



DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA E DE COMPUTADORES

**SIG na Avaliação do
Potencial Energético de
Energias Renováveis**

FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua dos Bragas, 4099 Porto Codex – PORTUGAL

Aurélio Nogueira Valente Pires

Licenciado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores pela
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

**SIG na Avaliação do
Potencial Energético de
Energias Renováveis**

621.3(043)
PIRES/SIG

UNIVERSIDADE DO PORTO
Faculdade de Engenharia
BIBLIOTECA 11
N.º 19915-01
COU
Data 18 / 7 / 1994

U.N. 6451

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Porto, Abril de 1994

093 M

P743 2

Tese submetida para satisfação parcial dos requisitos do programa de
Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Dissertação realizada sob a orientação de

Fernando Nunes Ferreira

Professor Catedrático do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

*"I look forward to the day when GIS technology
will be part of the decision support environment of
everyone who makes decisions that affect either the
natural world or the world we have built."*

Jack Dangermond

Agradecimentos

Desejo agradecer,

Ao meu orientador, Professor Doutor Fernando Nunes Ferreira (DEEC-FEUP/INESC), toda a colaboração e apoio sempre demonstrado.

Ao Professor Álvaro Rodrigues e ao Engenheiro Fernando Aristides (DEMGI-FEUP/INEGI), pelas contribuições na parte das energias eólicas e pela disponibilidade para discutir algumas dificuldades surgidas.

A todos os colegas do INESC, principalmente às pessoas do Grupo de Computação Gráfica & CAD, a sua camaradagem e ajuda sempre pronta.

Ao INESC, pelas facilidades concedidas e pelas excelentes condições de trabalho oferecidas.

À minha família, pela paciência demonstrada e pelo apoio e compreensão que sempre me deram.

Resumo

As Energias Renováveis têm dado uma contribuição útil na cobertura das diferentes necessidades energéticas. No entanto, existem vários obstáculos que dificultam a sua utilização, nomeadamente, o conhecimento deficiente do potencial energético e das possibilidades oferecidas por estas fontes de energia, sobretudo ao nível regional e local.

Os Sistemas de Informação Geográfica têm vindo a assumir uma importância crescente no panorama dos desenvolvimentos informáticos actuais, agindo como sistemas que visam a integração multisectorial e o eficiente armazenamento, análise e visualização de toda a informação susceptível de ser referenciada geograficamente.

Este trabalho teve como finalidade o estudo de viabilidade da utilização dos Sistemas de Informação Geográfica na avaliação do potencial energético de três tipos específicos de energias renováveis: energia solar, energia eólica e a energia hídrica. Neste sentido, foi construída uma aplicação protótipo que teve como base de desenvolvimento o sistema ARC/INFO.

No âmbito dos Sistemas de Informação Geográfica, este trabalho procurou dar uma visão geral sobre a modelação da informação geográfica nas vertentes espacial e de atributo, com destaque para as modelações geométrica, de base de dados e de dados geográficos.

Palavras Chave:

Sistemas de Informação Geográfica, Energias Renováveis, Potencial Energético, Sistemas de Base de Dados, Informação Geográfica, Modelação Geométrica.

Índice de Conteúdos

Agradecimentos.....	i
Resumo.....	ii
Índice de Conteúdos.....	iii
Índice de Figuras e Tabelas.....	vii

1 Introdução

1.1 Considerações Iniciais.....	1.1
1.2 Objectivo, Motivação e Solicitações.....	1.2
1.3 Panorâmica dos Capítulos.....	1.3

2 Sistemas de Informação Geográfica

2.1 Introdução.....	2.1
2.2 Conceitos.....	2.1
2.3 Elementos Constituintes.....	2.2
2.3.1 Hardware.....	2.3
2.3.2 Software.....	2.4
Interacção.....	2.5
Entrada e Verificação de Dados Geográficos.....	2.6
Gestão e Armazenamento.....	2.6
Transformação e Análise.....	2.7
Saída e Visualização.....	2.8
2.3.3 Dados.....	2.8
Base de Dados Cartográfica.....	2.8
Dados Digitais de Terreno.....	2.9
Dados Recursos Naturais.....	2.10
Dados Censitários.....	2.10
2.3.4 Procedimentos.....	2.10
2.3.5 Pessoas.....	2.10
2.4 Sistemas Comerciais.....	2.12
2.5 Tendências Evolutivas.....	2.18
Hardware.....	2.19
Software.....	2.19

	Integração de Tecnologia e de Informação.....	2.20
	Sistemas de Realidade Virtual.....	2.21
	Sistemas Multimédia.....	2.22
2.6	Considerações Finais.....	2.23
3	Modelação de Informação Geográfica	
3.1	Introdução.....	3.1
3.2	Informação Geográfica.....	3.1
3.3	Sistemas de Base de Dados.....	3.2
3.3.1	Conceitos.....	3.3
3.3.2	Objectivos.....	3.5
3.3.3	Modelos de Base de Dados.....	3.7
3.4	Modelos de Base de Dados Geográficas.....	3.8
3.4.1	Modelos de Base de Dados Genéricos.....	3.8
	Modelo Relacional.....	3.8
	Modelo Funcional.....	3.9
	Modelo Entidade-Associação.....	3.10
	Modelo PROBE.....	3.11
	Modelo Semântico e Orientado a Objectos (OOSAM).....	3.11
3.4.2	Modelos de Dados Geográficos.....	3.12
	Modelo Semântico de Base de Dados Geográficas (GSDM).....	3.12
	Estrutura de Informação Cartográfica.....	3.13
	Modelo Analítico de Dados Geográficos (GADM).....	3.14
	Sistema de Informação Geográfica Baseado em Conhecimento.....	3.14
	Modelo Dados Geográficos Orientado a Objectos (OOGDM).....	3.15
3.4.3	Resumo Comparativo.....	3.16
3.5	Cosiderações Finais.....	3.20
4	Modelação Geométrica	
4.1	Introdução.....	4.1
4.2	Conceitos.....	4.1
	Espaço.....	4.1
	Mapa.....	4.2
	Escala.....	4.3
4.3	Modelos para Informação Espacial.....	4.4
4.3.1	Modelo Raster.....	4.4
	Run-Length Encoding.....	4.6
	Quadtrees.....	4.7

4.3.2	Modelo Vectorial.....	4.9
	Modelo Cartográfico.....	4.10
	Modelo Topológico.....	4.11
	Modelo Georelacional.....	4.14
	Rede de Triângulos Irregulares (TIN).....	4.15
4.4	Considerações Finais.....	4.18
5	Energias Renováveis	
5.1	Considerações Iniciais.....	5.1
5.2	Energia Solar.....	5.2
5.3	Energia Eólica.....	5.3
	Potência Produzida por um Aerogerador.....	5.4
	Estrutura e Estatísticas do Vento.....	5.5
	Determinação da Velocidade Média do Vento.....	5.7
	Identificação do Local da Instalação.....	5.8
5.4	Energia Hídrica.....	5.10
	Potência e Energia Hidroeléctrica.....	5.11
	Estrutura e Estatísticas dos Recursos Hídricos.....	5.11
	Identificação do Local da Instalação.....	5.12
5.5	Domínios de Intervenção SIG.....	5.13
5.6	Considerações Finais.....	5.15
6	Protótipo APEER	
6.1	Introdução.....	6.1
6.2	Requisitos e Estrutura do Protótipo.....	6.1
6.3	Interface do Protótipo.....	6.4
	6.3.1 Estrutura de Menus e Opções.....	6.5
	Menu Principal.....	6.5
	Opções do Menu System.....	6.6
	Opção Help.....	6.7
6.4	Aspectos de Implementação.....	6.8
	6.4.1 A Linguagem AML.....	6.8
	6.4.2 Esquemas de Codificação.....	6.9
	6.4.3 Estrutura do Espaço de Trabalho.....	6.10
	6.4.4 O FormEdit.....	6.11
	6.4.5 O ArcTools.....	6.13
6.5	Exemplos de Utilização.....	6.14

7	Conclusões	
7.1	Trabalho Realizado.....	7.1
7.2	Sugestões para Trabalho Futuro.....	7.2
8	Bibliografia	
8.1	Referências Bibliográficas.....	8.1
8.2	Outra Bibliografia Consultada.....	8.10

Apêndice A - Software ARC/INFO

Apêndice B - Abreviaturas

Apêndice C - Glossário

Índice de Figuras e Tabelas

2	Sistemas de Informação Geográfica	
Fig. 2.1	Relação dos SIG com as áreas da computação e da geografia.....	2.2
Fig. 2.2	Elementos constituintes de um SIG.....	2.3
Fig. 2.3	Principais componentes de hardware de um SIG.....	2.4
Fig. 2.4	Subsistemas funcionais de um SIG genérico.....	2.5
Fig. 2.5	Mercado mundial de software SIG. 1992.....	2.17
Fig. 2.6	Mercado mundial de software SIG para PC. 1992.....	2.17
Fig. 2.7	Sistema integrador de tecnologia e de informação.....	2.20
Fig. 2.8	Tecnologias a integrar no ARC/INFO.....	2.22
Tab. 2.1	Tipo de utilizadores SIG e suas necessidades.....	2.11
Tab. 2.2	Identificação do software.....	2.14
Tab. 2.3	Estrutura geral do programa.....	2.15
Tab. 2.4	Plataformas de hardware.....	2.16
Tab. 2.5	Mercado português de software SIG.....	2.18
3	Modelação de Informação Geográfica	
Fig. 3.1	Sistema de base de dados.....	3.3
Fig. 3.2	Níveis da arquitectura de um sistema de base de dados.....	3.5
Tab. 3.1	Níveis de abstracção de modelos de base de dados.....	3.7
Tab. 3.2	Comparação de cinco modelos de base de dados.....	3.18
Tab. 3.3	Comparação de cinco modelos de dados geográficos.....	3.19
4	Modelação Geométrica	
Fig. 4.1	Formato de células. a) quadrado. b) triangular. c) hexagonal.....	4.5
Fig. 4.2	Esquema de análise em representação <i>raster</i>	4.5
Fig. 4.3	Estratégias de codificação RLE. a) standard. b) codificação valor ponto.....	4.6
Fig. 4.4	Subdivisão de uma região usando o método <i>quadtrees</i>	4.8
Fig. 4.5	Representação esquemática da estrutura <i>quadtree</i>	4.8

Fig. 4.6	Representação de ponto, linha e polígono por um conjunto de coordenadas (x, y).....	4.9
Fig. 4.7	Modelo de dados cartográfico.....	4.10
Fig. 4.8	Modelo topológico.....	4.11
Fig. 4.9	Esquema genérico do modelo georelacional.....	4.14
Fig. 4.10	Níveis de informação e tabelas chave.....	4.15
Fig. 4.11	Exemplo de um RTI. a) no plano xy. b) perspectiva 3D.....	4.16
Fig. 4.12	Estrutura topológica de RTI.....	4.16
Fig. 4.13	Triangulação de Delaunay.....	4.17

5 Energias Renováveis

Fig. 5.1	Balanço energético global.....	5.1
Fig. 5.2	Influência da rugosidade do terreno na velocidade do vento.....	5.6
Fig. 5.3	Influência do relevo na velocidade do vento. a) terreno plano. b) colina.....	5.7
Tab. 5.1	Densidades anuais médias de potência eólica para as alturas de 10 e 30 metros (W/m ²).....	5.4

