

Universidade do Porto

FEUP Faculdade de
Engenharia

**REPRESENTAÇÃO ESPACIAL DE DADOS DE
CONTAMINAÇÃO POR ARSÊNIO**

**DISSERTAÇÃO DO MESTRADO EM
ENGENHARIA DE MINAS E GEO-AMBIENTE**



Vanessa da Costa Pinto Machado

Porto, Dezembro de 2010

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

**Representação Espacial de Dados de
Contaminação por Arsénio**

Vanessa da Costa Pinto Machado

Licenciada em Engenharia de Minas e Geo-Ambiente
pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos
do grau de mestre em Engenharia de Minas e Geo-Ambiente

Dissertação realizada sob a orientação de
Professor Doutor José Manuel Soutelo Soeiro de Carvalho,
do Departamento de Engenharia de Minas
da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Porto, Dezembro de 2010

RESUMO

Tem esta Dissertação o objectivo de obtenção do grau de mestre em Engenharia de Minas e Geo-Ambiente, já que detenho, apenas, após 5 anos de frequência académica, o grau de licenciado.

O relatório ora apresentado tem como tema a representação espacial, em programas de informação geográfica, de pontos de água com contaminação por arsénio localizados em Portugal Continental, visando, também, a sua divulgação internacional.

O trabalho envolveu a técnica de Geoprocessamento para reunir, armazenar, tratar, analisar e apresentar as informações espaciais.

ABSTRACT

The report features the spatial representation, in geographic information programs, of water points contaminated by arsenic found in Portugal, focusing, too, its international divulgation.

The work involved the technique of GIS to collect, store, process, analyze and present spatial information.

*“Quem passou pela vida em branca nuvem,
E em plácido repouso adormeceu;
Quem não sentiu o frio da desgraça,
Quem passou pela vida e não sofreu;
Foi espectro de homem, não foi homem,
Só passou pela vida, não viveu.”*

Francisco Otaviano
“Ilusões da Vida”

ÍNDICE

INTRODUÇÃO	1
CONSIDERAÇÕES SOBRE CARTOGRAFIA E SIG	3
TERMOS	3
TRATAMENTO DE DADOS.....	6
MODELOS DE REPRESENTAÇÃO ESPACIAL DE DADOS.....	8
TECNOLOGIAS DE SIG.....	9
GIS DESKTOP	10
A SEGUNDA GERAÇÃO: BANCOS DE DADOS GEOGRÁFICOS	11
A TERCEIRA GERAÇÃO: BIBLIOTECAS GEOGRÁFICAS DIGITAIS.....	12
BIBLIOTECAS DE COMPONENTES GIS	12
REPRESENTAÇÃO DOS DADOS EM TECNOLOGIAS DE SIG.....	13
REPRESENTAÇÃO EM ARCGIS DA ESRI	13
ARCMAP	16
ARCGLOBE.....	16
GOOGLE EARTH	18
DADOS E SEU TRATAMENTO	19
DADOS DISPONÍVEIS, FONTES, DESCRIÇÃO GERAL E ESTRUTURA	19
CONSOLIDAÇÃO DOS DADOS DISPONÍVEIS	21
VERIFICAÇÃO DA COERÊNCIA DOS DADOS.....	21
VERIFICAÇÃO DA CORRECÇÃO DE DADOS.....	22
CORRECÇÃO DA REFERENCIAÇÃO GEOGRÁFICA	22
PREENCHIMENTO DE INFORMAÇÃO EM FALTA	23
LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA	23
INCORPORAÇÃO DE DADOS DO SNIRH.....	24
ELABORAÇÃO DA TABELA DE DADOS FINAL.....	24
REPRESENTAÇÃO ESPACIAL DOS DADOS.....	27
REPRESENTAÇÃO NO ARC GLOBE.....	32
REPRESENTAÇÃO EM GOOGLE EARTH	34
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	36
LISTA DE REFERÊNCIAS.....	37
ANEXOS.....	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplo de transformação de coordenadas do ponto de amostragem 1	23
Figura 2 – Exemplo da informação de um ponto de água subterrânea (amostra 71) na base de dados sintetizados do SNIRH.....	24
Figura 3 – Representação espacial dos pontos de amostragem na CAOP 2010.....	28
Figura 4 – Representação espacial dos pontos de amostragem no mapa com a distribuição das unidades hidrogeológicas	29
Figura 5 – Representação espacial dos pontos de amostragem na carta das principais bacias hidrográficas.....	30
Figura 6 – Informação associada a um ponto de amostragem representada no ArcMap.....	31
Figura 7 – Representação espacial dos pontos de amostragem no ArcGlobe.....	32
Figura 8 – Informação associada a um ponto de amostragem representada no ArcGlobe	33
Figura 9 – Representação espacial dos pontos de amostragem no Google Earth	34
Figura 10 – Informação associada a um ponto de amostragem representada no Google Earth	35

INTRODUÇÃO

A recolha de informações sobre a distribuição geográfica de recursos minerais, propriedades, animais e plantas sempre foi uma parte importante das actividades das sociedades organizadas. Até o desenvolvimento da informática, no entanto, a manipulação de dados geográficos era feita através de mapas e outros documentos impressos ou desenhados numa base. Esta característica impunha algumas limitações, como na análise combinada de mapas oriundos de diversas fontes, temas e escalas e na actualização dos dados, sendo neste caso necessária a reimpressão/redesenho noutra base. A partir da metade do século XX, os dados geográficos passam a ser tratados por um conjunto de técnicas matemáticas e computacionais, denominadas de Geoprocessamento. Para Câmara et al. (2001), uma nova ciência estaria surgindo, denominada de Ciência da Geoinformação, que teria como objectivo “o estudo e a implementação de diferentes formas de representação computacional do espaço geográfico”, pois trabalhar com a geoinformação “significa, antes de mais nada, utilizar computadores como instrumentos de representação de dados espacialmente referenciados”. Este tema é bastante controverso, pois há outros que consideram o Geoprocessamento como a automatização de processos de tratamento e manipulação de dados geográficos que antes eram feitos manualmente.

As ferramentas computacionais para Geoprocessamento, chamadas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), permitem realizar “análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados” (Câmara et al., 2001).

As múltiplas operações apresentadas por um SIG podem ser classificadas em três grupos, de acordo com o fim a que se destinam:

- Gestão de banco de dados geográficos – armazenamento, integração e recuperação de dados de diferentes fontes, formatos e temas dispostos num único banco de dados.
- Análises espaciais – a partir de um banco de dados geográficos, são efectuadas combinações e cruzamentos de dados por meio de operações geométricas e topológicas cujo resultado é a geração de novos dados.
- Produção cartográfica – operação de edição e configuração da representação gráfica dos dados visando a visualização através da tela ou na forma impressa.

Estas três visões do SIG são convergentes e reflectem a importância relativa do tratamento da informação geográfica dentro de uma instituição.

Apresentam-se a seguir algumas definições de SIG:

- “Um conjunto manual ou computacional de procedimentos utilizados para armazenar e manipular dados georreferenciados” (Aronoff, 1989);

- “Conjunto poderoso de ferramentas para reunir, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real” (Burrough, 1986);
- “Um sistema de suporte à decisão que integra dados referenciados espacialmente num ambiente de respostas a problemas” (Cowen, 1988);
- “Um banco de dados indexados espacialmente, sobre o qual opera um conjunto de procedimentos para responder a consultas sobre entidades espaciais” (Smith et al., 1987).

Estas definições de SIG reflectem, cada uma à sua maneira, a multiplicidade de usos e visões possíveis desta tecnologia e apontam para uma perspectiva interdisciplinar da sua utilização. A partir destes conceitos, é possível indicar as principais características de um SIG:

- Inserir e processar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados censitários e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno;
- Armazenar, recuperar, actualizar e corrigir os dados processados de uma forma eficiente e dinâmica;
- Oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, visualizar e imprimir o conteúdo da base de dados georreferenciados.

No decorrer dos anos 80, com a grande popularização e baixo custo das estações de trabalho gráficas, além do surgimento e evolução dos computadores pessoais e dos sistemas de gestão de bancos de dados relacionais, ocorreu uma grande difusão do uso de SIG. A incorporação de muitas funções de análise espacial proporcionou também um alargamento do leque de aplicações de SIG.

Os anos 90 consolidaram definitivamente o uso do Geoprocessamento como ferramenta de apoio à tomada de decisão, tendo saído do meio académico para alcançar o mercado rapidamente. Instituições dos Governos e grandes empresas começaram a investir no uso de aplicativos disponíveis no mercado como o ArcGIS da ESRI, AutoCAD MAP da Autodesk, gvSIG, GRASS, entre outros. Consolidam-se assim as aplicações desktop que agregavam diversas funções no mesmo sistema (modelagem 3D, análise espacial, processamento digital de imagens, etc.). Os utilizadores são especialistas, estando ainda no início a difusão dos benefícios do uso de aplicações de Geoprocessamento.

No fim dos anos 90 e início deste século o uso da WEB já está consolidado e as grandes corporações passam a adoptar o uso de intranet. O SIG, em busca de mais popularização (por demandas do próprio mercado), evolui e passa a fazer uso também do ambiente WEB. Os aplicativos são simples, com funcionalidades básicas de consulta a mapas e a bases alfanuméricas. Os utilizadores já não precisam mais ser especialistas, facilitando o acesso de pessoas não ligadas à área em questão. Tem-se assim um salto no número de utilizadores, o surgimento de sites especializados, revistas, etc.

Houve também uma aproximação entre as grandes empresas de SIG e as tradicionais empresas de Tecnologia da Informação como a Oracle, Microsoft, Google, etc.

Após o surgimento do Google Maps, do Google Earth e do WikiMapia uma verdadeira revolução está a acontecer. Pessoas que até então não tinham qualquer contacto com ferramentas SIG, de uma hora para outra podem ter acesso a qualquer parte do planeta por meio de aplicações que misturam Imagens de Satélite, Modelos 3D e GPS, sendo que o utilizador necessita apenas de ter conexão à internet. A Microsoft possui também a sua solução de visualização do globo terrestre em 3D, chamado de Virtual Earth (hoje denominado Bing Maps). A NASA oferece o World Wind um globo virtual destinado ao segmento de pesquisadores, programável por um SDK Java. Outra aplicação existente é o Arc Globe da Environmental Systems Research Institute (ESRI), um visualizador de dados em 3D. Fabricantes de telemóveis já estão a lançar no mercado telefones equipados com GPS e mapas. A indústria automóvel já fabrica carros com sistemas de rastreamento por satélite. A cada dia fica mais comum estar em contacto com o Geoprocessamento, mesmo que não saibamos que ele está de alguma forma a ser usado.

Considerações sobre Cartografia e SIG

Termos

Para melhor enquadrar o trabalho desenvolvido, seguem-se algumas noções de termos geográficos e sobre Sistemas de Informação Geográfica.

