção, com os parâmetros associados designam-se por sistema de projecção cartográfica. Existem inúmeras projecções cartográficas em uso, sendo que as duas mais utilizadas em séries cartográficas portuguesas que são a projecção de Bonne e a projecção de Gauss-Kruger. Em Portugal tem-se ainda a considerar um sistema derivado do Gauss-Kruger que é o Sistema Hayford-Gauss-Militar (HGM) utilizado para as coordenadas do Sistema Militar Português, em que a diferença é que a origem é localizada num ponto fictício situado a oeste do Cabo de S. Vicente, 300 km a sul, e 200 km a oeste do ponto de origem das coordenadas cartográficas (Fig. 22). Existe ainda o sistema UTM (Universal Transverse Mercator) que corresponde a uma tentativa de harmonização global de um sistema de projecção cartográfica.

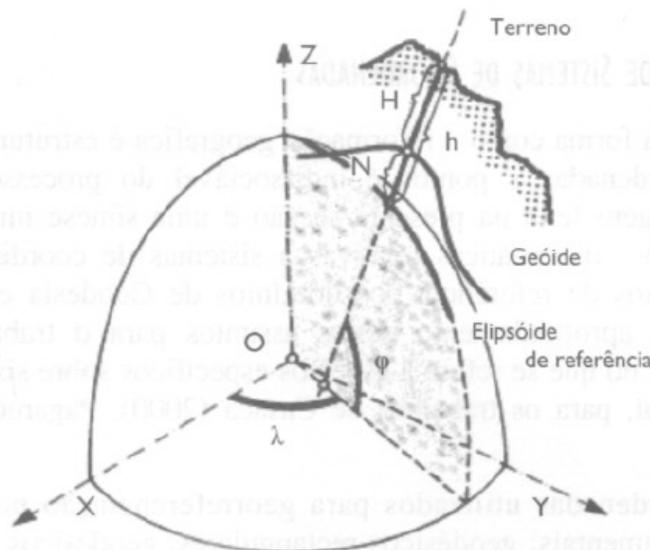


Fig. 21 – Sistema de coordenadas geodésico retangular e geodésico elipsoidal. Fonte: Matos (2008).

Refira-se que a compatibilização geométrica entre conjuntos de dados geográficos definidos em coordenadas cartográficas, é necessário a **transformação de coordenadas** dos objectos de um ou de ambos os conjuntos para um sistema de referência comum (Matos, 2008).

Existem aplicações gratuitas na internet para transformação de sistemas de coordenadas, fora de um SIG. Por exemplo no site do Instituto geográfico do Exército, em <http://www.igeoe.pt/utilitarios/coordenadas.asp>, é permitido ao utilizador efetuar

transformações entre sistemas de coordenadas utilizados em Portugal, sob a forma de Retangulares (Militares, Ponto Central e UTM) e Geográficas, bem assim como transformação entre os diversos sistemas, sendo disponibilizadas conversões entre os data de Lisboa, ED50, WGS84 e Datum 73 na região do Continente.

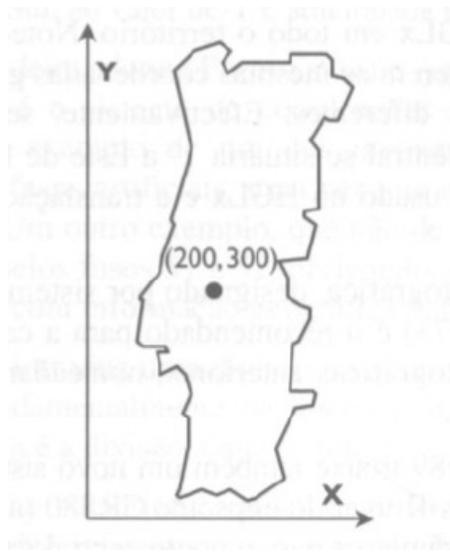


Fig. 22 – Representação esquemática do sistema de eixos HGM. Fonte: Matos (2008).

Serão posteriormente efetuados exercícios práticos sobre esta temática no tópico 3 da u.c.

### 1.8 Modelos Digitais de Terreno

No contexto da utilização em SIG, designa-se modelos digitais do terreno qualquer conjunto de dados em suporte numérico que, para uma dada zona, permita associar a qualquer ponto definido sobre o plano cartográfico um valor correspondente à sua altitude, ou seja permite a criação de uma superfície composta por faces num espaço tridimensional. Dado que estes modelos requerem elevados volumes de informação e de memória e velocidade de processamento, recorre-se habitualmente ao uso de estrutura de dados matriciais em detrimento de estruturas vetoriais (Matos, 2008).