6 Protótipo APEER

Fig. 6.1	Diagrama de blocos do protótipo APEER.....	6.3
Fig. 6.2	Estrutura do protótipo APEER.....	6.4
Fig. 6.3	Menu principal.....	6.5
Fig. 6.4	Menu System.....	6.7
Fig. 6.5	Menu Change Workspace.....	6.7
Fig. 6.6	Janela de ajuda referente ao menu principal.....	6.8
Fig. 6.7	Interface do FormEdit.....	6.12
Fig. 6.8	Folha de propriedades do objecto interface Button.....	6.13
Fig. 6.9	Rede de triângulos irregulares (RTI).....	6.15
Fig. 6.10	Modelo digital de altitude (MDA).....	6.15
Fig. 6.11	Isolinhas com determinado espaçamento.....	6.16
Fig. 6.12	Modelo <i>raster</i> com determinada resolução.....	6.16
Fig. 6.13	Visualização em perspectiva e sobreposição de elementos 2D.....	6.17
Fig. 6.14	Gráficos bidimensionais.....	6.17

Apêndice A - Software ARC/INFO

Tab. A.1	Classes Entidade e respectivas Feature Attribute Tables.....	A.12
Tab. A.2	Modelos de Dados do ARC/INFO. Resumo.....	A.15

Capítulo 1

Introdução

Considerações Iniciais

Objectivo, Motivação e Solicitações

Panorâmica dos Capítulos

1.1 Considerações Iniciais

As Energias Renováveis (ER) são recursos explorados, enquanto tal, desde tempos remotos: o sol, o vento, a água, a biomassa, etc. Hoje em dia, em plena era industrial, marcada pelos grandes empreendimentos e intensos consumos energéticos, o aproveitamento das energias renováveis encontra novas razões em consonância com as estratégias de conservação e de diversificação energéticas, estas mesmas indutoras da descentralização da produção e da reformulação das políticas energéticas na perspectiva da procura. As ER são vectores a considerar no contexto de um desenvolvimento equilibrado, não porque sejam um substituto em quantidade de algumas das formas energéticas de uso mais comum, mas porque oferecem um largo espectro de aplicações para um vasto leque de condições [Fer88].

Na amplitude da escala de sofisticação tecnológica assenta, em grande parte, a flexibilidade dos recursos energéticos renováveis à sua adequação às diversas finalidades e, em consequência, a sua capacidade de adaptação à optimização de recursos aos níveis local e regional.

Actualmente, já existem programas computacionais que a partir do conhecimento dos recursos energéticos renováveis disponíveis (radiação solar, velocidade do vento, etc) permitem efectuar o dimensionamento de qualquer sistema de aproveitamento desses recursos para um local específico, tendo em linha de conta as condições e características do local [Dun86] [Fre90] [McV83]. O desenvolvimento deste tipo de programas tem incidido fundamentalmente sobre o aperfeiçoamento dos modelos de viabilidade económica e técnica, deixando para segundo plano o tratamento e visualização gráfica da informação produzida (note-se que o potencial da visualização gráfica reside na maior facilidade de compreensão, detecção de erros e análise de informação, e não na beleza das imagens que se possam produzir).

Encarar a avaliação do potencial energético, o planeamento e a instalação concreta de sistemas ER à escala regional, independentemente do estudo da sua viabilidade económica e técnica, exige o conhecimento e a compreensão profunda da realidade a vários níveis, segundo uma visão geograficamente estendida. A esta escala, o aumento do volume de informação e de processamento é de tal ordem que o cumprimento de tal objectivo requer a utilização de sistemas computacionais adequados.

Os Sistemas de Informação Geográfica têm vindo a assumir uma importância crescente no panorama dos desenvolvimentos informáticos actuais, agindo como sistemas integrados que visam a integração multisectorial. Têm como características principais a capacidades de recolha, tratamento e armazenamento de toda a informação que seja susceptível de referência geográfica; a integração de complexos modelos matemáticos; e a visualização cruzada da informação geográfica armazenada, da informação resultante de processos de simulação, de análises espaciais, etc.

1.2 Objectivo, Motivação e Solicitações

As energias renováveis têm dado uma contribuição útil na cobertura das diferentes necessidades energéticas. A seguir aos dois choques petrolíficos, a utilização das ER conheceu um certo desenvolvimento, um pouco por toda a parte. No entanto, este não foi sustentado e a penetração das ER conheceu mesmo uma certa estagnação devido à evolução dos preços das energias convencionais. Além disso, existem vários obstáculos que dificultam a sua utilização, de que se destaca o conhecimento deficiente do potencial energético e das possibilidades oferecidas por estas fontes de energia, sobretudo ao nível regional e local [MIE90].

O trabalho a desenvolver visa um melhor conhecimento dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), nas suas várias vertentes, e o estudo de viabilidade da utilização dos SIG, como suporte tecnológico, na avaliação do potencial energético de energias renováveis. A ideia fundamental deste trabalho é a de que o planeamento de uma estrutura de aproveitamento de um qualquer recurso energético renovável passa por várias fases. Nestas fases devem ser aplicados os métodos e modelos mais convenientes, mas tendo como denominador comum a tecnologia dos sistemas de informação geográfica.

Neste sentido, procura-se conceber e desenvolver uma aplicação protótipo que tem como objectivo principal flexibilizar e apoiar a análise e o planeamento de estruturas de aproveitamento de ER e, fundamentalmente, criar condições para facilitar o ciclo Hipótese-Resultado-Decisão-Nova hipótese. Isto recorrendo às capacidades que a tecnologia dos sistemas de informação geográfica habitualmente disponibilizam.

Este trabalho foi motivado inicialmente pela existência de diversas solicitações, surgidas no grupo de Computação Gráfica & CAD do INESC.Porto, relacionadas com os sistemas de informação geográfica. Refira-se, a título de exemplo, o projecto GeoWorks (Multimedia and Geo-referenced Information Delivery Systems). Trata-se de um projecto Esprit e nele colaboram várias instituições europeias.

Um outro trabalho ligado ao contexto desta tese tem a ver com o projecto Solargis (Integration of Renewable Energies for Decentralized Electricity Production in Regions of EEC and Developing Countries) que visa a realização de planos de integração de sistemas de ER em três regiões da União Europeia e em três regiões de Países em Desenvolvimento. Este projecto insere-se no programa Joule II e nele colaboram várias organizações europeias, incluindo o INESC. Em termos INESC, o grupo de Energia é o responsável pelo projecto e o grupo de Computação Gráfica & CAD presta colaboração na área dos sistemas de informação geográfica.

1.3 Panorâmica dos Capítulos

Para além deste Capítulo de Introdução, a dissertação está dividida em mais sete capítulos: Sistemas de informação geográfica, Modelação de informação geográfica, Modelação geométrica, Energias renováveis, Protótipo APEER, Conclusões e Bibliografia. Na parte final encontram-se três apêndices: o primeiro apresenta uma descrição do sistema ARC/INFO, o segundo uma lista das abreviaturas usadas e o terceiro um glossário dos termos mais importantes.

No capítulo 2 - Sistemas de Informação Geográfica é feita a sua definição e apresentam-se os principais elementos constituintes, mencionam-se diversos aspectos relacionados com os sistemas comerciais actualmente disponíveis no mercado e faz-se referência às principais tendências evolutivas dos sistemas de informação geográfica.

No capítulo 3 - Modelação de Informação Geográfica começa-se por enquadrar a especificidade da informação geográfica, focam-se os principais conceitos lógicos associados às base dados e apresentam-se alguns dos actuais modelos que utilizam dois tipos distintos de modelação de dados - a modelação de base de dados e a modelação de dados geográficos.

No capítulo 4 - Modelação Geométrica apresentam-se algumas noções de espaços métricos e topológicos com base nas respectivas relações espaciais, focam-se os métodos e estratégias tradicionais associadas à produção de mapas e analisa-se o conceito de escala. Segue-se uma apresentação de alguns modelos e técnicas que são habitualmente usadas pelos sistemas de informação geográfica na modelação e representação da informação espacial e referem-se os processos de interligação da informação espacial com a restante informação não-espacial (informação descritiva, temática ou de caracterização).

No capítulo 5 - Energias Renováveis focam-se alguns aspectos relacionados com três tipos específicos de energias renováveis: energia solar, a energia eólica e a energia hídrica. A

abordagem feita incide fundamentalmente sobre conceitos básicos de cada uma das ER referidas e sobre aspectos de cariz geográfico, que se colocam na avaliação dos potenciais energéticos regionais ou nos condicionantes ao nível local. Não são objecto de tratamento os aspectos relacionados com os equipamentos de conversão, o projecto e dimensionamento técnico das instalações ou as aplicações existentes, possíveis ou prováveis.

No capítulo 6 - Protótipo APEER (Avaliação do Potencial Energético de Energias Renováveis) é apresentado o protótipo académico desenvolvido no âmbito deste trabalho. Este protótipo tem como base de desenvolvimento o sistema ARC/INFO [Apêndice A] e recorre a algumas extensões por ele disponibilizadas. Neste capítulo esquematiza-se a estrutura geral do protótipo APEER e referem-se os seus requisitos fundamentais. Em seguida, descreve-se a interface do APEER de uma forma bastante sintética e segundo duas vertentes: a estrutura de menus e opções, e a estrutura de ajuda. São também referidos alguns aspectos relacionados com a implementação uma vez que o suporte de desenvolvimento foi o sistema de informação geográfica ARC/INFO. Na parte final apresentam-se alguns exemplos de utilização.

No capítulo 7 - Conclusões comenta-se o trabalho desenvolvido e apresentam-se algumas sugestões para trabalho futuro.

Finalmente, no capítulo 8 - Bibliografia apresenta-se uma relação da bibliografia citada e da bibliografia consultada durante a realização deste trabalho.

Capítulo 2

Sistemas de Informação Geográfica

Introdução

Conceitos

Elementos Constituintes

Sistemas Comerciais

Tendências Evolutivas

Considerações Finais

2.1 Introdução

Neste capítulo focam-se diversos aspectos relacionados com os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) segundo duas vertentes distintas: na primeira, apresentam-se os principais conceitos a eles associados e referem-se os seus elementos constituintes; na segunda, trata-se a tecnologia SIG sob o ponto de vista comercial e apresentam-se as suas tendências evolutivas.

Pretende-se que este capítulo seja uma breve introdução aos Sistemas de Informação Geográfica com a indicação do estado actual do software comercial e do seu mercado.

Os fundamentos lógicos associados à tecnologia dos Sistemas de Informação Geográfica serão abordados com pormenor nos dois capítulos seguintes: Modelação de Informação Geográfica e Modelação Geométrica.

2.2 Conceitos

Quando se pretende falar sobre o conceito de Sistema de Informação Geográfica (SIG) existe a tendência para o materializar através de aplicações concretas. No entanto, a ideia realmente subjacente é a de um conjunto integrado de hardware, software, dados, princípios e procedimentos que se destina à recolha, processamento, análise, armazenamento e visualização de dados e informação de interesse relevante para a análise de fenómenos naturais ou humanos existentes numa região particular do mundo. Embora se trate de uma disciplina relativamente recente, a sua evolução tem sido notória, o que se pode constatar na literatura actualmente disponível [Aro91] [Ber92] [Bur86] [ESR92] [Hux91] [Kar92] [Mag89] [Mag91a] [Mag91b] [Mas91] [Med93] [Peu90] [Sta90] [Tom90] [Wor90] [Wor91]. Podem encontrar-se aplicações SIG nos mais variados sectores de actividade, nomeadamente, engenharia, geografia, agricultura, planeamento regional e urbano, publicidade e turismo, abrangendo utilizadores com formação tão diversa como gestores, projectistas, cientistas, administradores, engenheiros, e uma enorme gama de utilizadores indiferenciados.

A tecnologia SIG relaciona-se principalmente com as tecnologias existentes na área da computação e na área da geografia, nomeadamente, computação gráfica, engenharia de software, sistemas de base de dados, cartografia, geodesia e detecção remota (Fig. 2.1).