- Coordenadas Rectangulares – sistema de coordenadas ortogonal, definido no plano (ou no espaço tridimensional), no qual cada ponto é referenciado por duas (ou três coordenadas). Em Portugal, no caso dos sistemas planos empregues em cartografia topográfica é usual designar por M a abcissa e por P a ordenada.
- Coordenadas Geográficas – simplificada, as coordenadas geográficas consistem numa rede imaginária de linhas que cobre o Globo terrestre e que serve para determinar a posição geográfica de um lugar. Estas linhas obtêm-se pela intersecção entre a superfície terrestre e planos contendo o eixo terrestre – os meridianos –, ou planos perpendiculares ao mesmo eixo – os paralelos. Existem 360 meridianos principais, traçados de pólo a pólo. Gradua-se a partir de um semi-meridiano principal, ou de referência, geralmente o de Greenwich. A distância entre cada meridiano principal, 1.º de longitude, é de 111,31 km no equador e de 0 m nos pólos. A partir do equador podem-se traçar 89 paralelos principais em direcção aos pólos Norte e Sul, de forma que o paralelo 90 corresponda ao pólo geográfico. A distância entre os paralelos principais (1.º de latitude) é de 110,56 km no equador e de 111,68 km nos pólos, devido ao achatamento polar da Terra. A latitude mede-se segundo o meridiano do lugar, de 0 a 90 graus (Norte ou Sul), a partir do equador. A longitude mede-se segundo o paralelo do lugar, de 0 a

180 graus (Este ou Oeste), a partir do meridiano de referência. Para efeitos práticos, usam-se as siglas internacionais para os pontos cardeais: N=Norte, S=Sul, E=Este, W=Oeste. A distância medida na superfície terrestre para as latitudes, o valor de cada unidade, é bem definido pois medem-se sempre sobre um grande círculo (meridiano), de perímetro aproximado 40.007,86, que dividido por 360 dá para um grau (°) 111,133 km, para um minuto (') 1.852,22 m (valor praticamente idêntico ao da milha náutica) e para um segundo (") 30,87 m. Para as longitudes, esse valor varia com o paralelo de suporte, variando desde 0 nos pólos até cerca de 111,32 km no equador. Na latitude da cidade do Porto, aproximadamente 42,1 N, o valor é de 83,681 km.

- Apresentação das coordenadas: As coordenadas são normalmente apresentadas na ordem latitude-longitude, abreviadas lat e long, usando um dos seguintes formatos:
 - Sexagesimal (Graus-Minutos-Segundos) – neste sistema, cada grau é dividido em 60 minutos, que por sua vez se subdividem, cada um, em 60 segundos. A partir daí, os segundos podem ser divididos decimalmente em fracções cada vez menores.
 - Graus-Minutos Decimais – neste sistema, cada grau é dividido em 60 minutos, que por sua vez são divididos decimalmente.
 - Graus Decimais – neste sistema, cada grau é dividido em fracções decimais. A forma de nomeação difere um pouco dos dois primeiros sistemas: Há valores positivos e negativos. Os valores positivos são para o Norte (latitude) e o Este (longitude) e não recebem um símbolo específico. Os valores negativos são para o Sul (latitude) e o Oeste (longitude), sendo acrescentados do símbolo -.
- Datum Geodésico – (plural data) um datum é um conjunto de parâmetros fundamentais (quantidades numéricas ou entidades geométricas) que, colectivamente, servem de referência para definir outros parâmetros. Se esse conjunto de parâmetros fundamentais descrever a origem e a orientação dos eixos de um sistema de coordenadas relativamente à Terra, designa-se por datum geodésico. Um datum geodésico contém na sua definição um elipsóide de revolução como modelo da Terra. A forma, dimensões e posição do centro do elipsóide relativamente ao centro de massa da Terra são determinados de forma a que a superfície do elipsóide se adapte o melhor possível à superfície terrestre num determinado país ou região. Em Portugal usam-se correntemente os seguintes:
 - Datum Lisboa – utilizado em cartografia topográfica portuguesa, com ponto de fixação no Castelo de S. Jorge em Lisboa. [Sistema Hayford-Gauss].
 - Datum 73 – datum geodésico local, estabelecido em 1973, utilizado em cartografia topográfica. Tem como origem o vértice geodésico Melriça, localizado no centro do território nacional, junto a Vila de Rei. [Sistema Hayford-Gauss].

- ED50 – datum geodésico local da Rede Geodésica Europeia Unificada, fixado perto do centro geométrico da Europa, na povoação alemã de Potsdam. [Sistema UTM].
- World Geodetic System – datum geodésico global usado por exemplo pelo sistema GPS. A sua versão mais recente tem a designação WGS84. [Sistema UTM].
- Elipsóides de referência:
 - Elipsóide WGS84 – estabelecido em 1984 e associado ao datum WGS84. Os semieixos maior e menor (a e b) têm os valores 6378136 m e 6356752 m respectivamente.
 - Elipsóide de Hayford – apresentado em 1909 e aprovado em 1924, sobre ele repousa a maior parte da cartografia mundial. Os semieixos maior e menor, a e b, têm os valores 6378388 e 6356912 metros respectivamente. É também designado por elipsóide internacional.
- Sistemas de projecção:
 - Sistema Hayford-Gauss – estabelecido em Portugal Continental nos anos 30 do século passado, que utiliza o elipsóide de Hayford e a projecção de Gauss-Krüger.
 - Projecção Transversa de Mercator – projecção cilíndrica conforme de Mercator na qual o eixo do cilindro se encontra disposto de forma a intersectar perpendicularmente o eixo de um modelo esférico ou elipsoidal da Terra.
 - Projecção de Gauss-Krüger – projecção transversa de Mercator que utiliza um modelo elipsoidal da Terra e um cilindro tangente.
 - Projecção UTM – projecção transversa de Mercator que utiliza um modelo elipsoidal da Terra e um cilindro secante.
 - Sistema UTM/UPS – o sistema de projecção cartográfica conhecido por UTM é, na realidade, constituído por uma composição dos sistemas UTM (Universal Transverse Mercator) e UPS (Universal Polar Stereographic). A Terra é dividida em 60 fusos de 6° de amplitude longitudinal cada, limitados a norte pelo paralelo dos 84°N e, a sul, pelo paralelo dos 80°S. Cada um destes fusos, numerados de 1 a 60 a partir do semi-meridiano inferior de Greenwich, é representado na projecção UTM. Sobre esta representação, é estabelecido um sistema de coordenadas rectangulares graduado em metros, com origem na intersecção do meridiano central com o equador. Os fusos são, por sua vez, subdivididos em zonas com 8° de extensão em latitude, identificados por uma letra. Em cada zona é constituída uma quadrícula básica, com quadrados de 100 km de lado, designados por um conjunto de duas letras. O sistema de referência UTM inclui uma codificação alfanumérica, onde os dois primeiros caracteres variam entre 01 e 60 e indicam o número do fuso. O terceiro carácter é uma letra, que referencia uma zona do fuso compreendida entre dois paralelos. O território continental de Portugal situa-se nas

zonas S e T do fuso 29. Deste modo as zonas que lhe correspondem têm códigos indicados por 29S e 29T. Os quarto e quinto caracteres são letras que codificam quadrados de lado 100 km inseridos no plano cartográfico. O quadrado de 100 km de lado que contém a região de Lisboa tem a codificação 29SMC.

Tratamento de dados

O tratamento dos dados destina-se à montagem e à preparação da base de dados, consistindo em operações como: conversão dos dados para o formato digital (digitalização), adequação da base de dados às propriedades cartográficas, construção das tabelas de atributos e especificação dos geocódigos.

Os dados utilizados num SIG agrupam-se em duas categorias em função das suas componentes: dados de componente gráfica (dados cartográficos) e dados de componente não gráfica (dados de atributos).

Segundo Pina (2000), a componente gráfica (mapas) descreve a localização, os objectos geográficos e os relacionamentos espaciais entre esses objectos, podendo incluir coordenadas, códigos e símbolos que definem os elementos cartográficos específicos de um mapa.

A componente não gráfica ou alfanumérica (tabelas), descreve os factos e os fenómenos, sociais e naturais, reportados num mapa, podendo também ser designada por textual ou atributiva, uma vez que representa as características, qualidades ou relacionamentos destas componentes ao nível da representação cartográfica.

A ligação das duas componentes, gráfica e não gráfica, processa-se, ao nível de um SIG, através da partilha de códigos comuns nas duas bases, habitualmente designados por geocódigos, que relacionam univocamente os elementos de cada categoria. A associação de dados não gráficos aos mapas pode também ser efectuada através de pares de coordenadas, presentes na base de dados não gráficos, de modo a poder determinar a localização exacta do(s) objecto(s) no mapa, desde que ambos tenham o mesmo sistema de coordenadas – estrutura coverage. Esta estrutura é utilizada em diversos programas de SIG e é um método vulgarmente utilizado na localização de dados pontuais ou na identificação de um centroide de área.

Assim, o aspecto mais fundamental dos dados tratados num SIG é a natureza dual da informação: um dado espacial ou dado geográfico possui uma localização expressa como coordenadas de um mapa e atributos descritivos representados num banco de dados convencional (Câmara Neto, 1995).

Um sistema gestor de base de dados (SGBD) consiste numa colecção de dados inter-relacionados e num conjunto de programas para acedê-los. É um sistema computadorizado de gravação e armazenamento, cujo propósito é manter os dados e permitir a sua recuperação quando necessária (Date, 1994). Um SIG contemporâneo, segundo Câmara Neto (1995), integra um SGBD e simplifica alguns serviços para o programador, tais como:

- armazenar e recuperar dados;

- permitir acesso lógico independente da estrutura de armazenamento físico;
- permitir acesso a dados padronizados;
- definir restrições de consistência para serem automaticamente impostas;
- controlar acesso concorrente por múltiplos utilizadores;
- proteger contra perda ou acesso não autorizado.

A forma usual de integrar as informações geográficas com um ambiente de banco de dados, utiliza um SGBD relacional para armazenar os atributos convencionais dos objectos geográficos (na forma de tabelas) e arquivos para guardar as representações geométricas. No modelo relacional, os dados são organizados na forma de uma tabela onde as linhas correspondem aos geo-objectos e as colunas correspondem aos atributos.

A cada entrada de atributos não-espaciais, feita por meio de um SGBD relacional, é imposto um identificador único ou rótulo, através do qual é feita a ligação lógica com as suas respectivas representações gráficas.

A partir desta organização, um SIG é capaz de associar a representação gráfica de geo-objectos com a informação descritiva contida no seu banco de dados e também de computar novas informações e exibi-las sob a forma de mapas. Assim, para obter informações sobre um ponto de amostragem como, por exemplo, bacia hidrográfica, unidade hidrogeológica, sistema aquífero ou composição química, pode-se consultar o dado tabular (atributos) correspondente e apresentar os resultados de forma inteligível.

A conexão entre o dado gráfico (espacial) e o dado tabular (descritivo) é fundamental num SIG. Segundo Câmara Neto (1995), para que isto ocorra existem três condições que devem ser obedecidas:

- manter um relacionamento único entre dados gráficos sobre o mapa e registos na tabela de atributos;
- manter a ligação entre o dado gráfico e o registo através de um único identificador;
- manter o identificador armazenado fisicamente no arquivo que contém os dados gráficos e no arquivo que contém o correspondente registo da tabela de atributos.

Estas condições possibilitam a um SIG criar novos mapas baseados em informação tabular e permitem realizar por exemplo, as seguintes operações:

- apontando-se para uma representação sobre o mapa, identificar o geo-objecto e exibir uma lista dos seus atributos;
- apontando-se para um registo na tabela de atributos, identificar o geo-objecto correspondente e realçar as suas representações gráficas sobre o mapa.

Os identificadores são utilizados nessas operações como um meio de ligação entre as representações gráficas do mapa e os seus respectivos atributos tabulares e vice-versa. Essas operações fornecem interactividade entre dados gráficos e tabulares.

Modelos de representação espacial de dados

Existem basicamente duas formas distintas de representar dados espaciais num SIG: o modelo vectorial (vector) e o modelo matricial (raster).

No modelo vectorial, a representação de um elemento ou objecto é uma tentativa de reproduzi-lo o mais exactamente possível. Qualquer entidade ou elemento gráfico de um mapa é reduzido a três formas básicas: pontos, linhas, áreas ou polígonos.

O modelo matricial consiste no uso de uma malha quadriculada regular sobre a qual se constrói, célula a célula, o elemento que está a ser representado. A cada célula, atribui-se um código referente ao atributo estudado, de tal forma que o computador saiba a que elemento ou objecto pertence determinada célula.