A medição de altitude num número de pontos tão grande quanto possível, diminuindo a importância do método de interpolação e garantido uma menor discrepância entre o modelo e o terreno, e de forma tão rápida e automática quanto possível, são

atualmente importantes pontos de desenvolvimento técnico e teórico em SIG (Matos, 2008).

Em todos os métodos de construção de modelos digitais de terreno intervém, de alguma modo, a propagação de altitude conhecida num dado conjunto de pontos para quaisquer outros pontos da região a integrar no modelo. Essa propagação é feita recorrendo a método de interpolação (ver exemplo na figura 23).

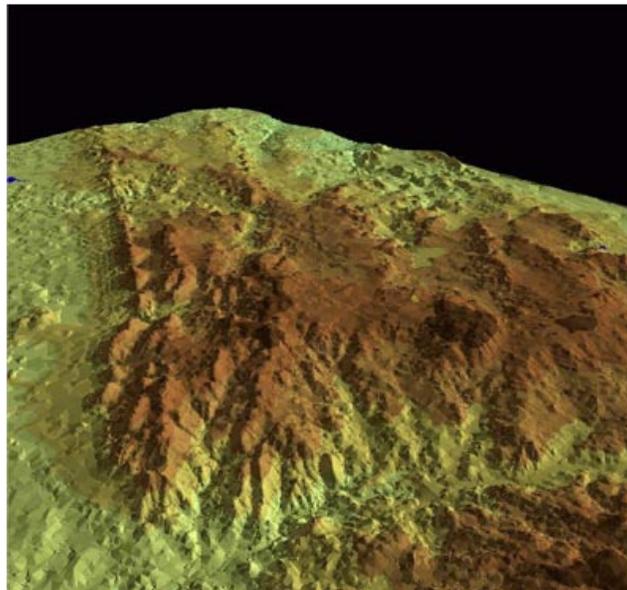


Figura 23 - Modelo digital do terreno da Serra de Monfurado, Portugal. Fonte: UE (2013).

A ESRI Portugal disponibiliza desde 2009 a toda a comunidade o Modelo Digital de Terreno (MDT) para o território nacional, a partir das imagens do MDT global, com resolução de 30 metros, numa colaboração entre a NASA e o governo Japonês. O objetivo é fornecer o mosaico tanto no sistema de coordenadas original (WGS84), como no sistema de referência em vigor para Portugal Continental e Regiões Autónomas. Com a disponibilidade em formato *package layer* do(s) mosaico(s) MDT para o território de nacional, a comunidade poderá agora aceder ao(s) mesmo(s) de uma forma rápida através do ArcGIS Online ou pelo endereço:

<http://www.arcgisonline.com/home/search.html?t=content&q=owner:ESRI-PT>

O MDT global foi criado a partir de 1,5 milhões de imagens, obtidas por um dos sensores do satélite Terra – ASTER (*Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer*) (ESRI, 2013).

Os MDT têm muita aplicações na área das ciências do ambiente como por exemplo permitem determinar redes de drenagem e de bacias hidrográficas, determinação de declives, relevos, áreas de sombreado ou luminosidade, curvas de nível, etc. Esta informação é muito útil no âmbito de estudos de propagação de fogos florestais, no ordenamento do território, na exploração da energia alternativas como a solar ou eólica, na avaliação da qualidade ambiental, entre muitos outros.

### 1.9 Detecção remota

Denomina-se deteção remota quando a aquisição de informação à distância é efetuada através de um dispositivo de medição baseada na radiação emitida ou refletida por objetos, através de sensores de radiação eletromagnética orbitais, como é o caso dos satélites ou da fotografia aérea. Em deteção remota, com sensores passivos, utiliza-se a parte do espetro eletromagnético abrangendo a amplitude de comprimento de onda no domínio do visível e parte do infravermelho. Os sensores ativos utilizam a parte do espetro correspondente às micro-ondas recorrendo a tecnologia de radar (Matos, 2008).