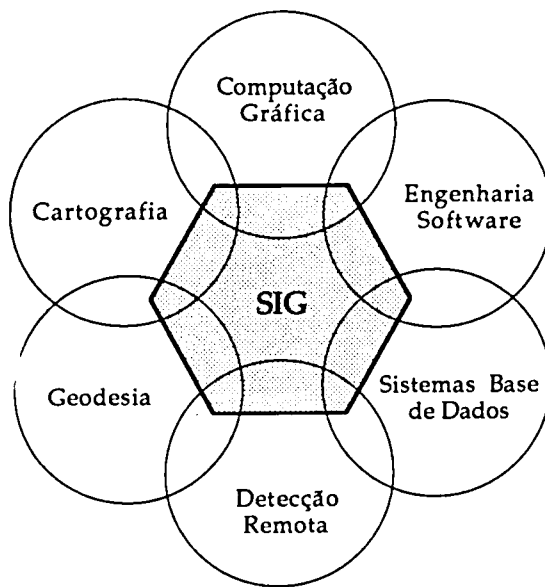


Fig 2.1 - Relação dos SIG com as áreas da computação e da geografia

Embora as tecnologias, tanto da computação e como as geográficas, tenham progredido até um estado de maturidade, a sua integração, para potenciar o SIG com ferramentas avançadas de gestão e análise de informação geográfica, tem ainda importantes obstáculos a transpôr [NCG89] [Rhi88].

Em termos tecnológicos, os SIG trabalham com informação geométrica, topologia e atributos, organizada nas suas componentes espacial e alfanumérica, de modo a permitir a sua análise de forma integrada e o cruzamento de diferentes níveis de informação espacial, para uma mesma área geográfica. Estes sistemas constituem actualmente ferramentas únicas para o tratamento de informação geográfica, ou susceptível de ser referenciada geograficamente, pelas capacidades que oferecem de armazenamento, gestão, análise e visualização deste tipo de informação.

2.3 Elementos Constituintes

Um sistema SIG, pelas suas características e objectivos que pretende atingir, tem inevitavelmente um suporte informático. Como elementos tecnológicos, surge, naturalmente, o hardware e o software. Embora estes elementos sejam essenciais, existem mais três, porventura mais importantes: os dados, os procedimentos e as pessoas (Fig. 2.2).

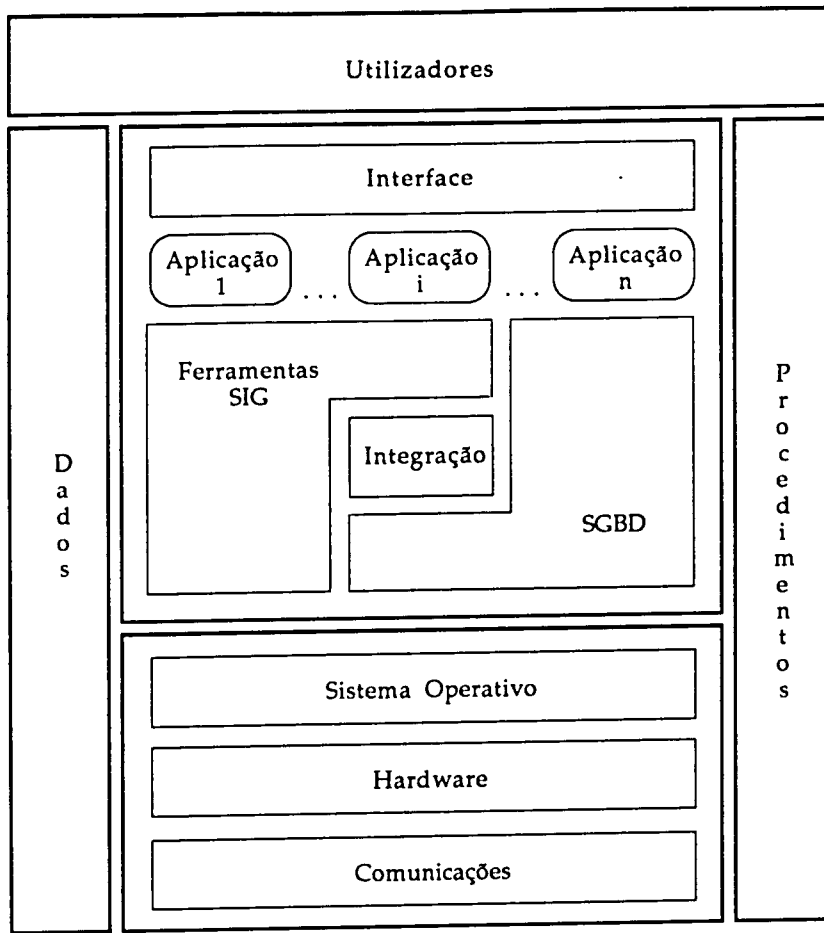


Fig. 2.2 - Elementos constituintes de um SIG

2.3.1 Hardware

Os actuais sistemas SIG suportam várias plataformas de hardware, nomeadamente os computadores pessoais, as estações de trabalho de elevado desempenho, minicomputadores e *mainframes*. São geralmente necessários periféricos específicos para apoiar as tarefas de entrada de dados (por exemplo, *scanners* e mesas digitalizadoras), saída de dados (por exemplo, traçadores gráficos) e para o armazenamento de dados (Fig. 2.3).

A Unidade de Processamento Central (UPC) encontra-se ligada a uma unidade de armazenamento (disco) que dispõe de capacidade para armazenar programas e dados.

A conversão dos dados existentes em mapas, ou em outros documentos, para o formato digital é feita usando a mesa digitalizadora, ou outro dispositivo semelhante, que os envia para a UPC. A digitalização foi o primeiro processo de recolha adoptado e, apesar de ser moroso e impreciso, continua a ser imprescindível. Alternativamente, podem ser utilizados os *scanners* para “rasterizar” os mapas e posteriormente, com o auxílio de software adequado, é possível a vectorização semi-automática das imagens “rasterizadas”.

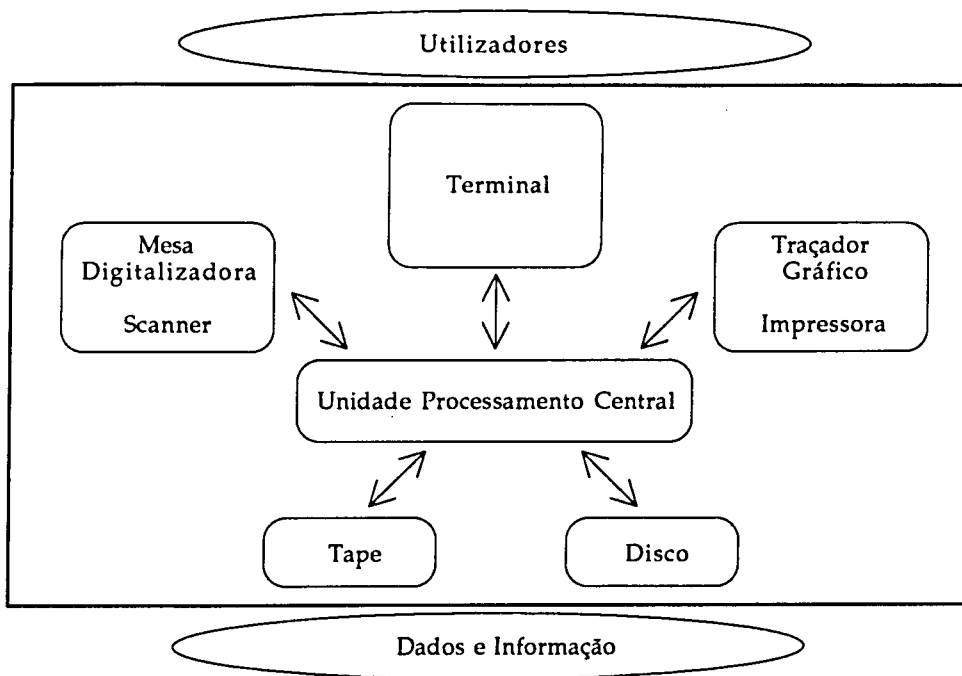


Fig. 2.3 - Principais componentes de hardware de um SIG

O traçador gráfico, ou qualquer outro dispositivo de impressão, é usado para apresentar os resultados do processamento dos dados em suporte tradicional. O dispositivo *tape* permite armazenar dados, ou programas, em fitas magnéticas para realizar cópias de segurança ou para efectuar a comunicação com outros sistemas. Esta comunicação pode também ser feita via rede informática ou via linha telefónica através de um modem.

O controlo e a interacção com todos estes dispositivos é feita através do dispositivo de visualização, conhecido habitualmente por terminal.

2.3.2 Software

Um sistema de informação geográfica pode ser genericamente descrito como sendo um conjunto integrado de subsistemas funcionais e um enorme depósito de dados geográficos interrelacionados (Fig. 2.4). Estes subsistemas consistem basicamente num sistema de interacção, num sistema de entrada e verificação de dados geográficos, num sistema de transformação e análise de dados geográficos, num sistema de gestão e armazenamento de dados geográficos e num sistema de saída e visualização de dados geográficos [Feu93] [Mag91a] [Sta90].

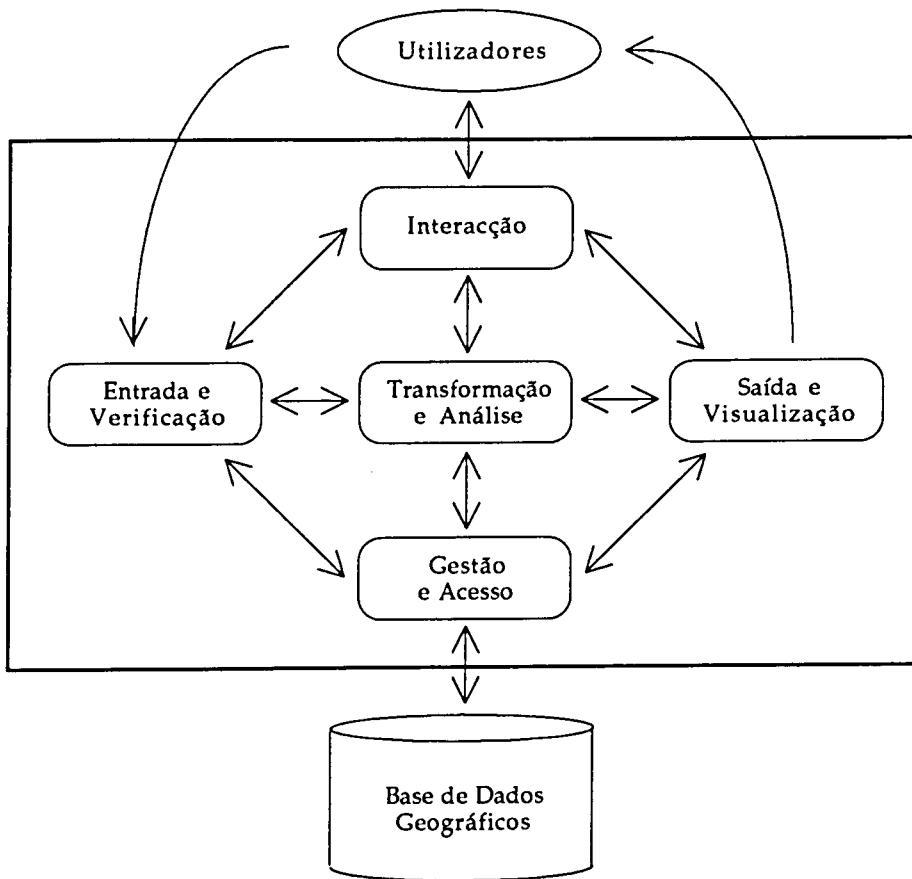


Fig. 2.4 - Subsistemas funcionais de um SIG genérico

Interacção

Na sua interacção com o sistema SIG, os utilizadores necessitam de receber e interpretar estímulos que são habitualmente suportados pelo subsistema de interacção. Este subsistema é composto genericamente por uma interface e por todas as funcionalidades responsáveis pela interacção com os restantes subsistemas.