Modelo vectorial

No modelo vectorial, a localização e a aparência gráfica de cada objecto são representadas por um ou mais pares de coordenadas. Este tipo de representação não é exclusivo do GIS: sistemas CAD e outros tipos de sistemas gráficos também utilizam representações vectoriais. Isto porque o modelo vectorial é bastante intuitivo para engenheiros e projectistas, embora estes nem sempre utilizem sistemas de coordenadas ajustados à superfície da Terra para realizar os seus projectos, pois para estas aplicações um simples sistema de coordenadas cartesianas é suficiente. Mas o uso de vectores em GIS é bem mais sofisticado do que o uso em CAD, pois em geral GIS envolve volumes de dados bem maiores, e conta com recursos para tratamento de topologia, associação de atributos alfanuméricos e indexação espacial.

No caso de representação vectorial, consideram-se três elementos gráficos: ponto, linha poligonal e área (polígono).

Um ponto é um par ordenado (x, y) de coordenadas espaciais. Além das coordenadas, outros dados não-espaciais (atributos) podem ser arquivados para indicar de que tipo de ponto se está a tratar.

As linhas poligonais, arcos, ou elementos lineares são um conjunto de pontos conectados. Além das coordenadas dos pontos que compõem a linha, deve-se armazenar informação que indique de que tipo de linha se está a tratar, ou seja, a que atributo ela está associada.

Um polígono é a região do plano limitada por uma ou mais linhas poligonais conectadas de tal forma que o último ponto de uma linha seja idêntico ao primeiro da próxima. Observe-se também que o polígono divide o plano em duas regiões: o interior, que convencionalmente inclui a fronteira (a poligonal fechada) e o exterior.

Assim, quando se utiliza a expressão vectores, está-se a referir a alguma combinação de pontos, linhas poligonais e polígonos, conforme definidos acima.

Combinações porque teoricamente poder-se-ia utilizar mais de um tipo de primitiva gráfica na criação da representação de um objecto. Por exemplo, pode-se ter objectos de área mais complexos, formados por um

polígono básico e vários outros polígonos contidos no primeiro, delimitando buracos. Pode-se também ter objectos compostos por mais de um polígono, como seria necessário, por exemplo, no caso de um estado que além da parte “continental” tem ilhas como parte do seu território.

Modelo matricial

Nesta representação, o espaço é representado como uma matriz $P(m, n)$ composta de m colunas e n linhas, onde cada célula possui um número de linha, um número de coluna e um valor correspondente ao atributo estudado e cada célula é individualmente acedida pelas suas coordenadas.

A representação matricial supõe que o espaço pode ser tratado como uma superfície plana, onde cada célula está associada a uma porção do terreno. A resolução do sistema é dada pela relação entre o tamanho da célula no mapa ou documento e a área por ela coberta no terreno.

Os dados são codificados, célula a célula, atribuindo a cada uma o código correspondente a uma classe referente ao fenómeno estudado. Para fazer isto, é necessário estabelecer um critério a ser obedecido em toda a operação.

Pode-se, por exemplo, atribuir a cada célula o código da classe sobre a qual estiver o centro da quadrícula. Outra possibilidade é adoptar-se o critério da maior ocorrência. Neste caso, o código corresponde ao da classe que ocupar a maior parte da célula.

Por analogia com a fotografia é frequente as células serem denominadas *pixels* (picture elements). Cada um dos *pixels* está associado a valores. Estes valores serão sempre valores numéricos, aos quais pode ser associada uma codificação, por exemplo uma cor. Os valores dos *pixels* representam uma medição de alguma grandeza física, correspondente a um fragmento do mundo real. Por exemplo, numa imagem obtida por satélite, cada um dos sensores é capaz de captar a intensidade da reflexão da radiação electromagnética sob a superfície da terra numa específica faixa de frequências. Quanto mais alta a reflectância, no caso, mais alto será o valor do *pixel*.

Tecnologias de SIG

O conceito “sistemas de informação geográfica” está relacionado hoje a diferentes alternativas. Actualmente, há uma grande diversificação de oferta de SIG, com pelo menos quatro grandes tecnologias complementares:

- Os “GIS Desktop”, com interfaces amigáveis e crescente funcionalidade.
- Os “Gestores de Dados Geográficos”, que armazenam os dados espaciais em ambiente multi-utilizador.
- Os “Componentes GIS”, ambientes de programação que fornecem ferramentas para que o utilizador crie o seu próprio aplicativo geográfico.

- Os “Servidores Web de Dados Geográficos”, utilizados para publicação e acesso a dados geográficos via Internet.

Os “GIS desktop” são sistemas herdeiros da tradição de Cartografia, com suporte de bancos de dados limitado e cujo paradigma típico de trabalho é o mapa (chamado de “cobertura” ou de “plano de informação”). Desenvolvidos a partir do início da década de 80 para ambientes da classe VAX e – a partir de 1985 – para sistemas PC/DOS, esta classe de sistemas é utilizada principalmente em projectos isolados, sem a preocupação de gerar arquivos digitais de dados. Esta geração também pode ser caracterizada como sistemas orientados a projecto (“project oriented GIS”).

A segunda geração de SIGs (“bancos de dados geográficos”) chegou ao mercado no início da década de 90 e caracteriza-se por ser concebida para uso em ambientes cliente-servidor, acoplado a gestores de bancos de dados relacionais e com pacotes adicionais para processamento de imagens. Esta geração também pode ser vista como sistemas para suporte às instituições (“enterprise oriented GIS”).

A terceira geração de SIGs (“bibliotecas geográficas digitais” ou “centros de dados geográficos”), caracterizada pela gestão de grandes bases de dados geográficos, com acesso através de redes locais e remotas, com interface via WWW (World Wide Web). Para esta terceira geração, o crescimento dos bancos de dados espaciais e a necessidade do seu compartilhamento com outras instituições requer o recurso a tecnologias como bancos de dados distribuídos e federativos. Estes sistemas deverão seguir os requisitos de interoperabilidade, de maneira a permitir o acesso de informações espaciais por SIGs distintos. A terceira geração de SIG pode ainda ser vista como o desenvolvimento de sistemas orientados para troca de informações entre uma instituição e os demais componentes da sociedade (“society oriented GIS”).

Um aspecto fundamental das diferentes tecnologias apresentadas é a sua complementaridade: os “GIS desktop” podem utilizar “gestores de dados geográficos”, que podem estar ligados a “servidores web”, e os utilizadores destes dados podem ter interfaces personalizadas, construídas a partir de “componentes GIS”.

Apresenta-se a seguir uma breve visão do contexto geral destas geotecnologias.

GIS Desktop

A primeira geração de SIG caracteriza-se por sistemas com operações gráficas e de análise espacial sobre arquivos (“flat files”). A sua ligação com gestores de bancos de dados é parcial (parte das informações descritivas encontra-se no sistema de arquivos) ou inexistente. Mais adequados à realização de projectos de análise espacial sobre regiões de pequeno e médio porte, estes sistemas enfatizam o aspecto de mapeamento. O sistema permite a entrada de dados sem definição prévia do esquema conceitual, assemelhando-se assim a ambientes de CAD que possuem a capacidade de representar projecções cartográficas e de associar atributos a objectos espaciais. Por força da sua concepção, tais ambientes não possuem suporte adequado para construir grandes bases de dados espaciais.

Num “GIS desktop” tradicional, os dados geográficos são armazenados de forma separada, com os atributos descritivos guardados em tabelas (usualmente no padrão xBase) e as geometrias em formatos proprietários (como os “shapefiles” do ARC/VIEW). Originalmente sistemas simples de consulta e apresentação de dados, os “GIS desktop” têm evoluído para oferecer uma crescente gama de funcionalidade, incluindo:

- A combinação de tratamento de dados vectoriais e matriciais (“raster”) no mesmo ambiente, com uma integração maior entre Processamento de Imagens e GIS, a exemplo do IDRISI.
- Linguagens de programação de “scripts”, em que as variáveis reflectem os tipos de dados geográficos suportados pelo sistema (e.g., AVENUE do ARC/VIEW e MAPBASIC do MAPINFO), e que permitem ampliar a funcionalidade disponível.
- Ferramentas sofisticadas de Análise Espacial, como os módulos de Geoestatística disponíveis nas novas versões do IDRISI, ARC/INFO e SPRING e funções de Álgebra de Mapas como as disponíveis no módulo SPATIAL ANALYST do ARC/VIEW.
- Uma integração do “desktop” com os gestores de dados geográficos, como no caso da ligação entre GEOMEDIA com ORACLE SPATIAL e AUTODESK WORLD com VISION* e TerraView com mySQL e PostgreSQL.
- O aumento do potencial de interoperabilidade e da conversão automática de formatos de dados geográficos, como suportado pelo GEOMEDIA.
- O uso de conceitos de orientação-a-objectos, que permitem uma aproximação melhor entre os problemas do mundo real e a sua representação computacional, como no ARC/GIS-9 e no SPRING.

A segunda geração: bancos de dados geográficos

Nos anos recentes, o interesse pelo uso de SIG no ambiente corporativo levou ao aparecimento de gestores de dados geográficos, que armazenam tanto a geometria como os atributos dos objectos dentro de um sistema gestor de bancos de dados (SGBD). As principais vantagens desta estratégia são: (a) evitar os problemas de controle de integridade típicos do ambiente “desktop”, permitindo o acesso concorrente aos dados; (b) facilitar a integração com as bases corporativas já existentes, como sistemas legados, que já utilizam SGBDs relacionais. Um SGBD apresenta os dados numa visão independente dos sistemas aplicativos, além de garantir três requisitos importantes: eficiência (acesso e modificações de grandes volumes de dados), integridade (controle de acesso por múltiplos utilizadores) e persistência (manutenção de dados por longo tempo, independentemente dos aplicativos que acedam o dado). O uso de SGBD permite ainda realizar, com maior facilidade, a interligação de banco de dados já existente com o sistema de Geoprocessamento.

Estes gestores possuem dois componentes, usualmente de distintos fabricantes: um SGBD com suporte a dados geográficos e uma “camada de acesso”, que fornece um ambiente de armazenamento e recuperação,

visível externamente ou integrado a um “GIS desktop”. As “camadas de acesso” interagem com estes servidores, para fornecer um ambiente de armazenamento e recuperação, através de uma interface de programação (API). Dentre os gestores de bancos de dados com capacidades de armazenamento de dados geográficos, estão o ORACLE, PostgreSQL e MySQL. Dentre as API para acesso a estes bancos, está o ArcSDE da ESRI.

A terceira geração: bibliotecas geográficas digitais

Uma biblioteca geográfica digital (ou um “centro de dados geográfico”) é um banco de dados geográfico compartilhado por um conjunto de instituições.

Esta biblioteca deve ser acessível remotamente e armazenar, além dos dados geográficos, descrições acerca dos dados (“metadados”) e documentos multimédia associados (texto, fotos, áudio e vídeo). Este novo paradigma é motivado pelo aguçar da nossa percepção dos problemas ecológicos, urbanos e ambientais, pelo interesse em entender, de forma cada vez mais detalhada, processos de mudança local e global e pela necessidade de compartilhar dados entre instituições e com a sociedade. O núcleo básico de uma biblioteca geográfica digital é um grande banco de dados geográficos.

O ambiente deve garantir acesso concorrente a uma comunidade de utilizadores, com diferentes métodos de selecção, incluindo folheamento (“browsing”) e linguagem de consulta. Para facilitar a difusão de informação geográfica através da Internet, a solução mais adoptada é acoplar um servidor de dados geográficos. A solução mais adoptada é o uso de servidores de imagens, que, respondendo a pedidos remotos, enviam uma imagem (matriz) de tamanho fixo no formato GIF ou JPEG. Esta solução permite configurar o servidor para responder a diferentes tipos de consulta, sem requerer que todos os dados a ser transmitidos sejam pré-computados. Como exemplo, temos o “Internet Map Server” da ESRI e o MapServer (produto de software livre). O protocolo WMS (Web Map Server) do consórcio OpenGIS encapsula esta funcionalidade.