Os sistemas de deteção remota são especializados nas funções de recolha, visualização, armazenamento, classificação e manipulação de dados matriciais. Estes sistemas possuem ferramentas especializadas para a análise espectral com a realização de classificação supervisionada e não supervisionada. Entre os satélites mais conhecidos tem-se o WorldView, o GeoEye, o QuickBird, o Ikonos, o SPOT, o LANDSAT, o IRS-P6, e o CBERS. A produção de cartografia de áreas extensas e os grandes avanços na resolução permitida têm reforçado a crescente importância da utilização da imagem de satélite como informação de base (Cosme, 2012).

As imagens iniciais captadas por deteção remota, sofrem um pré-processamento, compreendendo a correção radiométrica e a correção geométrica e eventualmente a sua georreferenciação a partir de pontos identificáveis e com coordenadas

conhecidas, de forma a permitir a sobreposição no SIG (Matos, 2008). Quando as fotografias aéreas são georreferenciadas designam-se por **ortofotomapas**. As imagens também podem necessitar de classificação para identificação do tipo de fenómeno.

Os sensores podem ser caracterizados, entre outros aspetos pela resolução e imagem produzida. Essa resolução pode ser a nível espacial, espectral, radiométrica e temporal. A resolução espacial é definida pela menor dimensão registada, correspondente à dimensão captada por uma célula do sensor (ver figura 24 a). A resolução espectral é definida pelo número e dimensão de intervalos do espectro eletromagnético passíveis de registo do sensor. A resolução temporal é definida pelo intervalo entre duas passagens consecutivas do sensor sobre o mesmo local. Por exemplo o satélite LANDSAT 7 cobre a mesma área com intervalos de 16 dias. A resolução radiométrica, é definida pela capacidade do sensor de diferenciar a energia eletromagnética que recebe (ver figura 24 b)(Matos, 2008).

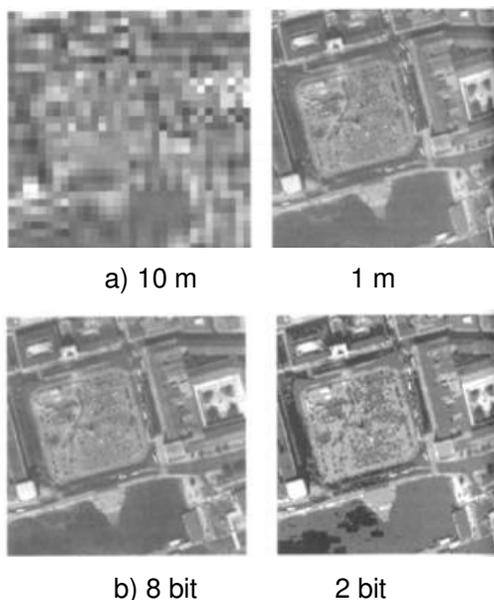


Figura 24 - Diferentes resoluções a) espaciais; b) radiométricas. Fonte: Matos (2008).

O motor de busca e visualizador de informação geográfica "google Earth" é um dos melhores exemplos das potencialidades da deteção remota, dado que faz a cartografia do planeta, agregando imagens obtidas de várias fontes, incluindo imagens de satélite, fotografia aérea, e sistemas de informação geográfica sobre um globo em 3D.

No âmbito das ciências do ambiente um bom exemplo de aplicação da deteção remota é o projeto CORINE (Co-ordination of Information on the Environment) Land Cover (CLC), que teve como objetivo primordial a produção de mapas de ocupação e/ou uso do solo para os países da União Europeia. A Agência Europeia do Ambiente (EEA) e o Centro Comum de Investigação (JRC) da Comissão Europeia, lançaram em 1999 o projeto I&CLC2000 com o objetivo principal de atualizar para 2000 (CLC2000), o mapa CLC de 1990 existente. O projeto CLC2006 prossegue os objetivos das iniciativas anteriores no sentido de produzir um mapa atualizado para a caracterização da ocupação e/ou uso do solo para 2006. O projeto CLC2006 está integrado na iniciativa *Global Monitoring for Environment and Security (GMES) Fast Track Service Precursor (FTSP) Land Monitoring*, que envolve atualmente 38 países (APA, 2013 b). Os mapas podem ser visualizados em [http://sniamb.apambiente.pt/corine\\_lc/](http://sniamb.apambiente.pt/corine_lc/) (Figura 25).