A interface é a única parte visível do sistema podendo, por isso, assumir-se que, do ponto de vista do utilizador, a interface é o sistema. Isto ilustra a importância que a interface tem em termos de aceitação do sistema, uma vez que influencia a qualidade e a eficácia do SIG como suporte às acções que pretende apoiar.

Nos primeiros sistemas SIG, a interface não representava mais do que um método para apoiar a execução das operações. Neste caso a interface reflectia de certa forma a estrutura do programa, e o utilizador, para obter sucesso, tinha de estar bastante familiarizado com ele. Actualmente, o software SIG é cada vez mais versátil e de uso genérico. Os sistemas comerciais têm habitualmente interfaces gráficas adaptativas e disponibilizam ferramentas que permitem acrescentar extensões funcionais e a personalizar as interfaces.

A interface com o utilizador é muito mais do que menus e botões que aparecem no ecrã. Inclui todos os conceitos de que o utilizador necessita para compreender o sistema e comunicar efectivamente com ele.

Entrada e Verificação de Dados Geográficos

A entrada de dados é uma operação de codificação e posterior escrita numa base de dados. Pode ser descrita segundo três vertentes:

- entrada de dados espaciais, que definem a localização das entidades geográficas;
- entrada de dados não-gráficos ou de atributo, que caracterizam as entidades geográficas;
- ligação entre os dados gráficos e os dados não-gráficos.

Em cada uma destas etapas são necessários procedimentos de validação e verificação para assegurar uma base de dados tão isenta de erros quanto possível.

As funções de entrada de dados possibilitam em geral: a utilização de meios de edição, digitalização e vectorização; a obtenção de dados provenientes de sistemas CAD ou de outros sistemas SIG pela adequada conversão de formatos; a entrada pelo teclado de dados alfanuméricos; a utilização de procedimentos de geometria de coordenadas; e a entrada de dados por ficheiro em formatos ASCII apropriados.

Independentemente do modo como os dados são introduzidos, ou de qual a sua proveniência, a georeferenciação dos mesmos assume particular importância. Por exemplo, o processo de digitalização de uma carta, ou seja, a transcrição de elementos gráficos (linhas, pontos ou polígonos), em sequências de coordenadas (x, y), é baseado na referenciação geográfica de um grupo de pontos de controlo (*tics* ou miras), que assumem a transformação das coordenadas dos elementos digitalizados, para um sistema de coordenadas no terreno.

Gestão e Armazenamento

O subsistema de gestão e armazenamento de dados reveste-se de importância vital, uma vez que um SIG tem normalmente associado uma enorme quantidade de informação gráfica e não-gráfica.

O arquivo dos dados num SIG assume em geral um modelo de dados baseado no conhecimento das relações topológicas, ou de vizinhança, entre os diferentes elementos

gráficos, susceptível de permitir uma armazenagem não redundante e capaz de assegurar a conectividade e as relações de adjacência desses elementos.

A optimização dos acessos aos dados geográficos passa, muitas vezes, pelo fraccionamento das bases de dados em domínios geográficos (divisões físicas ou administrativas) e em domínios temáticos (designados por níveis, temas ou coberturas).

Transformação e Análise

As funções de transformação e análise de dados são fundamentais em qualquer sistema SIG. Elas são, sem sombra de dúvidas, as grandes responsáveis pela projecção que a tecnologia SIG tem vindo a assumir nos últimos anos.

Dentro deste grupo salientam-se as funções de cartografia, as de análise espacial e as de interrogação. As funções de cartografia são muitas vezes as primeiras funções, em termos de utilização, e envolvem, por exemplo, a conversão de dados do formato *raster* para o formato vectorial e vice-versa, alteração do tipo de projecção, deformação elástica ou a transformação de escala.

As funções de análise incluem: a sobreposição de níveis de informação com a possibilidade de realizar operações aritméticas e relacionais entre si; a análise de relações de proximidade, de vizinhança e de inclusão; a geração de *buffers* em volta de elementos gráficos; análises estatísticas descrevendo tendências e distribuições resultantes das análises de terreno, superfícies, redes, etc. Estas funções pretendem dar resposta a questões tão diversas como as apresentadas de seguida [Mag91a]:

- localização - o que está em ...
- condição - onde está ...
- tendências - o que se modificou ...
- percursos - qual o melhor caminho ...
- pradonização - qual a distribuição ...
- modelação - o que acontece se ...

Os SIG permitem efectuar a interrogação de informação de um modo integrado, nas suas componentes tanto gráfica como de atributos. A interrogação espacial utiliza critérios de pesquisa espacial sobre entidades elementares, tais como, pontos, linhas ou áreas. Esses

critérios contemplam a distância, o ângulo, a sobreposição e a posição relativa entre entidades. Útil é também a determinação do número de ocorrências de uma entidade, em particular, o cálculo de áreas e de volumes.

Saída e Visualização

A saída e visualização de dados corresponde à necessidade de produzir resultados visíveis, no monitor ou em suportes físicos, de fácil compreensão para o utilizador ou na forma mais adequada à transferência de dados para outros sistemas. As funções disponíveis apoiam a utilização de periféricos, possibilitam o uso de diferentes sistemas de projecção, o embelezamento do mapa com a inclusão de título, escalas, pontos cardiais, legendas e permitem a generalização automática de linhas. Este último aspecto é importante na medida em que assegura que o desenho de um qualquer contorno seja efectuado automaticamente com um pormenor tanto maior quanto maior for a escala que se pretender.

2.3.3 Dados

O terceiro elemento constituinte de um SIG são os dados. A resolução de variadíssimos problemas geográficos obriga à existência de grandes quantidades de dados, tornando bastante dispendiosa a sua aquisição e armazenamento, exigindo capacidades de manipulação e acesso de elevado desempenho. É frequente verificar que o custo associado ao processo de aquisição de dados excede o custo do suporte tecnológico (hardware e software) por um factor de dois.

Sai fora do âmbito deste trabalho inumerar exhaustivamente todos os dados habitualmente usados pelas aplicações SIG. No entanto, existem alguns que são comuns a muitas delas e que por vezes já se encontram em formato digital. Esses dados podem ser agrupados em quatro grandes categorias: base cartográfica, terreno digitalizado, recursos naturais e census [Aro91].

Dados Base Cartográfica

Os dados da base cartográfica incluem a informação topográfica planimétrica constituída por todos os pormenores naturais ou artificiais situados à superfície do terreno e habitualmente retratados num mapa (lotes, parcelas, estradas, rios, fronteiras políticas e administrativas, etc).

A base cartográfica pode existir em dois formatos genéricos:

- gráfico - concebido principalmente para satisfazer necessidades de impressão de mapas. Estes dados costumam ser produzidos com o auxílio de sistemas CAD. A indústria propôs o Standard Interchange Format (SIF) como formato comum de transferência de dados. No entanto, a realidade é outra e actualmente o formato Drawing Interchange Format (DXF) é um standard de facto. Os dados transferidos contemplam elementos gráficos, tais como, pontos, linhas, curvas, símbolos e alguma informação de desenho, como por exemplo, sombreados, largura das linhas, cor dos símbolos. Estes dados podem ser importados pelos SIG mas, a sua utilização não é imediata - é necessário verificar a sua consistência topológica. É vulgar aparecer polígonos que não fecham, linhas que ultrapassam ou ficam aquém dos pontos de ligação, intersecções que não existem, etc.
- estruturado topologicamente - concebido para codificar a informação geográfica na forma que melhor se adapte a análises espaciais e a outros tipos de estudos geográficos. Actualmente não existe nenhum formato que seja standard de facto. No entanto, os principais produtos SIG suportam o formato Digital Line Graph (DLG). Este formato, desenvolvido pelo US Geological Survey, suporta dados espaciais assim como atributos não espaciais.

Dados Digitais de Terreno

Os dados digitais de altitude consistem em medições de altitude à superfície terrestre para determinadas localizações. São geralmente utilizados na análise da topografia (características da superfície). Existem vários termos para designar estes dados: Dados Digitais Terreno (DDT), Modelos Digitais Terreno (MDT), Modelos Digitais Altitude (MDA) e Dados Digitais Altitude Terreno (DDAT).

Os métodos usados na captura e armazenamento dos dados de altitude podem agrupar-se em quatro abordagens base:

- grelha regular - os valores a medir correspondem a pontos do terreno regularmente espaçados. Uma das principais limitações deste método tem a ver com o facto de a densidade de pontos amostrados ser independente da configuração do terreno, isto é, zonas de grande variação tem o mesmo número de pontos amostrados que zonas planas;
- contornos - a superfície é representada por um conjunto de contornos, em que cada contorno só contém pontos de igual altitude (isolinhas);
- perfis - a altitude é medida para pontos pertencentes a séries paralelas de linhas;

- rede de triângulos irregulares - esta abordagem utiliza pontos espaçados irregularmente e a topografia da superfície é representada por um conjunto de facetas triangulares. Neste caso, os dados de altitude podem ser armazenados e processados usando uma representação vectorial. As coordenadas de localização e os valores da altitude de três pontos formam os vértices da face de cada triângulo [4.3.2 - Rede de Triângulos Irregulares].

Embora os dados de altitude possam ser convertidos de um qualquer formato para outro, existe sempre alguma informação que se perde, reduzindo o detalhe da superfície.

Dados Recursos Naturais

Estes dados dizem normalmente respeito à reserva agricultura, reserva ecológica, geologia, solos, vegetação, bacias hidrográficas e rede hidrográfica, radiação solar, precipitação, etc.

Dados Censitários

Neste grupo incluem-se todos os dados de natureza estatística e censitários, nomeadamente, dados de caracterização da população em geral e familiar em particular, habitação, emprego, etc. Estes dados, geralmente fornecidos pelo Instituto Nacional de Estatística (INE), são entendidos como atributos a serem codificados pela localização geográfica. A informação dos censos publicada pelo INE é feita ao nível da secção e disponibilizada ao nível da subsecção estatística (as subsecções estatísticas são definidas e delimitadas como quarteirão na área urbana e como lugar na área rural).

2.3.4 Procedimentos

A componente dos procedimentos refere-se aos aspectos relacionadas com os processos de recolha e actualização da informação, com a segurança da informação, com o grau de acesso dos diferentes utilizadores à base de dados geográfica, com o papel do sistema e das aplicações a desenvolver no apoio aos processos de análise e decisão.

2.3.5 Pessoas

Finalmente, a componente mais importante de um SIG: a capacidade humana, ou seja, as pessoas responsáveis pela concepção, implementação e manutenção deste tipo de sistemas, com conhecimentos da tecnologia associada e os utilizadores finais.

Na vertente SIG, podem distinguir-se quatro grandes grupos de utilizadores:

- **administradores** - são os elementos responsáveis pela definição e manutenção da base de dados, no que diz respeito ao seu conteúdo, estrutura de armazenamento, estratégia de acesso e pela atribuição de privilégios aos utilizadores finais. São ainda responsáveis por outras actividades de operação e manutenção do sistema e colaboram também na aquisição, transferência e integração dos dados. São a interface entre o sistema informático e os restantes utilizadores;
- **especialistas** - com especialização científica, têm como tarefa principal o processamento dos dados recorrendo a métodos e técnicas adequadas. Salienta-se a análise georeferenciada, a qual permite trabalhar explicitamente com a componente geográfica para tratar fenómenos fortemente influenciados pela realidade geográfica;
- **gestores** - responsáveis pelo controlo de qualidade e pela tomada de decisões com base na informação estratégica fornecida. A este nível, é muito escassa a aplicação de processos automáticos para atingir os objectivos;
- **indiferenciados** - este grupo contempla todos os utilizadores que têm principalmente necessidades de consulta, isto é, actuam de uma forma passiva perante o sistema. A informação disponível a este sector deve ser de interpretação e leitura directas, e estar facilmente acessível.