Bibliotecas de componentes GIS

Nenhum GIS nasce pronto e muitas vezes há necessidade de desenvolver aplicativos dirigidos especificamente para um cliente. Para tanto, uma tendência crescente destes últimos anos é fornecer um ambiente de componentes, com tipos de dados geográficos básicos e métodos de acesso e apresentação. A linguagem de programação mais comum é VISUALBASIC, como no caso dos produtos MAPOBJECTS da ESRI e MAPX da MAPINFO. A comunicação com outras aplicações pode ser conseguida utilizando recursos do Windows, como OLE (Object Linking and Embedding) e ODBC (Open Database Connectivity). A alternativa (utilizada usualmente por projectos de software livre) é oferecer uma biblioteca de rotinas em código aberto num ambiente de programação em linguagens como C ou C++. Neste caso, toda a funcionalidade do sistema está disponível, mas precisa ser remontada pelo programador.

Representação dos dados em tecnologias de SIG

Para a representação espacial dos dados deste trabalho foram seleccionados os seguintes programas informáticos:

- ❖ ArcGIS da ESRI por ser, talvez, a tecnologia de SIG mais avançada e inovadora da actualidade e por estar disponível no Departamento de Engenharia de Minas da FEUP.
- ❖ Google Earth da Google por ser um aplicativo gratuito e de fácil utilização mundial.

Representação em ArcGIS da ESRI

ArcGIS é o nome de um grupo de programas informáticos e que constitui um sistema de informação geográfica. É produzido pela ESRI (Environmental Systems Research Institute), empresa americana, fundada em 1969, especializada na produção de soluções para a área de informações geográficas e que actualmente domina mundialmente a produção e comercialização de soluções GIS.

A versão corrente do ArcGIS é o ArcGIS 10, lançada este ano de 2010.

O ArcGIS 10 permite gerir os dados, mapas e informação geográfica, num sistema baseado em tecnologias standards, aberto e interoperável, com ferramentas de mapeamento, análise, colaboração, edição, design e compilação.

O ArcGIS suporta três modelos de dados para representar computacionalmente as feições geográficas. Feições geográficas são entidades do mundo real que podem ocorrer naturalmente como rios e vegetação, ou podem ser construções como ruas, infra-estruturas subterrâneas e prédios, ou podem ser subdivisões da terra como municípios, propriedades e divisões políticas. Os modelos suportados são: modelo de dados vectorial, modelo de dados matricial, e o modelo de dados de rede irregular triangular (TIN).

O ArcGIS implementa um modelo de dados híbrido chamado geo-relacional que representa feições geográficas. Uma feição geográfica é representada no SIG por dois tipos de informação: localização e descrição.

A principal estrutura para representar o modelo de dados vectorial do ArcGIS é a *Coverage* (ESRI, 94). Esta estrutura suporta o modelo geo-relacional vectorial. Antes de se avançar neste conceito, torna-se necessário explicitar alguns fundamentos típicos do modelo de dados vectorial.

O dado de localização (espacial) é armazenado usando uma estrutura de dados vectorial ou matricial como definido anteriormente. O dado descritivo de cada feição geográfica é armazenado num conjunto de tabelas. Os dados espaciais e descritivos são ligados de tal forma para que ambos os conjuntos de informação estejam disponíveis ao utilizador (ESRI, 94).

O modelo de dados vectorial representa as feições geográficas assim como o mapa. Os pontos representam feições geográficas tão pequenas que não podem ser mostradas como linhas ou áreas, por exemplo poços, telefones públicos e postes. As linhas representam feições geográficas que não podem ser

apresentadas como áreas, por exemplo ruas, rios e contornos de elevação. As áreas representam feições geográficas homogêneas tal como estados, municípios, propriedades e tipos de solos. Um sistema de coordenadas cartesianas x, y referencia as localizações do mundo real.

No modelo de dados vectorial cada localização é armazenada com coordenada x, y . Pontos são armazenados como uma única coordenada. Linhas ou arcos são armazenadas como uma série ordenada de coordenadas x, y . Áreas ou polígonos são armazenadas como uma série de coordenadas x, y que define um ou mais segmento de linha ou arco que se fecham para formar uma área ou polígono.

A cada uma das feições representadas está associado um identificador único. Portanto a lista de coordenadas de cada feição está associada com o identificador da feição.

O conceito de topologia implementado no ArcGIS é baseado na estrutura arco-nó e implementa os três conceitos: Conectividade (os arcos são conectados entre si pelos nós), Definição de Área (os arcos conectados em torno de uma área definem um polígono) e Contiguidade (os arcos têm direcção e lados direito e esquerdo).

A topologia arco-nó é a representação vectorial associada a uma rede linear conectada. Um nó pode ser definido como o ponto de intersecção entre duas ou mais linhas, correspondente ao ponto inicial ou final de cada linha. Nenhuma linha poderá estar desconectada das demais para que a topologia da rede possa ficar totalmente definida.

As regiões suportam a modelagem de relacionamentos complexos entre feições geográficas representadas como polígonos. Uma região é representada por um conjunto de polígonos. Por exemplo, uma região de floresta e uma outra região de floresta destruída pelo fogo são representadas por polígonos que indicam as áreas de florestas antes do incêndio e as áreas destruídas após o incêndio. Neste caso, pode ocorrer sobreposição dos polígonos que compõem as duas regiões modeladas. Outro caso é o das ilhas que formam um arquipélago. Por exemplo, o país Japão é uma região representada por vários polígonos.

Assim como ponto, linha e polígono, a cada região é dado um identificador único e o cálculo da área e perímetro são mantidos.

Construir regiões com polígonos é similar a construir polígonos com arcos. Assim como o polígono é uma lista de arcos, uma região é uma lista de polígonos. Porém existe uma distinção importante: a ordem dos polígonos não é relevante.

As rotas definem caminhos ao longo de um conjunto de feições lineares existentes. As rotas baseiam-se em arcos. Como exemplos de utilização pode-se citar, para o caso de rota de um ponto a outro, o caminho de casa para a escola ou, no caso de um circuito que começa e termina num mesmo ponto, uma rota de autocarro.

O modelo de dados vectorial implementado pelo ArcGIS está alicerçado no conceito de topologia. O armazenamento organizado e a leitura indexada dos dados fornecem ao sistema a possibilidade de realizar manipulações espaciais a qualquer momento.

Até agora foram apresentadas as formas de representação das feições geográficas baseadas no conceito de topologia. No entanto, é necessário apresentar a forma de representação das informações descritivas associadas às feições geográficas. O mecanismo de ligação entre as duas representações também será abordado.

Os atributos descritivos associados às feições geográficas são armazenados da mesma forma que as coordenadas. O arquivo com os dados descritivos é denominado de tabela de atributos. Cada linha desta tabela é chamada de objecto e contém as informações descritivas de uma única feição. As colunas ou campos definidas na tabela são as mesmas para cada linha.

A ligação entre as feições geográficas e a tabela de atributos é garantida pelo modelo geo-relacional implementado pelo ArcGIS. Na prática um identificador único materializa a ligação entre as coordenadas das feições geográficas e os atributos descritivos, mantendo uma correspondência um para um, entre o registo espacial e o registo de atributos.

Uma vez que esta conexão é estabelecida, pode-se apresentar as informações descritivas sobre o mapa e armazenar novas informações descritivas.

O ArcGIS gere três tipos de tabelas de atributos. O primeiro tipo consiste das tabelas de atributos das feições geográficas, que abrange as tabelas de topologia para polígono, arco, nó, ponto, rota e região. O segundo tipo consiste dos arquivos de dados INFO, que são similares às tabelas provenientes dos SGBD relacionais de mercado. E o terceiro tipo consiste das tabelas de atributos externas cuja fonte são os próprios SGBD relacionais tais como ORACLE, INGRES, INFORMIX e SYBASE.

Para a organização dos dados no ArcGIS, visando representar a realidade geográfica, é utilizado o conceito de *coverage*. *Coverage* é uma estrutura para o armazenamento de dados vectoriais. Ela representa um único conjunto de objectos geográficos tal como, ruas, propriedades, tipos de solos ou padrões de florestas. Uma *coverage* suporta o modelo geo-relacional onde contempla tanto dados espaciais quanto os atributos para as feições geográficas.

Uma *coverage* contém um conjunto de feições, onde cada uma é representada por uma classe de feição como arco, nó, ponto, anotações ou polígono. A combinação das classes de feições presentes numa *coverage* depende do fenómeno geográfico a ser representado.

Conforme o modelo geo-relacional, uma feição geográfica numa *coverage* é identificada por um único número. O dado espacial e o atributo são ligados por este número.

Além do modelo de dados vectorial, tendo a *coverage* como o principal método de representação no ArcGIS, existem o modelo de dados matricial e o modelo de rede irregular triangular.

O modelo de dados matricial representa as feições geográficas como uma fotografia materializada por uma grade regular de pontos. Cada ponto desta grade é denominado “célula” ou “pixel”. As células possuem valores que podem representar três interpretações: uma classificação, como o tipo de vegetação por exemplo, uma medida da quantidade de luz reflectida pela Terra proveniente de uma imagem de satélite e finalmente uma medida de elevação.

Portanto o método utilizado para representar o modelo de dados matricial é a grade regular ou “grid”.

O modelo de rede irregular triangular ou “TIN” (Triangular Irregular Network) é uma outra estrutura utilizada para representar superfícies contínuas, assim como a grade regular. O TIN representa a superfície por uma série de pontos ligados de forma triangular. Cada três pontos, que geram um triângulo, podem ocorrer em qualquer localização geográfica, daí decorre a irregularidade, diferença básica da grade regular. Além disto os relacionamentos topológicos entre os triângulos são criados e armazenados por este modelo.

ArcMap

O ArcMap é a aplicação central do ArcGIS Desktop para todas as tarefas baseadas em mapas, incluindo cartografia, análises e edição. O ArcMap é uma aplicação completa para criação de mapas dentro do ArcGIS Desktop.

O ArcMap oferece dois tipos de visualização de mapas:

- Janela de dados geográficos – um ambiente onde os temas dos mapas são apresentados e caracterizados para edição e análise.
- Janela de diagramação da página (Page Layout View) – este ambiente combina os dados apresentados da janela de dados geográficos com elementos de cartografia, tais como escala, legenda, título e mapas de referência. Esta janela é utilizada na diagramação dos mapas para impressão e publicação.

Assim, o ArcMap permite criar, visualizar, consultar, editar, compor e publicar mapas.

O ArcMap armazena um mapa como um *map document* (*.mxd) de modo que se pode visualizá-lo, modificá-lo ou compartilhá-lo com outro utilizador do ArcMap. Na realidade, o *map document* não é armazenado, ao invés disto faz referências aos dados armazenados no disco junto com a informação sobre como os dados podem ser visualizados. O *map document* também armazena outras informações sobre o mapa, tais como o seu tamanho e os *map elements* (título, escala gráfica, símbolo de orientação e outros).

Estes ficheiros “shapefiles” são arquivos no formato vectorial com o objectivo de salvar localizações geométricas e informações em relação aos atributos associados. Foi criado no final de 1997, pela ESRI para a utilização no produto ArcView.

Uma “shapefile” lida com entidades geográficas singulares e suporta pontos, linhas e polígonos. Tem grandes vantagens sobre outras codificações como rapidez, menor espaço em disco e é facilmente editável.

ArcGlobe

O ArcGIS 3D Analyst introduz, pela primeira vez num software GIS, a visualização total da Terra em três dimensões. Estas capacidades estão encapsuladas num novo aplicativo 3D Desktop chamado ArcGlobe.

O ArcGlobe tem a habilidade de interagir directamente com qualquer informação geográfica, tratando-a como um layer georreferenciado num globo tridimensional, o que possibilita aos utilizadores visualizar os dados contextualizados no planeta inteiro. Com técnicas de exibição e pesquisa de dados altamente optimizadas, o ArcGlobe pode aceder a um volume praticamente ilimitado de informações geográficas, significando que o software pode, de uma maneira fácil e inteligente, lidar com dados raster e vectoriais, em escalas pequenas e grandes, com desempenho superior ao mapeamento tradicional em 2D.