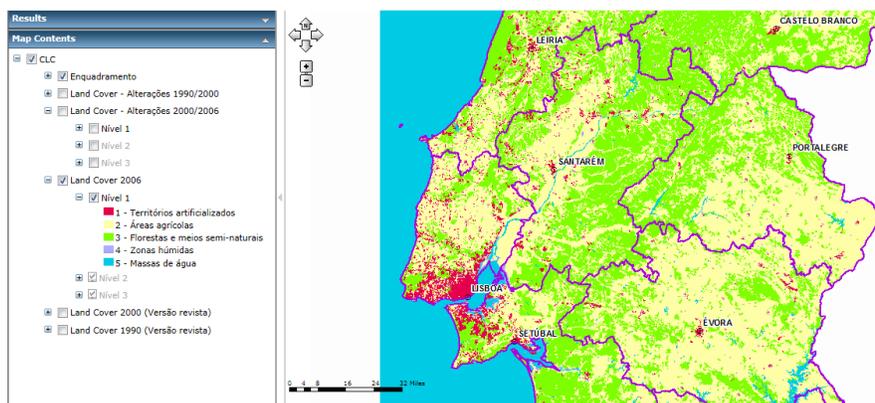


Figura 25 - Mapa do CORINE Land Cover 2006, para a área metropolitana de Lisboa de Portugal, disponível em [http://sniamb.apambiente.pt/corine\\_lc/](http://sniamb.apambiente.pt/corine_lc/). Fonte: APA (2013b).

### 1.10 Posicionamento dos dados geográficos

Os dados geográficos podem, ser criados se estes contiverem informação sobre localização como, coordenadas x e y recolhidas com receptores GPS.

O Sistema de Posicionamento Global, conhecido por GPS do acrónimo do inglês *Global Positioning System*, é um sistema de posicionamento por satélite americano, utilizado para determinação da posição de um receptor na superfície da Terra ou em órbita. Existem actualmente dois sistemas de posicionamento por satélite; o GPS

americano e o Glonass russo; também existem mais dois sistemas em implantação; o Galileo europeu e o Compass chinês.

O sistema GPS foi criado e é controlado pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América, DoD, inicialmente para uso exclusivo militar. Actualmente é de livre acesso para uso civil, requerendo apenas um receptor capaz de captar o sinal emitido pelos satélites. O DoD fornece dois tipos de serviços GPS: *Standard* e *Precision*, sendo que o mais preciso é para usos militares. O sistema está dividido em três partes: espacial, de controlo e utilizador. O segmento espacial é composto pela constelação de um total de 24 satélites. O segmento de controlo é formado pelas estações terrestres dispersas pelo mundo ao longo da Zona Equatorial, responsáveis pela monitorização das órbitas dos satélites, sincronização dos relógios atómicos de bordo dos satélites e actualização dos dados que os satélites transmitem. O segmento do utilizador consiste num receptor que capta os sinais emitidos pelos satélites. Um receptor GPS descodifica as transmissões do sinal de código e fase de múltiplos satélites e calcula a sua posição com base nas distâncias a estes. A posição é dada por latitude, longitude e altitude, coordenadas geodésicas referentes ao sistema WGS84. A partir de 4 satélites já é possível proceder a um ajustamento das observações, pelo que quanto maior o número de satélites maior a precisão. Os receptores de GPS podem ser diferenciais quando é efectuada a correcção em função dos erros detectados num receptor de referência que corrige erros derivados da propagação na atmosfera ou de efemérides dos satélites. Esta correcção também pode ser efectuada à posteriori. No Instituto Superior Técnico em Lisboa existe uma estação GPS de referência (Matos, 2008).

Este sistema permite assim a recolha de dados no campo (por exemplo registo de censos de espécies, localização de pontos de recolha seletiva de resíduos, entre outros), que são posteriormente ou directamente introduzidos no SIG.

Serão posteriormente efectuados exercícios práticos sobre esta temática no tópico 3 da u.c.

### 1.11 Qualidade da Informação Geográfica

A qualidade dos dados poderá ser condicionada pelo resultado de erros de medição durante a aquisição de dados ou então resultar dos conjuntos de transformações que poderão ocorrer, a que os dados são sujeitos nos vários processamentos de SIG (não só na fase de introdução dos dados no SIG, como de todo o seu tratamento e respetiva análise). Podemos ter erros de especificação que ocorrem em circunstâncias em que há falha nas representações ou lacunas. A qualidade dos dados, e os seus impactos, devem ser avaliados em modelos de sensibilização e adequação dos dados para um uso particular (Painho e Corvelo, 2008). Os elementos de qualidade da informação geográfica variam desde a completude, consistência, exatidão posicional, exatidão temporal e exatidão temática (Matos, 2008).