	Tipo de Informação	Necessidades do Utilizador	Características do SIG	Desenvolvimentos
Administrador	dados em bruto	análise, flexibilidade	volumoso	ligação com sistemas idênticos
Especialista	dados em bruto, dados pré-tratados	análise, acessibilidade	compacto, maneável	macro languages, comunicação com outros programas
Gestor	informação estratégica	acessibilidade, compromisso - optimização	pequeno e agradável	interfaces amigáveis
Indiferenciado	informação corrente	acessibilidade	pequeno e agradável	interfaces amigáveis

Tab. 2.1 - Tipo de utilizadores SIG e suas necessidades

A existência de diversos grupos de interesse, obriga a uma grande flexibilidade dos sistemas (Tab. 2.1). Para cumprir tais requisitos surge muitas vezes a necessidade de adquirir e integrar tecnologias de origens distintas.

Os elementos humanos não são facilmente “compráveis” e representam a componente de maior dificuldade de concretização. Após a aquisição do suporte tecnológico do SIG, os organismos têm tendência para subestimar a componente humana (em termos de uma conveniente formação) e algum do entusiasmo e motivação, que inicialmente impelia à aquisição do sistema, perde-se e o sistema global falha no momento da sua exploração.

2.4 Sistemas Comerciais

A indústria SIG, que surgiu acerca de três décadas, tem sofrido na última década um forte desenvolvimento, existindo estimativas de taxas de crescimento para os próximos cinco anos da ordem dos 20-30% por ano. O número de empresas que prestam serviços directamente relacionados com os SIG ultrapassa largamente o milhar. A comercialização de produtos relacionados com os SIG é feita, muitas vezes, por um número significativo de fabricantes e vendedores de hardware, por empresas que realizam trabalhos de fotointerpretação, detecção remota, fotogrametria ou processamento de imagem e por um vasto leque de empresas que prestam serviços especializados em sectores particulares.

Em termos de software, os produtos SIG podem-se agrupar segundo três tipos de desenvolvimento base [Mag91a]:

- processamento de ficheiros - neste grupo, cada função e conjunto de dados são armazenados em ficheiros separados estabelecendo-se a ligação durante as operações de manipulação e análise. Esta é a aproximação adoptada pelos sistemas essencialmente dedicados ao processamento de mapas;
- híbridos - neste grupo, os atributos são armazenados num sistema de gestão de base de dados (SGBD) convencional, e a gestão dos dados geográficos é da responsabilidade de um conjunto separado de software. Nos casos, em que os atributos são armazenados num SGBD relacional, o modelo de dados é designado por georelacional [4.3.2 - Modelo Georelacional];
- estendidos - neste tipo de desenvolvimento, tanto os dados geográficos como os atributos são armazenados num SGBD dito estendido, por possuir funções específicas de análise geográfica.

Por outro lado, em termos de modelo de dados espaciais que utilizam, os SIG podem ser classificados em dois grupos [Aro91] [Sta90] [capítulo 4]:

- vectorial - utilizam como base de referência entidades gráficas simples (pontos, linhas e polígonos) estruturadas segundo um modelo topológico. Este modelo define as relações espaciais que se verificam entre as diversas entidades gráficas;
- *raster* - baseam-se no modelo de dados em quadrícula, correspondendo cada célula à resolução espacial da unidade mínima em que foi dividida a região, quando da sobreposição da quadrícula.

A maior parte dos SIG comerciais são por natureza vectoriais, mas incluem um módulo para tratamento de informação *raster*, sendo sempre possível a converção da informação do formato vectorial para *raster* e vice-versa.

Os diferentes produtos actualmente disponíveis no mercado, designados por SIG, evidenciam pouca homogeneidade. Os pontos apresentados de seguida têm por objectivo estruturar os diferentes sistemas existentes para facilitar a comparação e possibilitar uma melhor compreensão [Mar91].

A. IDENTIFICAÇÃO DO SOFTWARE

- a. Nome do programa;
- b. Fabricante e distribuidor;
- c. Áreas de intervenção;
- d. Implantações principais;

B. ESTRUTURA GERAL DO PROGRAMA

- a. Nível de dependência do hardware;
- b. Estrutura e gestão de dados alfanuméricas;
- c. Núcleo gráfico e funções de cartografia;
- d. Possibilidades de interrogação e análise de dados gráficos e alfanuméricos;
- e. Aquisição, processamento e gestão de imagens *raster*;
- f. Saída e impressão de informação gráfica resultante do processamento de dados alfanuméricos;

C. PLATAFORMA DE HARDWARE

- a. Tipo de hardware e arquitectura;
- b. Capacidade de funcionar em rede com modalidade multiutilizador;
- c. Ambiente de funcionamento (sistema operativo);

D. AMIGABILIDADE E PERSPECTIVAS DE DESENVOLVIMENTO

- a. Interface; on line help; compatibilidade com periféricos;
- b. Flexibilidade na personalização; macros languages;

c. Perspectivas de desenvolvimento em termos de funcionalidade do software;

Nas tabelas 2.2, 2.3 e 2.4 apresentam-se as características de alguns dos sistemas disponíveis no mercado [CNI93] [Mar91].

Nome Software	Fabricante	Distribuidor	Classificação
ARC/INFO	ESRI	OCTOPUS	SIG/PIR
Argis 4GE	Unisys	UNISOFT	SIG/PIR
Caris	Universal Systems	GEOGRAF	SIG/PIR
Erdas	Erdas Inc. EUA		PIR detecção remota e fotointerpretação
GDS	Electronic Data System	TERINTRADE	SIG/PIR
Genamap	GENAMAP	MICROAREA	SIG/PIR
Geomanager	IBM EUA		SIG
GeoServer	Autometric	GISIA	SIG
Geo/SQL	Generation 5	PORTUS	SIG
Grass	U. S. Army Corps	Domínio Público	RIP
GWN - GIS	GWN Systems	DIGIMAPA	SIG/PIR
ILWIS		GEOGRAF	sig
LANDCADD		PORTUS	Crt
MapInfo	MapInfo Corp	Intergraph Portugal	SIG
MGE	Intergraph	Intergraph Portugal	SIG/PIR
Micro - GIS		DIGIMAPA	SIG/PIR
PAFEC - GIS		ITAIQ	SIG/PIR
SICAD	Siemens	Siemens Portugal	SIG/PIR
Smallworld	Smallworld System	Edinfor	SIG
System 9	Unisys	Unisys Portugal	SIG/PIR
Tigris	Intergraph		SIG
TIMS	Object Graphics	INFOTOP	sig
TNT MIPS	Micro Images	GEOGRAF	SIG/PIR

Tab. 2.2 - Identificação do software

- **SIG** - produto de nível elevado, destinado a utilizadores com características diversificadas, capaz de funcionar em rede, e com possibilidades para atribuir e diferenciar acessos (total ou parcial, somente de leitura, de leitura e escrita);

- sig - solução monoutilizador ou que não permite diferenciar acessos, mas com capacidade para partilhar bases de dados gráficas e alfanuméricas;
- Crt - software cartográfico destinado à aquisição de dados proveniente de fotogrametria ou digitalização;
- PIR - software destinado ao processamento e gestão de imagens em formato *raster*.

Nome Software	Sistema Operativo	Bases de Dados	Núcleo Gráfico
ARC/INFO	MS-DOS, Unix-Aix VM, VMS, MVS	Info DBI	Arc
Argis 4GE	Unix	SQL/Oracle e Db	
GDS	MS-DOS, Unix, VMS	DB2 e Db	AutoCAD
Genamap	Unix	DBase, FoxBase	
Geomanager	VM, VMS	SQL	Gpg e Gddm
Geo/SQL	MS-DOS, Unix		
Grass	MS-DOS, Unix		
GWN - GIS	MS-DOS, Unix	Db	
ILWIS	MS-DOS	DB2 e Db	
LANDCADD	MS-DOS	DBase e Oracle	
MapInfo	MS-DOS, Unix, MacOS	Db	
MGE	MS-DOS, Unix, WindowsNT	RIS	MicroStation
Micro - GIS	MS-DOS, Unix	DBase e Db	
PAFEC - GIS	Unix, VMS	DBase e Db	
SICAD	Unix, VMS	ILWIS	
System 9	Unix	Empress/39	
Tigris	Unix		
TIMS	MS-DOS, Unix	Db	AutoCAD
TNT MIPS	MS-DOS, MacOS	DBase, INFO, RBase	

Tab. 2.3 - Estrutura geral do programa

- Db - (Database Interface Package) interfaces com bases de dados relacionais exteriores;
- DBI - (Database Integrator) módulo particular do software ARC/INFO, do ESRI, que agrupa todas as interfaces com bases de dados externas;
- RIS - (Relacional Interface System) módulo particular do software Modular GIS Environment (MGE), da Intergraph, que estabelece a ligação a bases de dados relacionais exteriores.

Nome Software	Dependência Hw	Plataformas Hw	Modo Utilização
ARC/INFO	TI	PC,WS,MC,MF	MU
Argis 4GE	TD Unisys	WS,MC,MF Unisys	MU
Caris	TI	PC,WS,MF	MU
Apic	TI	PC,WS,MC	MU
GDS		PC,WS	MU
Genamap		PC,WS	MU
Geomanager	TD IBM série 370	MF	MU
Geo/SQL		PC,WS	MU
Grass		PC,WS	MU
GWN - GIS		PC,WS	MU
ILWIS	TI	PC	U
LANDCADD	TI	PC	U
MapInfo	TI	PC,WS	MU
MGE	PI	PC,WS	MU
Micro - GIS	TI	PC,WS	MU
PAFEC - GIS	TI	WS,MF	MU
SICAD	TD Siemens	PC,WS,MF	MU
System 9	PI	WS	MU
Tigris	TD Intergraph	WS,MC	MU
TIMS	TI	PC,WS	MU
TNT MIPS		PC,WS, MAC	MU

Tab. 2.4 - Plataformas de hardware

- PI - software parcialmente independente do hardware;
- TD - software totalmente dependente do hardware;
- TI - software totalmente independente do hardware;
- PC - computador pessoal com o mínimo de 640KB de memória central;
- MAC - macintosh;
- WS - estação gráfica (workstation);
- MC - minicomputador (minicomputer);
- MF - computadores de médio e grande porte (mainframe);

- MU - multiutilizador em rede;
- TF - transferência de ficheiros (file transfer);
- U - monoutilizador.

Actualmente as mais diversas organizações propõem-se adquirir a tecnologia necessária à criação de um sistema de informação geográfica, motivados pelo aumento de produtividade e pelo valor estratégico que estes sistemas podem oferecer.

As vendas de software SIG no mercado mundial, durante o ano de 1992, foram da ordem dos 400 milhões de dolares, segundo estimativas da empresa DARATECH Inc (Fig. 2.5).