Utilizando ferramentas de mapeamento intuitivas e interactivas, os utilizadores podem movimentar a exibição, pesquisar e analisar dados em escala global, e ainda dar um zoom numa área específica e visualizar uma imagem de alta definição. Isto é possível utilizando uma nova técnica avançada de indexação, que trabalha com várias resoluções simultaneamente. As únicas limitações aos utilizadores são a capacidade dos dispositivos de armazenamento e a disponibilidade dos dados.

O ArcGIS 3D Analyst também adiciona suporte para simbologia 3D em tempo real, abrindo novas possibilidades, tanto em aplicações científicas, quanto em simulações mais precisas do mundo em que vivemos.

O ArcGIS 3D Analyst permite ao utilizador visualizar e analisar dados de superfície de maneira efectiva. Usando o ArcGIS 3D Analyst, é possível ver uma superfície a partir de múltiplos pontos de observação, realizar consultas aos dados de superfície, criar imagens em perspectiva, sobrepondo dados vectoriais e imagens para simulação de ambientes reais. Com o ArcGIS 3D Analyst é possível realizar voos nestes ambientes simulados. Além disso, o software permite ainda que estes voos sejam gravados em formatos padrões de vídeo digital.

O ArcGlobe é parte integrante do ArcGIS 3D Analyst e permite ao utilizador controlar e visualizar, de uma perspectiva local ou global, grandes volumes de dados geográficos tridimensionais. O ArcGlobe dispõe os dados geográficos como temas sobre uma forma esférica tridimensional e oferece diversos recursos para que o utilizador possa interagir com estes dados.

Com o ArcGIS 3D Analyst é possível:

- Criar vistas em três dimensões a partir dos dados de GIS;
- Analisar dados tridimensionais usando funções de corte e preenchimento, linha de intervisibilidade e modelo de terreno;
- Visualizar os dados de uma perspectiva global ou local;
- Navegar continuamente por meio de dados em múltiplas resoluções;
- Realizar análises espaciais em duas ou três dimensões;
- Usar modelos tridimensionais e símbolos para compor cenários com realismo;
- Gerar vídeos a partir de voos pelos cenários elaborados.

Google Earth

Google Earth é um programa de computador desenvolvido e distribuído pela empresa americana Google cuja função é apresentar um modelo tridimensional do globo terrestre, construído a partir de mosaico de imagens de satélite obtidas de fontes diversas, imagens aéreas (fotografadas de aeronaves) e GIS 3D. Desta forma, o programa pode ser usado simplesmente como um gerador de mapas bidimensionais e imagens de satélite ou como um simulador das diversas paisagens presentes no Planeta. Com isso, é possível identificar lugares, construções, cidades, paisagens, entre outros elementos.

A maioria das grandes cidades do planeta já está disponível em imagens com resolução suficiente para visualizar edifícios, casas ou mesmo detalhes mais próximos como automóveis. Todo o globo terrestre já está coberto com aproximação de pelo menos 15 km.

Actualmente, o programa permite girar uma imagem, marcar os locais que se conseguiram identificar para visitá-los posteriormente, medir a distância entre dois pontos e até mesmo ter uma visão tridimensional de uma determinada localidade.

O Google Earth 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.

A representação espacial dos dados no Google Earth foi efectuada através da ferramenta “Layer do KML” que se encontra no Toolbox de Conversão, toolset “To KML”, do ArcMap.

Foi assim possível converter um ficheiro “shapefile” utilizado no ArcGIS num ficheiro “KML” ou “KMZ” utilizado no Google Earth.

O “KML”, ou *Keyhole Markup Language*, é um formato de ficheiro e de gramática XML para modelar e armazenar elementos geográficos como pontos, linhas, imagens, polígonos e modelos para exibição no Google Earth e no Google Maps. Pode-se utilizar o “KML” para partilhar locais e informações com outros utilizadores do Google Earth e do Google Maps.

Um ficheiro “KML” é processado pelo Google Earth e pelo Google Maps de forma semelhante à que são processados ficheiros HTML e XML pelos browsers. Tal como o HTML, o “KML” tem uma estrutura baseada em etiquetas com nomes e atributos utilizados para objectivos específicos de apresentação. Desta forma, o Google Earth e o Google Maps actuam como browsers dos ficheiros “KML”.

Um ficheiro “KMZ” constitui uma versão comprimida de um ficheiro “KML”. O Google Earth pode abrir ficheiros “KML” ou “KMZ” se os mesmos tiverem a respectiva extensão (.kml ou .kmz).

DADOS E SEU TRATAMENTO

Dados disponíveis, fontes, descrição geral e estrutura

Foram disponibilizados, no início do trabalho, dois conjuntos de dados, contendo basicamente a mesma informação, mas com substanciais diferenças de detalhe:

1. Duas folhas de cálculo designadas por “iberoarsen_BD1” e “iberoarsen_BD2”, contendo os pontos de amostragem de 1 a 498 (498 linhas) e de 499 a 566 (68 linhas) respectivamente. Cada uma destas folhas de cálculo continha as seguintes quatro tabelas com a estrutura de colunas que se mostra abaixo.

- o Tabela 1 – “Localização dos pontos de amostragem e tipo de amostra” com as colunas

Id. estação de amostragem
Id. amostra
País
Província
Localidade
Cidade
Meridiano
Paralelo
Cota (msnm)
Tipo
Uso da água

- o Tabela 2 – “Características do ponto de amostragem” com as colunas

Id. estação de amostragem
Id. amostra
Tipo de aquífero
Litologia do aquífero

- o Tabela 3 – “Análise química” com as colunas

Id. amostra
Id. estação de amostragem
Data
DO (mgL ⁻¹)
Eh (mV)

E.C. (μScm^{-1})
TDS (mgL^{-1})
pH
T ($^{\circ}\text{C}$)
Na^{+} (mgL^{-1})
K^{+} (mgL^{-1})
Ca^{2+} (mgL^{-1})
Mg^{2+} (mgL^{-1})
HCO_3^{-} (mgL^{-1})
Cl^{-} (mgL^{-1})
SO_4^{2-} (mgL^{-1})
F
As (V) (μgL^{-1})
As (III) (μgL^{-1})
As Tot (μgL^{-1})
Fe (μgL^{-1})
Mn (μgL^{-1})
V (μgL^{-1})
Mo (μgL^{-1})
Pb (μgL^{-1})
Cd (μgL^{-1})
Zn (μgL^{-1})

- o Tabela 4 – “Referências bibliográficas” com as colunas

Id. amostra
Apelido 1.º autor
Nome 1.º autor
Outros autores
Nome da publicação
Ano
Vol. n.º
N.º
Páginas
Cita curta

2. Uma base de dados designada por IBEROARSEN-BD localizada no sítio internet www.iberorsen.com.ar, e descrita da seguinte forma: “A Base de Dados sobre a Distribuição de Arsénio na Iberoamérica – IBEROARSEN-BD – é uma base de dados que contém informação referida à composição química, com ênfase no conteúdo de arsénio, de amostras de água naturais da Iberoamérica. Todas as amostras se encontram georreferenciadas mediante o sistema de projecção UTM (WGS84). Ademais se incluiu informação referida a algumas características geográficas, geológicas e hidrológicas de cada ponto de amostragem. Esta base de dados está disponível no site www.iberorsen.com.ar.” [Características de Iberoarsen-BD in www.cnea.gov.ar].

Consolidação dos dados disponíveis

A primeira fase do trabalho consistiu em verificar a validade, consistência e coerência de todos os pontos das fontes de dados disponibilizadas, IBEROARSEN-BD e folhas de cálculo.

Como se pode ver, as chaves relacionais que permitem ligar as várias tabelas são a “Id. estação de amostragem” e “Id. Amostra”.

Em Abril e Maio de 2010 todos os 566 pontos de amostragem localizados em Portugal Continental, da tabela de trabalho, foram verificados na base de dados IBEROARSEN-BD tendo-se constatado que as amostras 22 (3N), 23 (4F), 24 (9N), 25 (11F), 26 (12F), 27 (13N), 28 (15N), 29 (17N), 30 (18N), 31 (38F), 192 (308/26), 194 (308/50), 341 (246/C52) e 412 (341/251) não constavam dessa base de dados.

Verificou-se, ainda, que a IBEROARSEN-BD inclui 7 amostras (Amostra 1 | Ribeira das Casinhas, Amostra 2 | Ribeira das Casinhas, Amostra 3 | Ribeira das Casinhas, Amostra 4 | Rio Zêzere, Amostra 4A | Rio Zêzere, Amostra 5 | Rio Zêzere e Amostra 6 | Rio Zêzere) que não faziam parte da base de dados previamente seleccionada para este trabalho e que foram imediatamente acrescentadas perfazendo um total de 573 amostras.

Verificação da coerência dos dados

Foi tentada a verificação da coerência dos dados, procedimento difícil porque envolve a necessidade de conhecer em detalhe os metadados, e os valores possíveis para os atributos. Verificou-se, por exemplo, que o campo **localidade** era usado em alguns registos como o topónimo do local de recolha da amostra, e noutros como a designação da bacia hidrográfica da amostra. Em consequência da origem argentina da estrutura de dados, alguns campos, por exemplo **província** e **cidade**, estão mal definidos, e por isso usados de forma incoerente.

Verificação da correcção de dados

Esta verificação também é muito difícil. Apenas alguns valores óbvios – topónimos, valores numéricos com formato incorrecto – é que puderam ser corrigidos.

Alguns valores que, embora correctos, davam problemas na utilização da base de dados foram alterados. Por exemplo a ausência de dados, que por vezes estava assinalada por “- -“ ou os valores vestigiais assinalados por “< valor limite de detecção analítica” tiveram que ser substituídos.

Correcção da referenciação geográfica

Como a referenciação geográfica dos pontos de amostragem não era a mesma em todas as amostras, fez-se a transformação das coordenadas, através do site do Instituto Geográfico do Exército – www.igeoe.pt – que permite efectuar transformações entre sistemas de coordenadas utilizados em Portugal, sob a forma de coordenadas Rectangulares (Militares, Ponto Central e UTM) e Geográficas, bem assim como transformação entre os diversos sistemas, sendo disponibilizadas conversões entre os *data* de Lisboa, *Datum 73*, WGS84 e ED50 na região do Continente.

Optou-se por utilizar coordenadas geográficas WGS84, visto os dados irem ser utilizados em conjunto com outros provenientes de outras zonas do globo, e como se pretendia associar os dados a representações não projectadas também.

Tendo em vista os programas SIG a serem utilizados neste trabalho, as coordenadas geográficas WGS84 obtidas através desta transformação, em Graus Sexagesimais, foram ainda convertidas para Graus Decimais.

A transformação de coordenadas de todos os pontos de amostragem permitiu uma primeira validação geográfica, tendo-se constatado que:

- a amostra 205 (175/12) apresenta na IBEROARSEN-BD as coordenadas UTM (WGS84) erradas;
- as amostras 499 a 566, ao contrário do mencionado nas Características de Iberoarsen-BD, não se encontram georreferenciadas mediante o sistema de projecção UTM (WGS84) mas sim mediante o sistema de projecção UTM (ED50).

A base de dados IBEROARSEN-BD, indispensável para este trabalho, não se encontra, à data de elaboração deste relatório, disponível na WEB.