### 1.12 Softwares de Sistemas de Informação Geográfica

Existem hoje em dia no mercado muitos softwares SIG. As soluções Desktop GIS definem-se com softwares instalados num computador pessoal, permitindo visualizar, pesquisar, atualizar e analisar informação geográfica e seus modelos de dados relacionados.

Os SIG podem ser classificados de acordo com vários critérios desde as suas funcionalidades, até ao seu custo, dimensão, plataforma ou modelo de dados. As suas utilizações frequentemente enquadram-nos como sistemas de apoio à decisão e como sistemas de gestão. São pontos fortes dos SIG, a versatilidade de integração de diferentes formatos de imagem e vetor dos principais produtores e a facilidade de construção do modelo vetorial, ligado à partilha a atributos extensíveis e a modelos de dados flexíveis. Os softwares livres (free Open Sources Softwares) embora não sejam tão intuitivos e apelativos como os softwares comerciais, já possuem dispositivos e ferramentas capazes de os tornar competitivos (Figura 26).

Alguns dos softwares comerciais também começam a disponibilizar versões de visualização e funções básicas de SIG de acesso livre pela internet (webGIS)(Cosme, 2012).

Nesta unidade curricular o software a utilizar será o ArcGis da ESRI, um dos softwares mais utilizados em todo o mundo pelas suas potencialidades e facilidade de utilização.

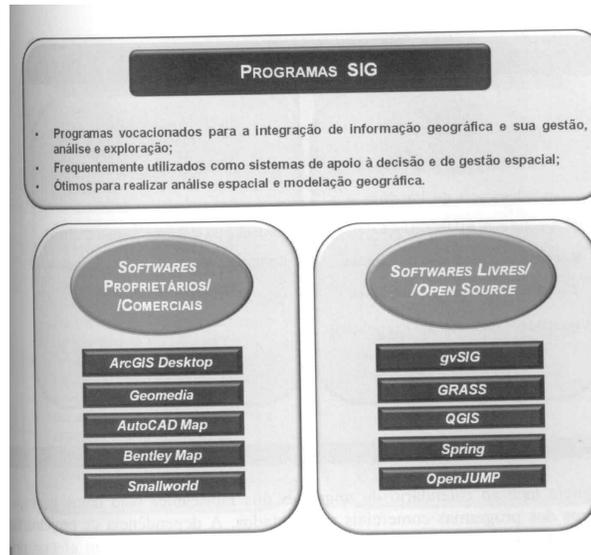


Figura 26 - Utilizações primordiais dos softwares SIG e alguns dos principais softwares de SIG.

Fonte: Cosme (2012).

### 1.13 Projeto em SIG

Um projeto é um conjunto único de atividades que se desenvolvem num dado intervalo temporal com um conjunto de objetivos, com critérios de aceitação definidos e com riscos conhecidos, previstos e estabelecidos no início do projeto. As questões centrais no desenvolvimento de um projeto SIG são:

- Qual o seu objetivo?
- Qual a estratégia, metodologia para se atingir os objetivos definidos?
- Como se implementa, monitoriza, avalia, mantém?
- Quais as experiências, in/sucessos e melhores práticas no terreno?

Para se atingirem estas questões o projeto deve se desenvolver em quatro fases:

- 1º planeamento/concetualização;

- 2º execução (incluindo a aquisição de dados, integração, análise e visualização com a produção dos mapas finais, com a respetiva escala, legenda e direção Norte);
- 3º manutenção e atualização;
- 4º monitorização e avaliação.

No âmbito das ciências do ambiente são inúmeros os exemplos e potencialidades de aplicação de projetos de SIG (ver exemplos de aplicação e casos de estudo neste tópico).

Para os estudantes que optarem por avaliação contínua, o e-folio B irá consistir na elaboração de um pequeno projeto SIG no âmbito da sua aplicação às Ciências do Ambiente.

### Referências bibliográficas

APA (2013a) - Atlas digital do Ambiente. Agência Portuguesa do Ambiente. Disponível em <http://sniamb.apambiente.pt/webatlas/>. Consultado em 26 de Janeiro de 2013.

APA, (2013b). Informação geográfica. Agência Portuguesa do Ambiente. <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=19&subref=174>. Consultado em 27 de Janeiro de 2013.