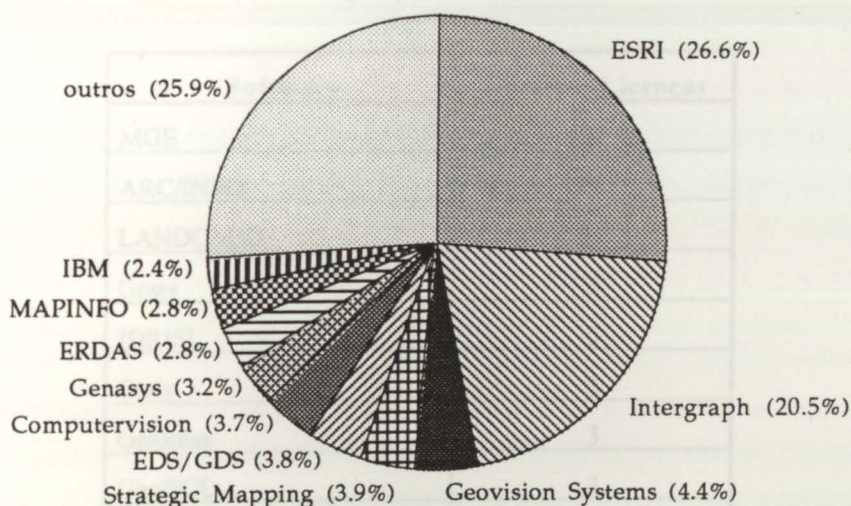


Fig. 2.5 - Mercado mundial de software SIG. 1992

Em termos de software SIG especificamente para PC, os valores rondaram os 90 milhões de dolares (Fig. 2.6).

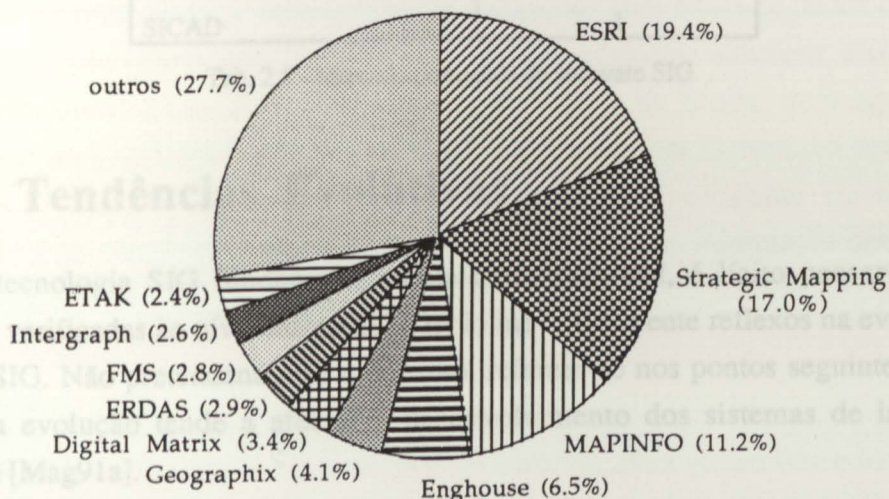


Fig. 2.6 - Mercado mundial de software SIG para PC. 1992

Em relação ao mercado português pode dizer-se que actualmente está em franca expansão. As entidades mais importantes, em termos de aquisição e utilização de tecnologia SIG, são as seguintes: Serviço Cartográfico do Exército, SCG; Instituto Geográfico Cadastral, IGC; Centro Nacional de Informação Geográfica, CNIG; Comissões de Coordenação Regionais, CCR; Direcção Geral do Ambiente, DGA; Municípios; Empresas de serviços, nomeadamente, telefones, electricidade, água e gas; Universidades e Institutos de Investigação. Não existindo um estudo de mercado actualizado, é difícil saber-se com exactidão o número de sistemas usados actualmente em Portugal. Com base no conhecimento directo que possuem alguns intervenientes e responsáveis nesta área e em trabalhos já realizados [Cos93] [CNI93], é possível fazer-se uma estimativa (Tab. 2.5).

Software	Número Licenças
MGE	72
ARC/INFO	64
LANDCADD	11
Grass	6
IDRISI	5
Caris	3
Genamap	3
Geo/SQL	3
GWN - GIS	3
Argis 4GE	2
ERDAS	2
GDS	2
SICAD	1

Tab. 2.5 - Mercado português de software SIG

2.5 Tendências Evolutivas

Sendo a tecnologia SIG fundamentalmente computacional, é lícito pensar-se que as evoluções verificadas ao nível informático terão inevitavelmente reflexos na evolução dos sistemas SIG. Não pretendendo ser exaustivo, referem-se nos pontos seguintes algumas áreas cuja evolução tende a afectar o desenvolvimento dos sistemas de informação geográfica [Mag91a].

Hardware

Muitas das actuais aplicações SIG restringem-se a uma enorme quantidade de atributos e informação gráfica armazenados em disco, que frequentemente circulam por uma rede informática e são desenhados num ecrã. Os utilizadores mais familiarizados com a capacidade de resposta quase instantânea dos vulgares processadores de texto ou folhas de cálculo, ficam frustrados com a demora com que o software SIG executa as operações, especialmente quando se efectuam interrogações complicadas à base de dados, ou quando se visualizam imagens *raster* a cores em monitores de alta resolução. No decorrer dos próximos anos, muitas destas limitações desaparecerão.

Uma estação de trabalho, de características médias, opera actualmente a 20-40 MIPS. Observando as curvas de evolução dos circuitos integrados dos últimos sete/oito anos, em termos de velocidade e de capacidade de processamento, é razoável afirmar que no decorrer da segunda metade desta década estarão disponíveis no mercado estações de trabalho com velocidades de processamento da ordem dos 200-400 MIPS. A combinação de microprocessadores mais poderosos com enriquecimentos ao nível das capacidades gráficas fará com que desapareça muitas das limitações existentes nas actuais estações de trabalho.

Ao nível da tecnologia de armazenamento, verifica-se que, por exemplo, para os discos rígidos tipo Winchester, os preços tendem a descer à medida que aumenta a capacidade de armazenamento. Começa também a vulgarizar-se os dispositivos de armazenamento óptico, as Digital Audio Tape (as DAT de 4mm têm capacidades de 1.3GB e em breve será de 2.6GB) e mesmo os CD-ROM para a distribuição de software e de informação.

Em termos de redes locais, a popular rede Ethernet, com capacidades da ordem dos 10 Mbps, limita muitas vezes o desempenho de aplicações com bases de dados distribuídas devido às enormes quantidades de informação que é necessário transferir. Existem já em funcionamento redes que disponibilizam maior largura de banda, nomeadamente, as metropolitan area networks (MAN - 1 a 600 Mbps) e as fiber distributed data interface (FDDI - 100 Mbps). Além disso, existem esforços de investigação em técnicas de compressão e descompressão para suportar fluxos massivos de informação que envolvam imagem, som e vídeo.

Software

O software SIG, em sentido restrito, tende a ser cada vez mais generalista e incorporando um certo número de funcionalidades, actuando mais como núcleo central para as diferentes aplicações.

A indústria de software desenvolve esforços que acentuam cada vez mais a interaplicabilidade, isto é, a comunicação transparente entre aplicações. Por exemplo, supondo que determinada informação produzida por uma aplicação SIG faz parte integrante de um relatório escrito num processador de texto. Pretende-se que as alterações verificadas sobre essa informação ao nível da aplicação SIG tenha reflexo imediato no documento produzido pelo processador de texto.

As interfaces com o utilizador também têm sofrido bastantes desenvolvimentos e tendem a ser fortemente gráficas, tornando-as assim mais intuitivas e simples de usar.

Actualmente a indústria SIG vai no sentido da produção de sistemas abertos e standards que facilitem a sua concepção, desenvolvimento, instalação e manutenção.

Integração de Tecnologia e de Informação

Seguindo os desenvolvimentos recentes na tecnologia informática, verifica-se uma rápida expansão no número e tipo de informação que pode ser manipulada de forma rotineira pelos computadores. Os mais notáveis têm sido na tecnologia de armazenamento óptico, hardware para a integração de imagem digital e video, som digital, e saída de som HI-FI.

No presente contexto, os desenvolvimentos actuais procuram a convergência de tecnologias que à partida tratam informação distinta (video e audio, digital e analógica, televisão e computador) dotando os utilizadores de capacidades de acesso a vários tipos de informação (texto, gráficos, animação, som e video) de origens complementares (videodisk, CD-ROM, scanner, câmara de video, tape audio), aproximando a passos largos a televisão e o computador (Fig. 2.7).

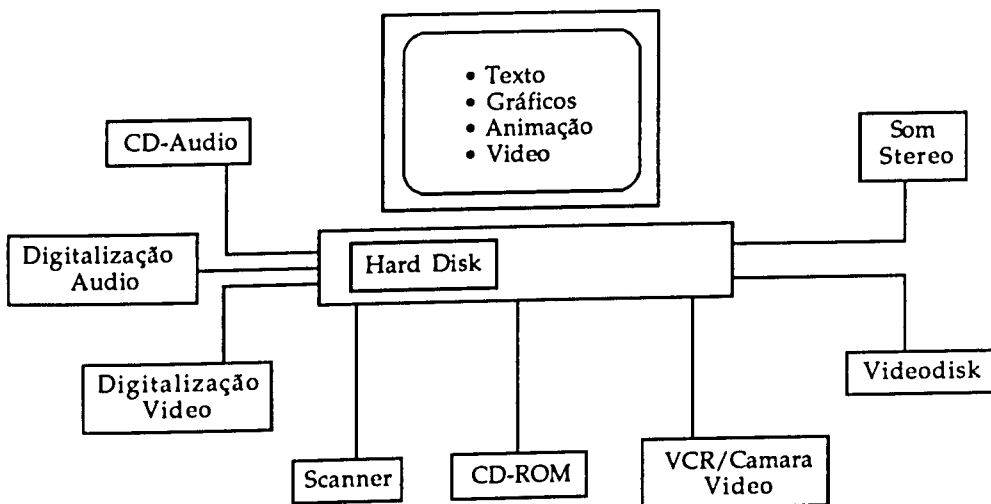


Fig. 2.7 - Sistema integrador de tecnologia e de informação

Sistemas de Realidade Virtual

Os SIG das duas primeiras décadas de existência confrontavam os utilizadores com representações do mundo real que envolviam fortes estilizações e abstrações. Era dado especial ênfase à bidimensionalidade, à representação de entidades altamente simbólicas, com estruturas de dados rígidas e para fases temporais específicas. Além disso, eram habitualmente impostas regras fixas na forma como o utilizador podia interagir com o sistema e nos métodos disponíveis para navegação, interrogação e manipulação da informação armazenada.

As técnicas modernas de acumulação de informação, particularmente as do campo da detecção remota, tem expandido grandemente os limites da percepção sensorial humana. Parece irónico, mas esta ampliação sensorial tem sido acompanhada por uma correspondente carência sensorial ao nível dos SIG. A experiência humana directa do mundo, que envolve todos os sentidos, é substituída no modelo SIG por uma experiência que envolve um número limitado de sentidos - frequentemente, só o sentido da visão.

Alguns dos desenvolvimentos efectuados durante os anos 80, nos mais variados campos, sugerem que é tecnicamente possível fornecer aos utilizadores representações multisensoriais do mundo, envolvendo mais informação. Muitos desses desenvolvimentos apontam na produção de objectos do mundo real em ambientes gráficos de elevado realismo. Outros focam o desenvolvimento de interfaces computacionais multisensoriais. As tecnologias mais relevantes que entretanto surgiram e as suas principais áreas de aplicação são: visualização de dados (análise científica), fotomontagem computacional (engenharia civil), animação gráfica (arquitectura), hipertexto/média (educação) e simulações multisensoriais (simuladores de voo e jogos).

Nos mais recentes desenvolvimentos tecnológicos associados ao *cyberspace* ou realidades alternativas, utilizam-se dispositivos protéticos, tais como, luvas de dados, viseiras montadas na cabeça para manipular directamente mundos virtuais e os utilizadores (ou participantes) recebem estímulos sob a forma de acções contínuas via ecrãs estereoscópicos, resposta tátil, etc.