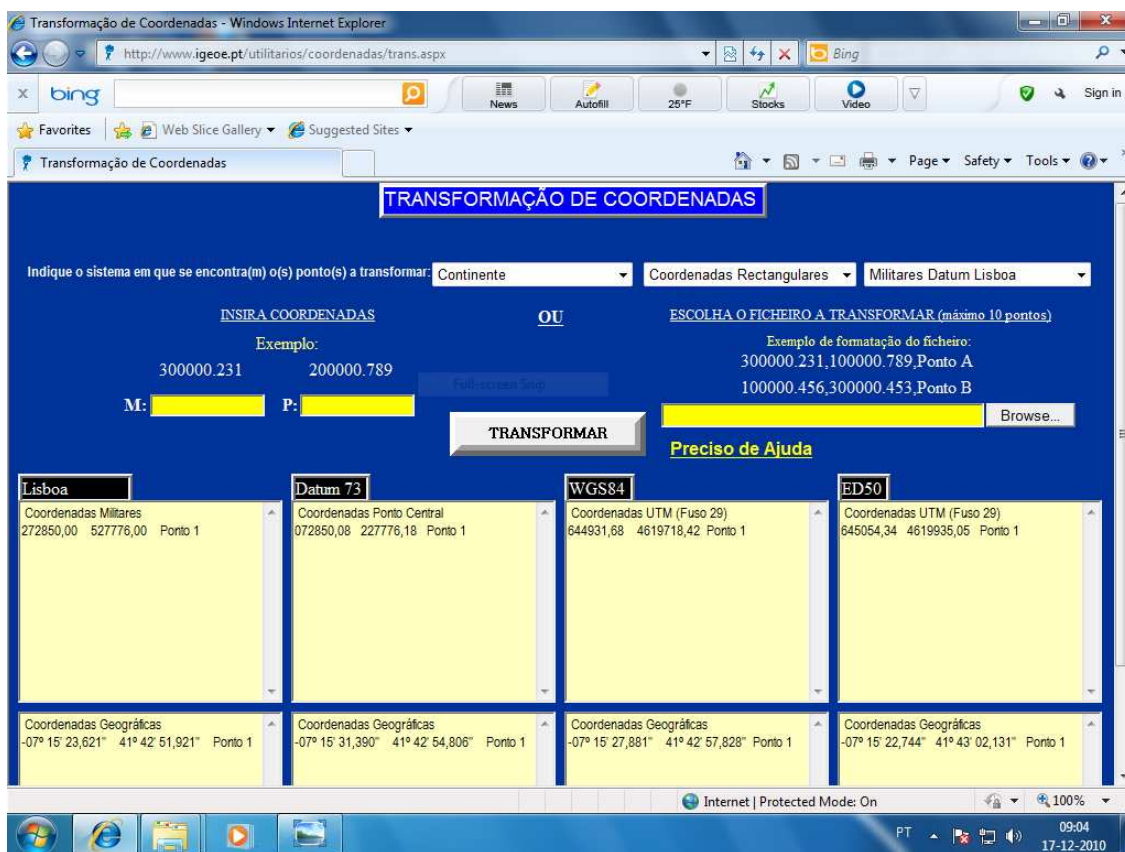


Figura 1 – Exemplo de transformação de coordenadas do ponto de amostragem 1

Preenchimento de informação em falta

Tendo sido observada alguma falta de informação importante, nomeadamente geográfica e hidrogeológica, na base de dados deste trabalho, procurou-se, da melhor forma possível e com as ferramentas disponíveis até este momento, completar essa informação.

Localização geográfica

Para corrigir e acrescentar a informação geográfica existente nos dados recorreu-se à CAOP – Cartografia Administrativa Oficial Portuguesa, disponível no sítio do Instituto Geográfico Português – www.igeo.pt – e pelo cruzamento com as coordenadas foi possível obter a localização geográfica administrativa, freguesia, concelho, distrito, e a folha da carta militar série M888 (escala 1:25.000) de todos os pontos de amostragem. A toponímia foi, quando possível, normalizada.

Neste procedimento detectou-se que as amostras 64 (N28W04W3) e 65 (N28W04W4) não se localizam em Portugal (estão localizadas em Espanha).

Incorporação de dados do SNIRH

Incorporação de informação da base de dados do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) – www.snirh.pt – onde existem vários pontos de água subterrânea com informação detalhada.

As amostras 71 a 498 encontram-se no SNIRH tendo sido assim possível completar a sua informação relativa aos seguintes parâmetros: região hidrográfica, bacia hidrográfica, unidade hidrogeológica, sistema aquífero e tipo de ponto de água.

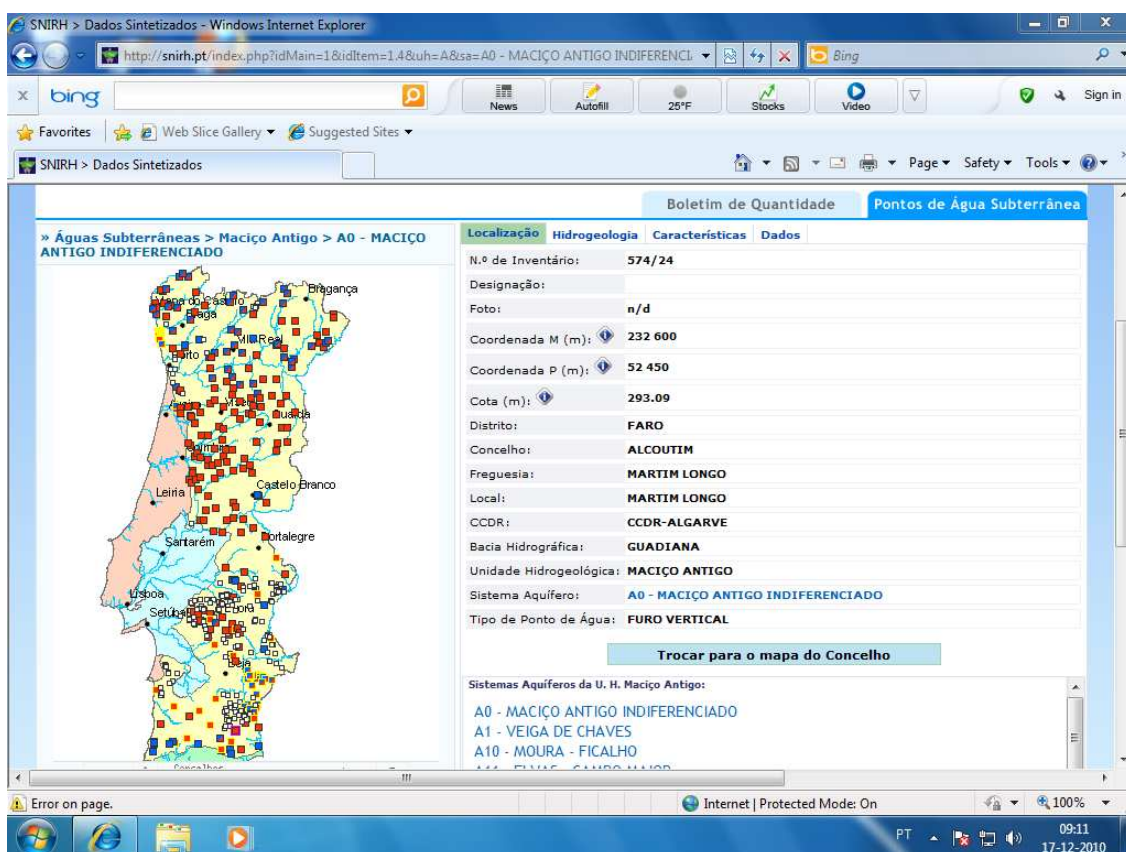


Figura 2 – Exemplo da informação de um ponto de água subterrânea (amostra 71) na base de dados sintetizados do SNIRH

Elaboração da tabela de dados final

Após os procedimentos atrás descritos, foi possível elaborar a tabela de dados final que tem as seguintes características:

- 573 linhas correspondentes aos pontos de amostragem.
- 56 colunas correspondentes aos atributos apresentados abaixo.

Nesta tabela de dados final, os valores da análise química foram representados com quatro casas decimais e naqueles que apresentavam o sinal < (que não é aceite pelos programas SIG a utilizar) foi considerado o valor médio.

Esta tabela de dados integra uma folha de cálculo denominada “iberoarsen_BD Final” que contém, também, uma tabela de definições dos atributos.

Atributos	Unidades	Gama	Significado
Id_Est_Amost	índice		Índice de identificação da estação de amostragem
Id_Amost	índice		Índice de identificação da amostra
Carta_Militar			Carta militar M888 escala 1:25.000
Pais			País
Provincia			Província (conceito argentino equivalente à região de Portugal)
Distrito			Distrito (unidade administrativa retirada da CAOP 2010)
Concelho			Concelho (unidade administrativa retirada da CAOP 2010)
Freguesia			Freguesia (unidade administrativa retirada da CAOP 2010)
Local			Local de recolha da amostra obtido do SNIRH
Localidade			Localidade (conceito inconsistente - numa amostras correspondente à localidade e noutras amostras correspondente à bacia hidrográfica)
Cidade			Cidade (conceito equivalente ao concelho de Portugal)
MDL_Mer	metros		Coordenada Militar Datum Lisboa - Meridiano
MDL_Par	metros		Coordenada Militar Datum Lisboa - Paralelo
WGS84_Long_G	graus		Coordenada Geográfica WGS84 - Longitude
WGS84_Long_M	minutos		Coordenada Geográfica WGS84 - Longitude
WGS84_Long_S	segundos		Coordenada Geográfica WGS84 - Longitude
WGS84_Long_D	graus decimais		Coordenada Geográfica WGS84 - Longitude
WGS84_Lat_G	graus		Coordenada Geográfica WGS84 - Latitude
WGS84_Lat_M	minutos		Coordenada Geográfica WGS84 - Latitude
WGS84_Lat_S	segundos		Coordenada Geográfica WGS84 - Latitude
WGS84_Lat_D	graus decimais		Coordenada Geográfica WGS84 - Latitude
Cota	metros		Cota, metros acima do nível do mar
Reg_Hidr			Região hidrográfica obtida do SNIRH
Bacia_Hidr			Bacia hidrográfica obtida do SNIRH e do Atlas do Ambiente
Unid_Hidr			Unidade hidrogeológica obtida do SNIRH
Sist_Aqu			Sistema aquífero obtido do SNIRH
Tipo_Ponto_Agua			Tipo de ponto de água obtido do SNIRH
Tipo		sub-s, sub-p, sup, lag, man	Tipo de água: água subterrânea superficial, água subterrânea profunda, rio, lago, manancial
Uso_da_agua		hum, an, irr, ind, ter, rec, ef, monit	Uso da água: consumo humano, consumo animal, rega, industrial, termal, recreativo, efluente, monitorização
Tipo_Aqu		por, fra, mix	Tipo de aquífero: poroso, fracturado, misto
Lit_Aqu		sd, grv, grt, sq, lims	Litologia do aquífero: areia, gravilha, granito, xisto, calcário
Ano			Ano da realização da análise química
DO	mg/L		Oxigénio dissolvido

Atributos	Unidades	Gama	Significado
Eh	mV		Potencial redox
EC	$\mu\text{S}/\text{cm}$		Condutividade eléctrica
TDS	mg/L		Total de sólidos dissolvidos
pH			pH
T	$^{\circ}\text{C}$		Temperatura
Na+	mg/L		Sódio
K+	mg/L		Potássio
Ca ²⁺	mg/L		Cálcio
Mg ²⁺	mg/L		Magnésio
HCO ₃ ⁻	mg/L		Bicarbonato
Cl ⁻	mg/L		Cloro
SO ₄ ²⁻	mg/L		Sulfato
F	mg/L		Fluor
As_V	$\mu\text{g}/\text{L}$		Arsénio V
As_III	$\mu\text{g}/\text{L}$		Arsénio III
As_Tot	$\mu\text{g}/\text{L}$		Arsénio total
Fe	$\mu\text{g}/\text{L}$		Ferro
Mn	$\mu\text{g}/\text{L}$		Manganês
V	$\mu\text{g}/\text{L}$		Vanádio
Mo	$\mu\text{g}/\text{L}$		Molibdénio
Pb	$\mu\text{g}/\text{L}$		Chumbo
Cd	$\mu\text{g}/\text{L}$		Cádmio
Zn	$\mu\text{g}/\text{L}$		Zinco

REPRESENTAÇÃO ESPACIAL DOS DADOS

Neste trabalho foram representados no mapa de Portugal do ArcMap os 573 pontos de amostragem de água e respectiva informação (atributos).