Caeiro, S.; Costa, M. H.; Ramos, T. B.; Silveira, N.; Coimbra, A.; Medeiros, G.; Painho, M. (2005). Assessing sediment heavy metals contamination in Sado Estuary: An Index analysis approach. *Ecological Indicators*. 5(2), 151-169.

Cosme, A. (2012). Projeto em Sistemas de Informação Geográfica. LIDEL - Edições Técnicas. Lisboa.

Costa, J. P. (2010). Criação de cenários de expansão urbana com recurso a autómatos celulares no apoio ao planeamento e gestão territorial: Cabeceiras de Basto (Norte de Portugal). Tese de mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território. Faculdade de Letras da Universidade do Porto.

ESRI (2013). Modelo digital do terreno. Site disponível em <http://www.esriportugal.pt/index.php?CID=675>. Consultado a 27 de fevereiro de 2013.

Goodchild, M. J. (1992). Geographical Information Science. *International Journal of Geographical Information Systems*. 6(1): 31-45.

Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D., Rhind, D. W. (2005). *Geographic Information Systems and Science* (2 ed.) Chichester. John Wiley & Sons.

Matos, J. (2008). *Fundamentos de informação geográfica*. 5ª Edição actualizada e aumentada. LIDEL - Edições Técnicas. Lisboa.

Painho, M. (1998). Os sistemas de informação geográfica como ferramenta de suporte de integração de planos. *In: Actas do Workshop sobre Instrumentos de Planeamento: Oportunidades e Condicionantes no Ambiente*. Associação Portuguesa de Engenharia do Ambiente. Lisboa, 17 e 18 de Junho.

Painho, M. e Curvelo, P. (2008). *Ciência da Informação Geográfica*. e-book Unidades de Aprendizagem 1 a 5. Mestrado em Ciência & Sistemas de Informação Geográfica. Instituto Superior de Informação Geográfica da Universidade Nova de Lisboa.

Pimentel, D. (2010). *A População em Portugal*. Atlas de Portugal. Os Homens e o Meio. Disponível em: <http://www.igeo.pt/atlas/Cap2/Cap2b.html>. Consultado em 10 de Janeiro de 2010.

SNIG (2013) Sistema Nacional de Informação Geográfica. Visualização de mapas. Disponível em: <http://snig.igeo.pt/viewer/mapviewer.jsf?width=972&height=394&firstpageload=true> acedido em 25 de fevereiro de 2013.

Soares, A. (2000). *Geoestatística para as Ciências da terra e do Ambiente*. Ed. IST Press. Lisboa.

UCLA (2013). John Snow's Map of "The great experience". University of California Los Angeles. Available at [http://www.ph.ucla.edu/epi/snow/snowmap2\\_1854.html](http://www.ph.ucla.edu/epi/snow/snowmap2_1854.html). Disponível em 25 de fevereiro de 2013.

UE (2013). Modelação em SIG. Disponível em [http://www.cea.uevora.pt/umc/Modelacao\\_pt.htm](http://www.cea.uevora.pt/umc/Modelacao_pt.htm). Consultado em 2013.

### **Leituras complementares**

Berry, J. K. (1995) Spatial Reasoning for Effective GIS. Fort Collins, Colorado: GIS World Books.

Burrough P.; McDonneel, R. (1998). Principles of Geographical Information Systems. Oxford University Press.

Chrisman, N. (1997). Exploring Geographic Information Systems. New York: John Wiley.

Clarke, K. (2003). Getting started with geographic information systems (4 ed.). NJ: Prentice Hall.

Cosme, A. (2012). Projeto em Sistemas de Informação Geográfica. LIDEL - Edições Técnicas. Lisboa.

Duckham, M., Goodchild, M. F. and Worboys, F. (2006). Foundation of Geographic Information Science, Francis & Taylor, New York.

Iliffe, J. (2000). Datums and Map Projections for remote sensing, GIS, and surveying. CRS Press.

Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D., Rhind, D. W. (2005). Geographic Information Systems and Science (2 ed.) Chichester. John Wiley & Sons.



Maguire, D. J. , Goodchild, M. F., Rhind, D., David, W. (Ed.) (1991). Geographical Information Systems, Principles and Applications. London: Longman Scientific & Technical.

Matos, J. (2008). Fundamentos de informação geográfica. 5ª Edição actualizada e aumentada. LIDEL - Edições Técnicas. Lisboa.