O aperfeiçoamento deste tipo de tecnologia irá provocar, concerteza, alterações na tecnologia SIG, permitindo integrar a informação de uma forma mais compreensiva, disponibilizando um ambiente para acção totalmente tridimensional, que seja multisensorial e onde as alterações ocorram em tempo real.



Sistemas Multimédia

Os desenvolvimentos verificados nos últimos anos nas tecnologias multimédia também têm afectado, e continuarão a afectar, positivamente os sistemas SIG. Por exemplo, o ESRI identificou oito tecnologias a integrar futuramente na estrutura do sistema ARC/INFO (Fig. 2.8).

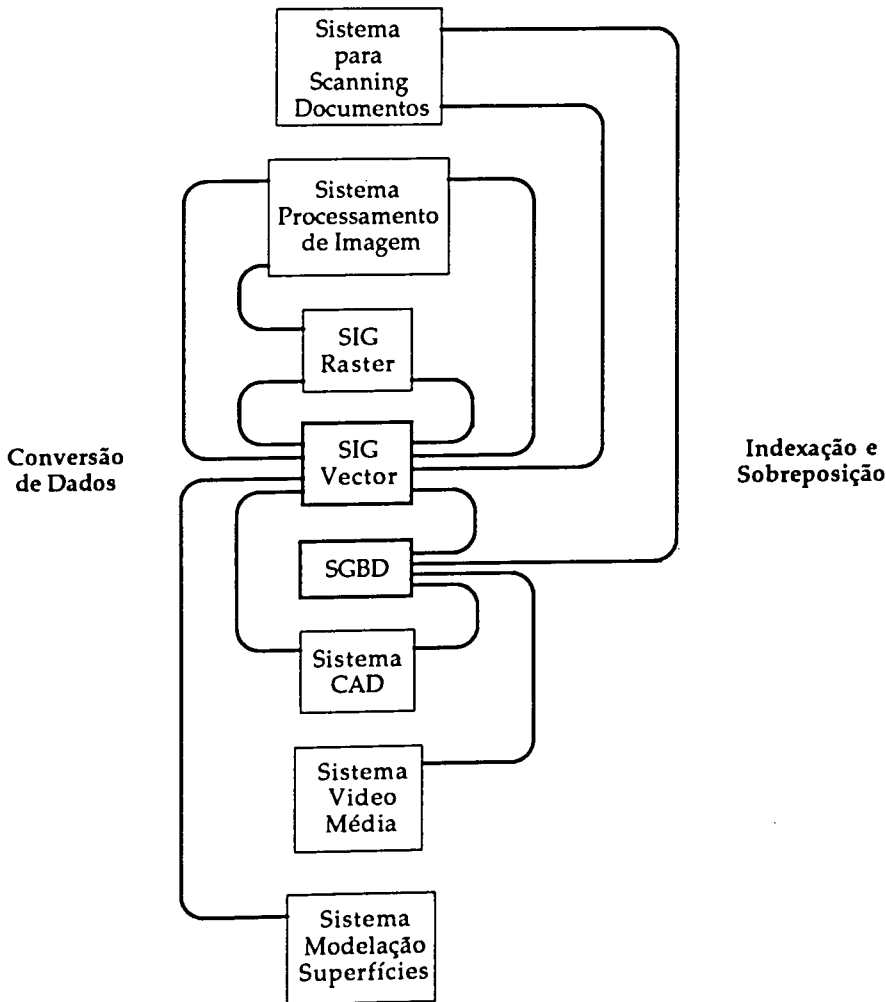


Fig. 2.8 - Tecnologias a integrar no ARC/INFO

Estas diferentes tecnologias podem ser interligadas por uma ou mais técnicas genéricas de integração [Mag91a]:

- sobreposição e intersecção de imagem - sobreposição e intersecção de dados *vector* em imagens *raster* (por exemplo, linhas de redes desenhadas num mapa base) e/ou a sobreposição e intersecção de imagem *raster* num ecrã *vector*. Em ambos os casos, não existe ligação lógica entre os dois conjuntos de dados;

- conversão de dados - conversão entre as representações de dados *vector* e *raster*, incluindo a transferência de dados de sistemas CAD com diferentes formatos;
- interfaces com SGBD - ligação de entidades cartográficas com atributos geridos por sistemas de gestão de base de dados exteriores.
- associação entre entidades e atributos - criação de um índice de ligação entre uma entidade geográfica e um item a visualizar (documento *raster*, imagem video, som, sequência animada, desenho de engenharia, etc) que pode estar armazenado num sistema separado, por exemplo, num disco óptico.

No entanto, existem ainda diversas questões por resolver de modo a que, no contexto SIG, as bases de dados multimédia levem a cabo todo o seu prometido potencial. De entre elas salientam-se as seguintes:

- como manipular o espaço em termos de objecto multimédia linear;
- como assegurar um eficiente armazenamento e transferência de informação multimédia;
- como realizar a transferência de objectos multimédia a partir de bases de dados, quando alguns requerem apresentação com persistência e outros não;
- como controlar a aquisição e/ou a visualização de dados multimédia uma vez iniciada a sua transferência.

Os actuais desenvolvimentos de aplicações multimédia em ambiente SIG, demonstram que tal faz sentido e tem-se obtido grande eficiência, principalmente onde não é necessário grande precisão na localização e onde é relativamente baixo o conteúdo geográfico. Mas multimédia é muito mais do que imagem. É também som, video, animação e, talvez um dia, olfacto e tacto. Por estas razões, a concepção de SIG multimédia é uma área fértil para a investigação dos anos 90.

2.6 Considerações Finais

Neste capítulo foram abordados diversos aspectos relacionados com os sistemas de informação geográfica. De forma sumária pode dizer-se que um sistema de informação geográfica é um conjunto integrado de hardware, software, dados e procedimentos que tem por objectivo a eficiente recolha, processamento, análise, armazenamento e visualização de

informação geográfica bem como de toda a informação susceptível de referenciação geográfica.

Os sistemas SIG actuais relacionam-se tecnologicamente com as áreas da computação gráfica, engenharia de software, sistemas de base de dados, cartografia, geodesia e detecção remota, mas os desenvolvimentos que se verificam em áreas como multimédia, realidade virtual, inteligência artificial e redes neuronais irão certamente provocar o aparecimento de sistemas de informação geográfica mais sofisticados e que permitam tratar os fenómenos do mundo real de uma forma mais natural e concreta.

Capítulo 3

Modelação de Informação Geográfica

Introdução

Informação Geográfica

Sistemas de Base de Dados

Modelos de Base de Dados Geográficas

Considerações Finais

3.1 Introdução

A generalidade dos Sistemas de Informação Geográfica incorporam, de alguma forma, um sistema de gestão de base de dados. Neste capítulo, após algumas considerações sobre informação geográfica, apresenta-se uma breve descrição dos principais conceitos lógicos associados às bases de dados. Não serão aqui abordados os aspectos físicos, isto é, tudo o que diz respeito à forma como as base de dados são actualmente implementadas.

A modelação de informação tem por objectivo a modelação da estrutura dos dados por forma a ser convenientemente gerida numa base de dados. É interessante verificar que a grande maioria dos produtos SIG actuais utilizam um SGBD relacional. No entanto, dada a complexidade inerente à informação geográfica, o modelo relacional está longe de satisfazer as necessidades naturais das bases de dados geográficas. Assim, e com o foco na informação geográfica, fazem-se neste capítulo a descrição de vários modelos que visam dois tipos de modelação de dados - modelação de bases de dados em geral e modelação de dados geográficos em particular.

Pretende-se com esta descrição dar uma panorâmica breve sobre modelos de utilização genérica e confrontá-los com alguns modelos que levam em consideração as especificidades da informação geográfica.

3.2 Informação Geográfica

Um dos principais problemas que afecta os sistemas de informação geográfica, em contraste com os sistemas de informação mais comuns, relaciona-se com a dificuldade em especificar os seus requisitos. A informação de índole administrativa, que consiste habitualmente em nomes, descrições, preços, datas, etc., pode ser representada usando registos alfanuméricos simples. Esta informação tende a ser unidimensional, significando isto que cada nome, descrição, preço ou data pode ser exprimido por um valor simples extraído de um vector linear de valores. Por outro lado, a informação geográfica tem propriedades estruturais complexas e problemas de processamento pelo seu carácter multidimensional, multitemporal, volumoso e de qualidade variável. Não é só a informação geográfica que é tematicamente multidimensional, mas é seguramente espacialmente tridimensional - tudo está posicionado em alguma parte no mundo.

Por outras palavras, a informação geográfica que está habitualmente associada a um qualquer fenómeno geográfico pode ser agrupada em três tipos distintos [Peu90]:

- informação espacial, isto é, descrição da localização do fenómeno geográfico;
- informação descritiva, de caracterização ou atributos, traduzida em variáveis, classificações, valores, nomes, etc;
- tempo, isto é, os fenómenos geográficos têm normalmente uma evolução temporal.

Para que a gestão da informação geográfica seja eficaz é necessário que os dados locais sejam independentes dos não-locais ou de caracterização. Quer isto dizer, por exemplo, que determinado fenómeno pode ter atributos a variar com o tempo, mas mantendo a mesma localização espacial, ou vice-versa.

Os dados geográficos também têm por vezes um grau de incerteza associado quer pela própria natureza dos fenómenos geográficos quer pelas limitações de medição e processamento.

Num sistema de informação geográfica é vantajoso conservar a informação de uma determinada região, numa série de temas, por exemplo, topologia, geologia, vegetação, população, infraestruturas - cada tema com diferentes espécies de variáveis contínuas e entidades discretas (pontos, linhas, áreas e superfícies). E para adaptar as diferentes escalas de investigação, os dados devem estar disponíveis em diferentes níveis de detalhe para uma mesma região.

Devido à complexidade das propriedades estruturais e ao carácter multidimensional, multitemporal e multiespacial, a modelação de informação geográfica necessita de modelos que possuam, de forma explícita, construções conceptuais adequadas.

3.3 Sistemas de Base de Dados

Na generalidade dos actuais sistemas de informação, as funções de armazenamento e acesso de informação são asseguradas por um Sistema de Base de Dados [Dat85] [Kor91]. Este consiste essencialmente em três blocos (Fig. 3.1):

- um conjunto de dados relacionados e guardados de forma permanente em registos do sistema informático, isto é, a Base de Dados (BD);
- um conjunto de software que define a estrutura dos dados armazenados e controla os acessos, isto é, o Sistema de Gestão de Base de Dados (SGBD);

- vários programas que tornam o sistema de informação útil em sectores particulares, isto é, as Aplicações.

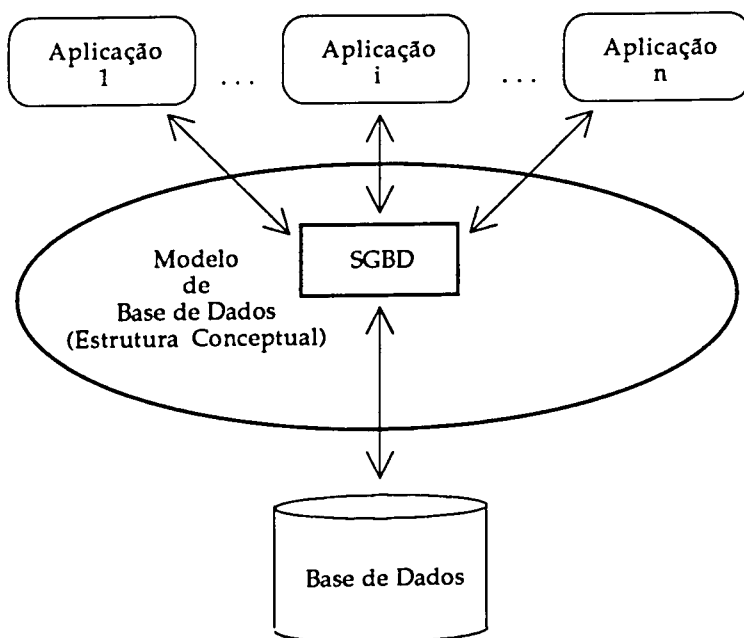


Fig. 3.1 - Sistema de base de dados

Para uma descrição mais detalhada acerca dos conceitos e objectivos associados aos sistemas de base de dados e aos modelos de base de dados consulte-se, por exemplo, [Dat85] [Kor91] [Mar76] [Nij89] [Yao85].