Com vista à confirmação da localização geográfica de alguns pontos de amostragem em dúvida e do preenchimento dos campos de atributos – sistema aquífero e bacia hidrográfica – em falta nalguns pontos de amostragem, foram inseridos neste mapa de Portugal do ArcMap as seguintes cartas:

- CAOP 2010 – a Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP) regista o estado da delimitação e demarcação das circunscrições administrativas do País. O Instituto Geográfico Português (IGP), integrado no Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território, é responsável pela sua execução. A CAOP 2010, em vigor a partir de 30 de Julho de 2010, foi estruturada tendo por base o catálogo de entidades descrito de acordo com as normas ISO e segundo o modelo de dados já existentes. Os dados são administrados e geridos numa base de dados geográfica e a disponibilização da CAOP 2010 é efectuada em ficheiros em formato “shapefile”.

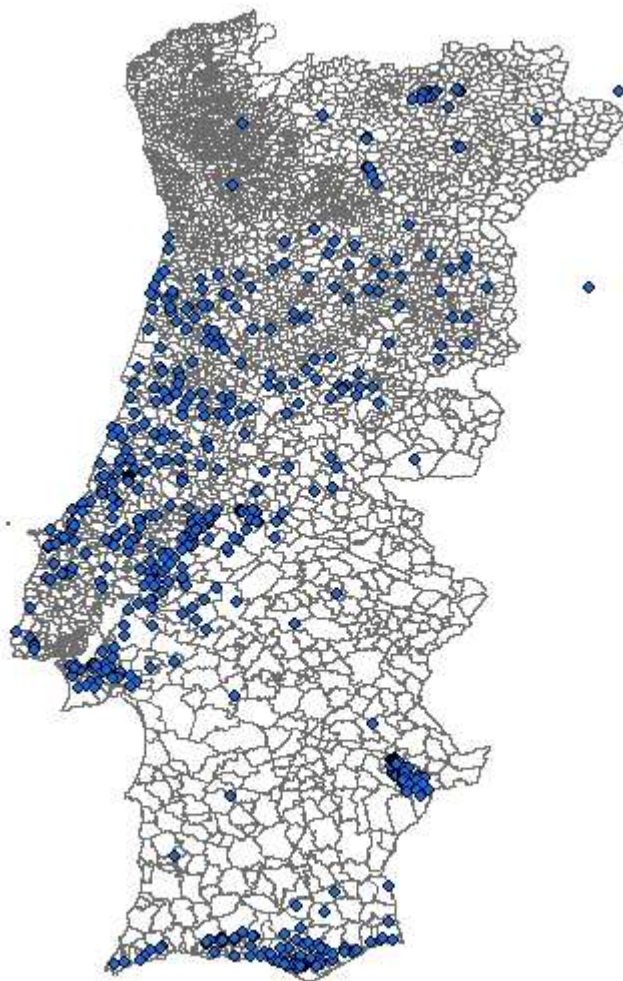


Figura 3 – Representação espacial dos pontos de amostragem na CAOP 2010

- Atlas da Água – Sistemas Aquíferos – os ficheiros contêm os polígonos que definem os limites dos sistemas aquíferos. O formato é o “shapefile”, no sistema de referência Hayford-Gauss, Datum Lisboa (coordenadas militares), em metros.

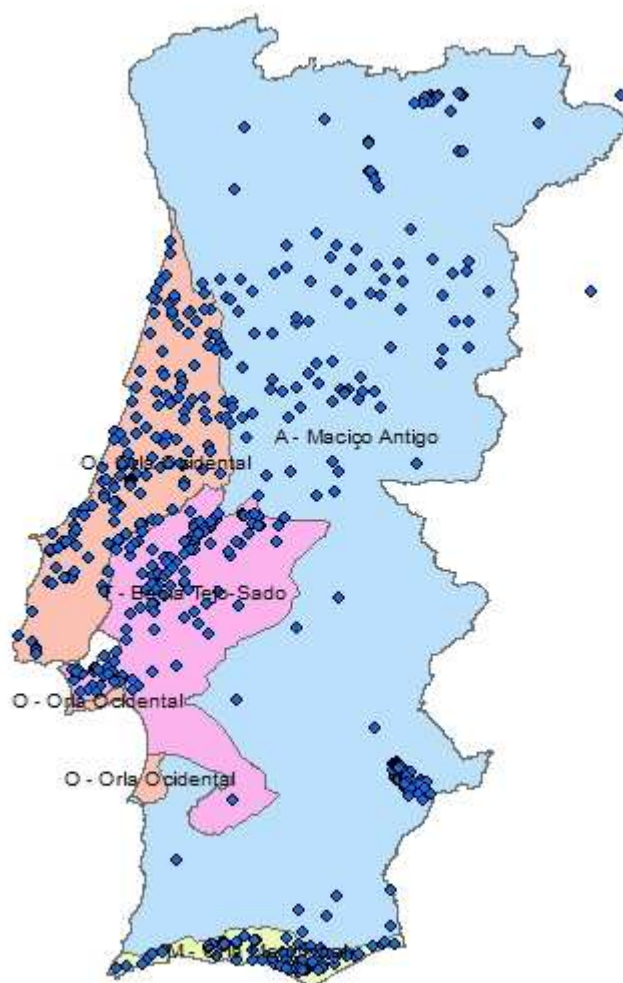


Figura 4 – Representação espacial dos pontos de amostragem no mapa com a distribuição das unidades hidrogeológicas

- Atlas do Ambiente – Principais Bacias Hidrográficas – disponível no formato “shapefile”, Datum Lisboa, coordenadas militares, em metros.

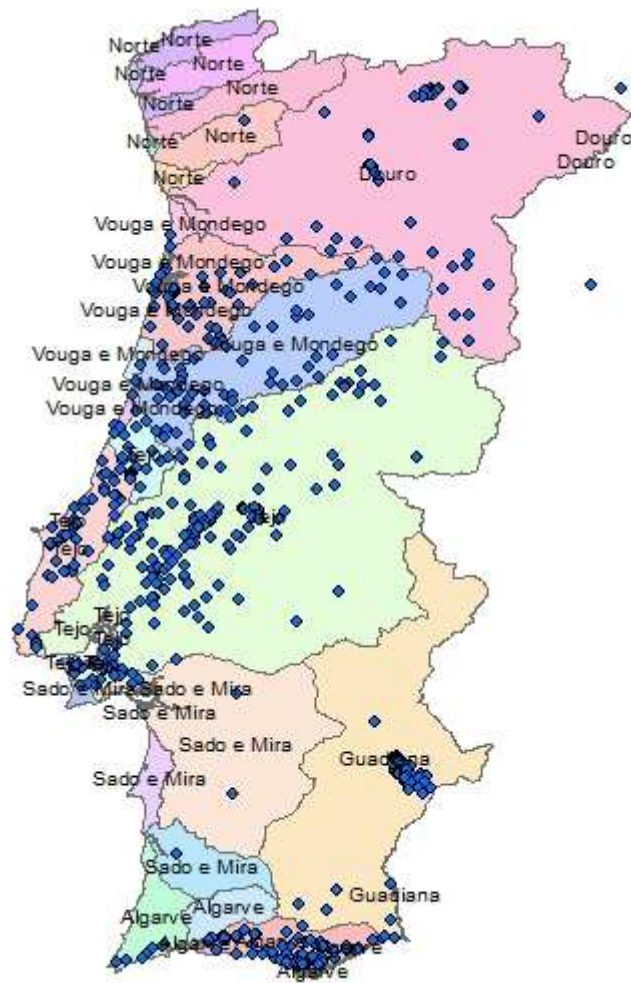


Figura 5 – Representação espacial dos pontos de amostragem na carta das principais bacias hidrográficas

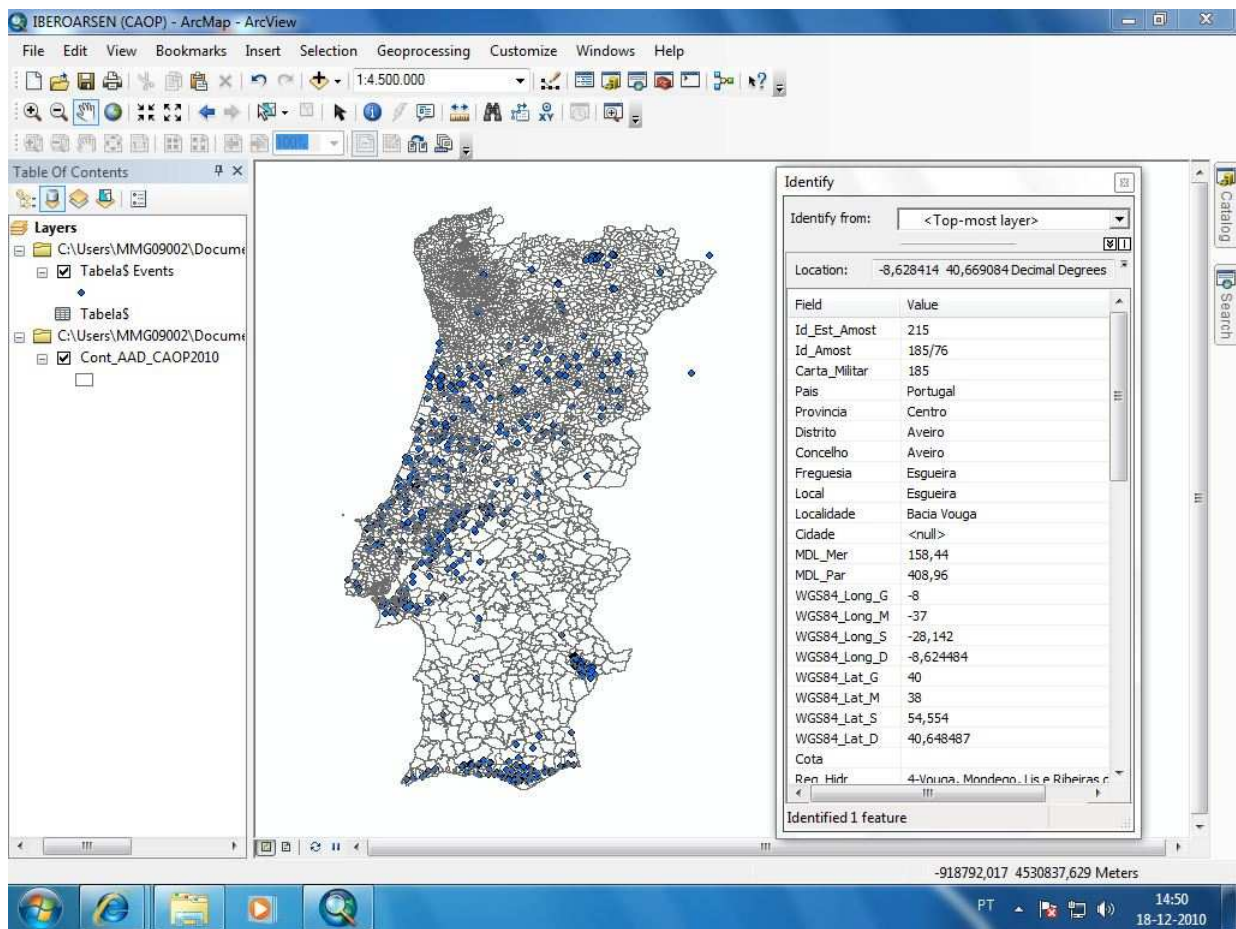


Figura 6 – Informação associada a um ponto de amostragem representada no ArcMap

Neste trabalho efectuou-se, apenas, a representação espacial dos dados no ArcGlobe com a expectativa de, posteriormente, poder explorar algumas das suas funcionalidades.

Representação no Arc Globe



Figura 7 – Representação espacial dos pontos de amostragem no ArcGlobe

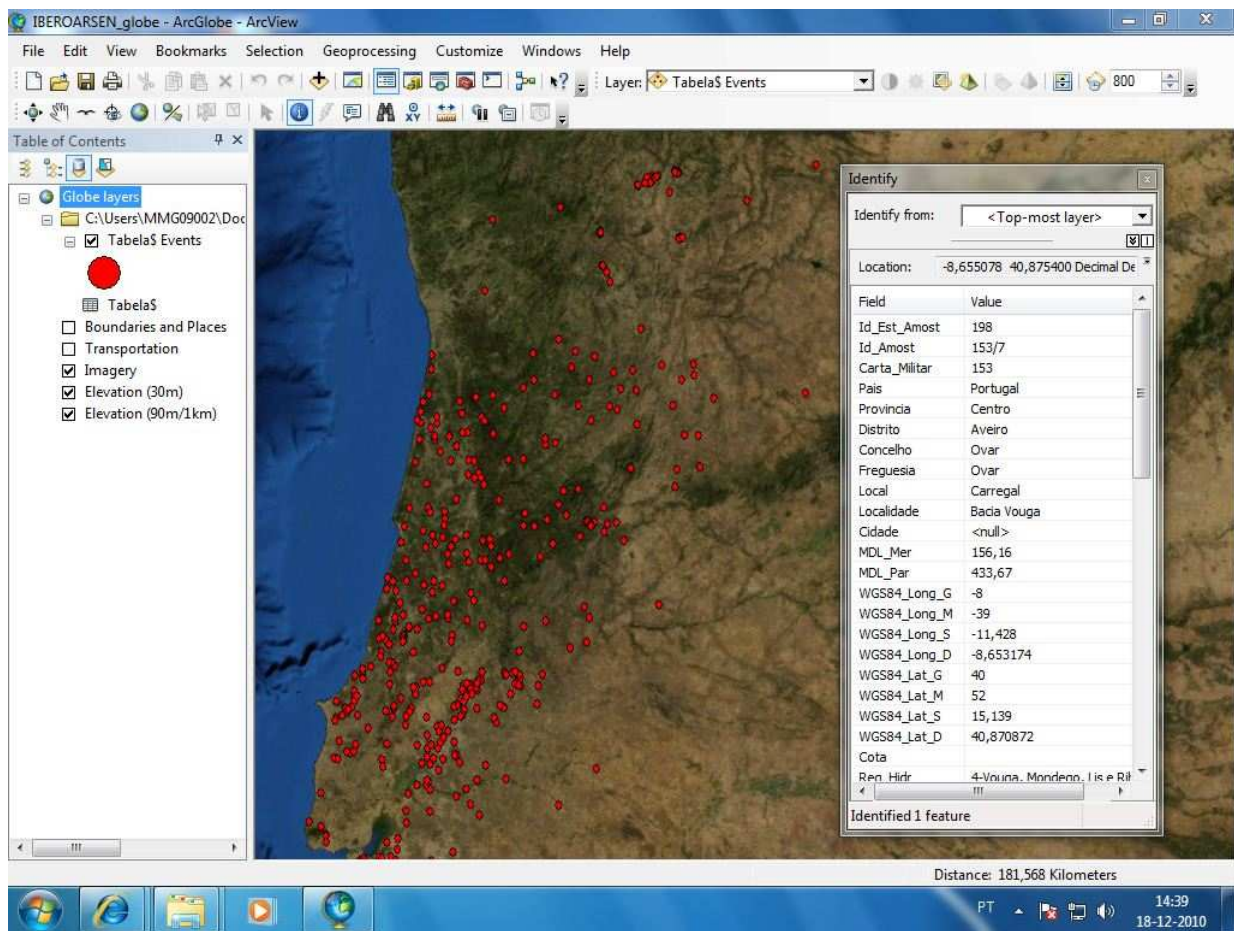


Figura 8 – Informação associada a um ponto de amostragem representada no ArcGlobe

Representação em Google Earth



Figura 9 – Representação espacial dos pontos de amostragem no Google Earth

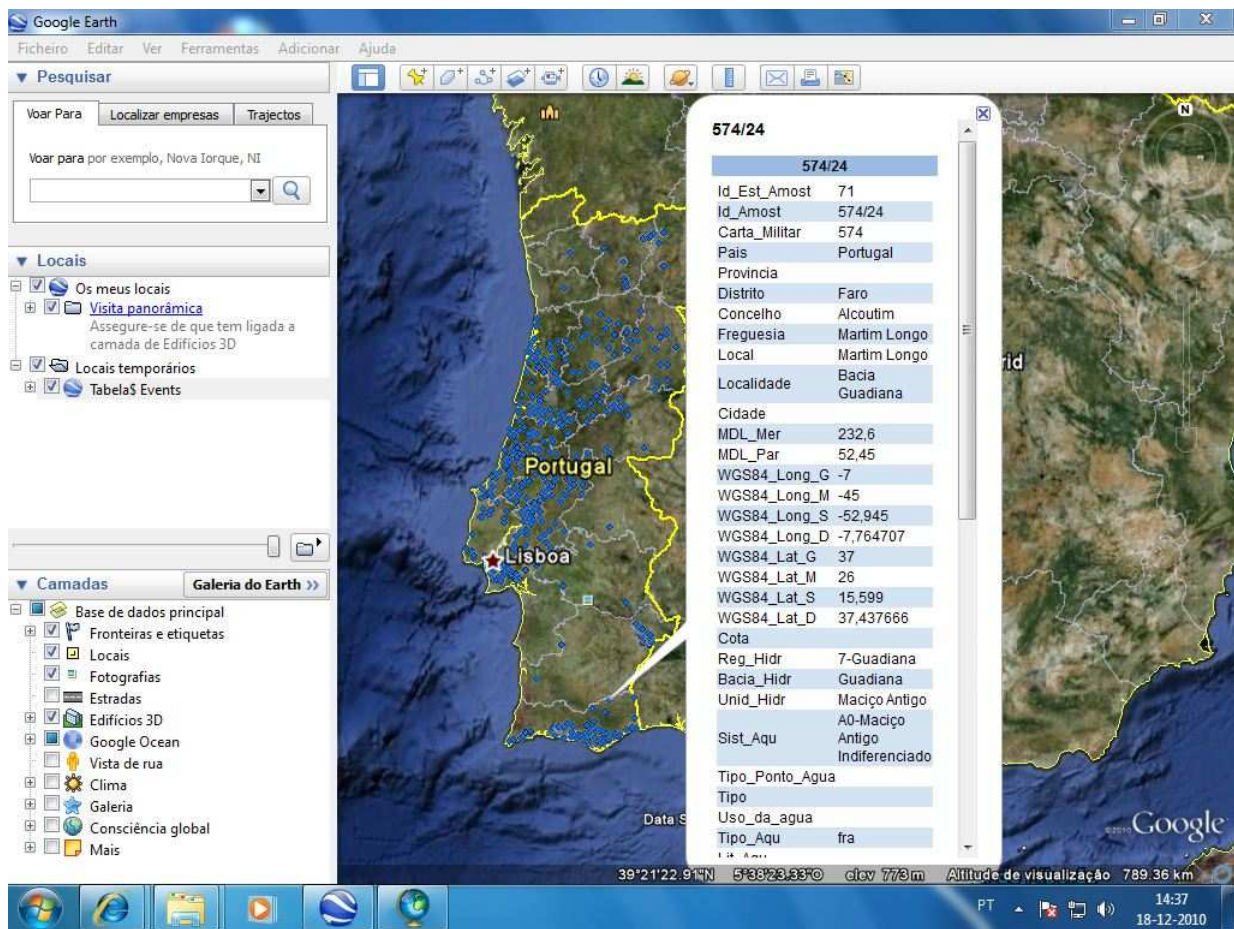


Figura 10 – Informação associada a um ponto de amostragem representada no Google Earth

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho desenvolvido pretendeu demonstrar como aplicar a técnica de Geoprocessamento para apresentação de uma quantidade de informações geograficamente referenciadas.

Assim, foram apresentados alguns procedimentos, nomeadamente ao nível de cartografia, que permitiram criar uma base de dados espaciais e não-espaciais para ser editada em dois programas de informação geográfica diferentes: ArcGIS e Google Earth.

Este trabalho permitiu constatar que com uma base de dados devidamente construída, com determinadas precauções ao nível de estrutura e simbologia, facilmente se consegue a representação espacial dos dados nestes dois programas de SIG, ou seja, a interoperabilidade entre o ArcGIS e o Google Earth é bastante satisfatória.

Tendo em atenção que os dados utilizados neste trabalho estão ligados a um programa internacional iberoamericano de distribuição de arsénio, a representação espacial no Google Earth teve como objectivo a difusão à comunidade em geral de todas as informações relacionadas com os pontos de amostragem de água localizados em Portugal.

A representação espacial no ArcGIS permitirá a construção de mapas de distribuição geográfica e hidrogeológica de arsénio em águas portuguesas com a consequente identificação de aquíferos livres de arsénio para o abastecimento de água potável.

Assim, em relação à distribuição do arsénio nas águas subterrâneas portuguesas, foi possível verificar que a maior concentração deste elemento químico se localiza no Norte de Portugal (bacia hidrográfica do Douro e sistema aquífero do Maciço Antigo Indiferenciado). No resto do país, os valores são relativamente baixos.

LISTA DE REFERÊNCIAS

1. AGÊNCIA PORTUGUESA DO AMBIENTE – www.iambiente.pt.
2. ARONOFF, S. – Geographical Information Systems: A Management Perspective. Ottawa, Canadá, WDL Publications, 1989.
3. BUNDSCHUH, J.; CARRERA, A. P.; LITTER, M. – IBEROARSEN – Distribución del arsénico en las regiones Ibérica e Iberoamericana. Argentina, CYTED, 2008.
4. BURROUGH, P. A. – Principles of geographical information systems for land resources assessment. Oxford, Oxford University Press, 1986.
5. CÂMARA, G. – Modelos, Linguagens e Arquiteturas para Bancos de Dados Geográficos. Tese de Doutorado em Computação Aplicada. São José dos Campos, INPE, 1995.
6. COWEN, D. J. – GIS versus CAD versus DBMS: what are the differences. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54:1551-4, 1988.
7. ESRI – www.esri.com.
8. GARCÍA, G. – Características de Iberoarsen-BD. www.cnea.gov.ar.
9. GOOGLE EARTH – www.earth.google.com.
10. INSTITUTO GEOGRÁFICO DO EXÉRCITO – www.igeoe.pt.
11. INSTITUTO GEOGRÁFICO PORTUGUÊS – www.igeo.pt.
12. PINA, M. F.; SANTOS, S. M. – Conceitos Básicos de Sistemas de Informação Geográfica e Cartografia Aplicados à Saúde. Brasília, OPAS, 2000.
13. SMITH, T.; PEUQUET, D.; MENON, S.; AGARWAL, P. – KBGIS-II, a Knowledge-Based Geographical Information System. *International Journal of Geographical Information Systems*, Vol 1, N. 2, pp. 149-172, 1987.

14. SNIRH – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS –
www.snirh.pt.

ANEXOS

Os anexos estão disponíveis no CD que acompanha esta Dissertação.

- Anexo A – Ficheiro “Excel” com a folha de cálculo denominada “iberoarsen_BD1”
- Anexo B – Ficheiro “Excel” com a folha de cálculo denominada “iberoarsen_BD2”
- Anexo C – Ficheiro “Excel” com a folha de cálculo denominada “iberoarsen_BD Final”
- Anexo D – Ficheiro “ArcMap” denominado “IBEROARSEN_map” com a representação espacial dos pontos de amostragem
- Anexo E – Ficheiro “ArcGlobe” denominado “IBEROARSEN_globe” com a representação espacial dos pontos de amostragem
- Anexo F – Ficheiro “KMZ” denominado “IBEROARSEN_google” com a representação espacial dos pontos de amostragem no Google Earth