3.3.1 Conceitos

O software responsável pela gestão da BD é habitualmente designado por Sistema de Gestão de Base de Dados (SGBD). Integra todos os programas que garantem a definição, acesso e manutenção dos dados existentes na BD e é usado directa ou indirectamente pelos seus utilizadores. Cada SGBD implementa concretamente um determinado Modelo de Base de Dados.

Um SGBD fornece tipicamente:

- uma Linguagem de Definição de Dados (LDD) para definir os esquemas e subesquemas (subconjunto de propriedades estáticas definidas ou derivadas do esquema);
- uma Linguagem de Manipulação de Dados (LMD) para escrita de programas que envolvam leitura, escrita, modificação e eliminação de informação;

- uma Linguagem de Interrogação (LI) para a escrita de interrogações;
- uma linguagem hospedeira (C, PASCAL ou COBOL) para interacção com a BD;
- normalmente, fornece ainda um conjunto de ferramentas destinadas a apoiar o trabalho da equipa de desenvolvimento e do administrador da BD (utilitários de desenho de ecrãs e formatadores de relatórios).

Tal como um sistema de informação geográfica é uma espécie de sistema de informação, também se pode considerar uma base de dados geográfica como uma base de dados especial que possui dados geograficamente relacionados, e um sistema de gestão de base de dados geográfico (SGBD Geográfico) como um SGBD especial que controla o conteúdo e a natureza da base de dados geográfica.

Um SGBD Geográfico deve incorporar meios que apoiem a equipa de desenvolvimento na definição da estrutura da base de dados geográfica e os utilizadores no acesso e actualização dos dados geográficos. Idealmente, um SGBD Geográfico deve estar apto a resolver diversos problemas, nomeadamente: tratamento de grandes volumes de dados, possivelmente distribuídos; entidades, relações, operações e restrições de integridade complexas e geográficas; dados com níveis de incerteza associados; múltiplas escalas de representação; múltiplas classes de utilizadores; interface altamente gráfica; acesso rápido a domínios espaciais bidimensionais ou tridimensionais; e acessos concorrenciais para múltiplos utilizadores [Fra88].

Um sistema de base de dados existe em três níveis de abstracção (Fig. 3.2). O de mais baixo nível é o nível físico (ou interno), onde está uma descrição de como os dados estão armazenados nas estruturas de armazenamento da máquina usada e onde se especifica as estruturas de acesso. A representação física da base de dados é designada por base de dados interna. Acima do nível físico, existem dois níveis lógicos: o conceptual e o externo. O nível intermédio (e o principal) é o nível conceptual da BD. Este nível define a vista da comunidade de utilizadores sem detalhes de representação física. Ao nível externo existem as diversas vistas ou perspectivas de cada grupo de utilizadores. A base de dados associada a estas vistas é designada por base de dados externa.

Para ilustrar os conceitos acima referidos, observe-se, por exemplo, um sistema de informação cadastral. A parte central deste sistema é uma BD cadastral que reúne diversa informação relacionada com as parcelas. Qualquer utilizador que aceda à informação fá-lo através do SGBD. O esquema da BD especifica quais as parcelas, ruas, usos do solo, códigos das construções, arrendamentos, cercas, infraestruturas, etc, existem, como se relacionam e que características possuem. Em cada instante, uma vista sobre a BD é uma

porção particular da informação total que existe para as ruas, construções, e restantes entidades. Existem três níveis de abstracção. O conceptual que reúne a informação como um todo para a comunidade de utilizadores. Os diferentes grupos de utilizadores interessam-se por diferentes tipos de informação. Por exemplo, no caso das parcelas, a fiscalização interessa-se pela área da parcela e pelo proprietário, o planeamento necessita de informação censitária e a engenharia necessita de conhecer a localização e a especificação das infraestruturas existentes - e esta informação está em diversas BD externas. A informação existente nas BD externas é armazenada, como porções de informação, numa BD interna.

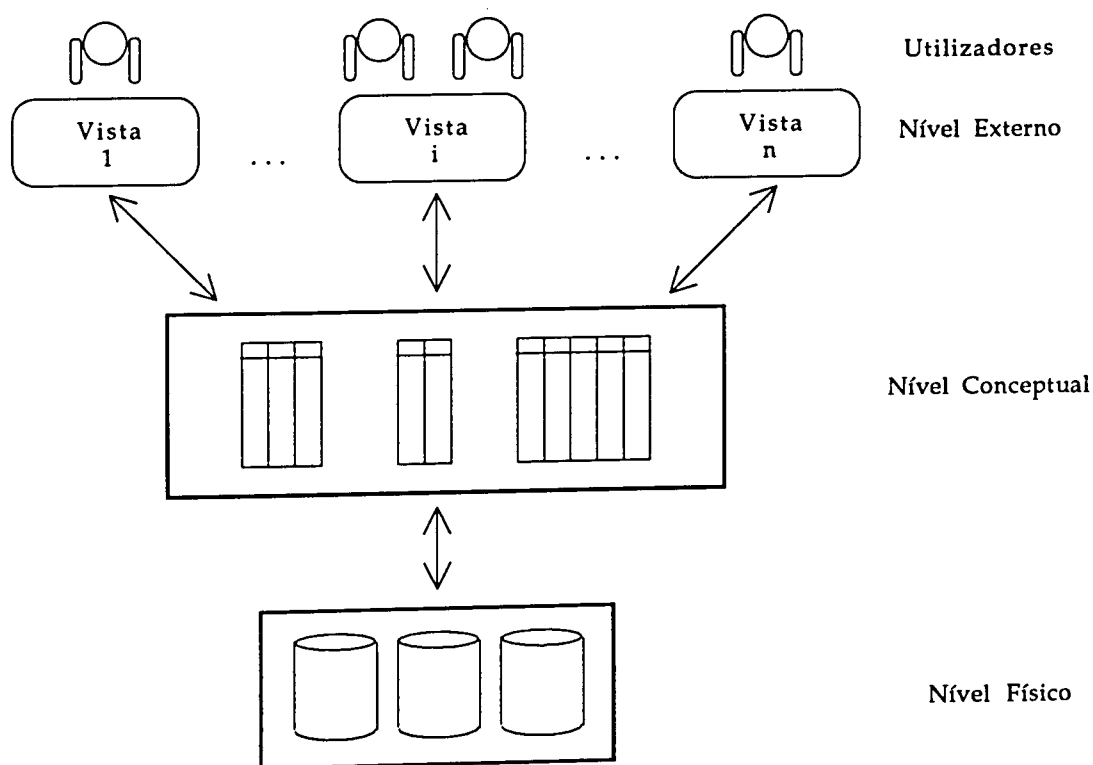


Fig. 3.2 - Níveis da arquitectura de um sistema de base de dados

3.3.2 Objectivos

Todos os sistemas de bases de dados tentam cumprir certos objectivos de funcionalidade e desempenho. São, normalmente, os seguintes:

- **integração** - diversos ficheiros separados mas, relacionados entre si; combinam-se num todo unificado para formar a base de dados;
- **integridade** - a BD é completa, correcta e consistente uma vez que existe protecção contra a realização de operações consideradas ilegais ou inadequadas. Por exemplo, duas parcelas não se podem sobrepôr, e nenhuma parcela pode ter mais do que um proprietário;

- redundância - os dados não são duplicados, eliminando a possibilidade de inconsistência. Por razões que se prendem com a eficiência no acesso aos dados a redundância é por vezes procurada, sendo nesses casos controlada. No entanto, redundância excessiva é dispendiosa. O armazenamento de dados exige uma estratégia eficiente de actualização de todas as cópias existentes;
- independência - as aplicações são independentes da forma como os dados estão fisicamente armazenados e vice-versa. Alterações feitas sobre uma das partes não afecta a funcionalidade da outra;
- abstracção - a mesma informação existe a diferentes níveis de complexidade. Os detalhes vistos a um nível são escondidos ao nível de abstracção imediatamente superior. Os níveis de abstracção interno, conceptual e externo personificam este importante conceito;
- linguagem da BD - meio unificado de especificação da estrutura da BD e das operações permitidas. A linguagem da BD é parte integrante do SGBD;
- extensibilidade - a estrutura e o conteúdo da BD podem ser estendidos, como consequência da alteração do conhecimento ou da especificação do ambiente da aplicação, sem que ocorra perda de integridade.

Outros objectivos com mais significado físico:

- eficiência - é assegurado o acesso rápido aos dados. Os dados ocupam também o mínimo espaço de armazenamento;
- concorrência - diversos utilizadores podem aceder simultaneamente aos mesmos dados;
- distribuição - um vasto conjunto de dados é armazenado ou disponibilizado em diferentes locais. Uma BD fisicamente localizada em diferentes locais, apresenta-se, em termos lógicos, como um todo;
- segurança - protecções contra acessos de utilizadores não autorizados e contra perdas de dados, em caso de falha do sistema. O acesso a informação confidencial é restringido aqueles que possuam autorização adequada.

3.3.3 Modelos de Base de Dados

Aquilo que distingue os diferentes SGBD são os princípios orientadores. A estrutura conceptual, ou teoria, que especifica o número e o tipo de classes de dados armazenados, quais as relações, operações de alteração e interrogação disponíveis, é habitualmente designada por Modelo de Base de Dados (MBD). É uma espécie de álgebra para os dados.

Os MBD podem ser classificados em dois grupos: os lógicos e os físicos (Tab. 3.1). Estes dois grupos diferenciam-se pelo seu nível de abstracção, isto é, como estreitamente se referem a conceitos do mundo real ou a detalhes concretos da tecnologia computacional. Os modelos lógicos estão orientados para a compreensão humana e são úteis na especificação dos dados e da informação a armazenar e na especificação daquilo que lhes pode suceder. Os modelos físicos estão mais orientados para conceitos ao nível do sistema computacional e especificam a forma como os dados são armazenados e acedidos.

Nível Abstracção	Tipo	Subtipo	Exemplos	Componentes
alto (humano)	lógico (especificação) "o quê"	semântico	entidade-associação semântico funcional orientado a objectos	entidade relação atributo operação
		sintático	hierárquico reticulado relacional	ficheiro registo campo apontador
	físico (implementação) "como"		sequencial aleatório	disco cilindro pista bloco

Tab. 3.1 - Níveis de abstracção de modelos de base de dados

Por seu lado, os próprios modelos lógicos podem também ser classificados de acordo com o seu nível de abstracção. O primeiro grupo, dos modelos ditos sintáticos ou baseados em registos, são de relativo baixo-nível, manipulam ficheiros, registos, campos e apontadores. Este grupo inclui os modelos hierárquico, reticulado e relacional [Dat85] [Kor91] [Mar76]. No segundo grupo, designado por semântico ou baseado em objectos, estão os modelos com alto-nível de abstracção, que manipulam conjuntos, objectos, atributos e relações.

Pertencem a este grupo os modelos semântico, orientado a objectos, funcional, relacional binário e entidade-associação [Kho90] [Kim89] [Kin85] [Kor91] [Rum90] [Ull88].

Os modelos de base de dados tradicionais, aplicados a sistemas de informação da área administrativa e comercial, usam objectos relativamente simples. As aplicações de processamento de informação geográfica requerem modelos de base de dados com capacidades de modelação mais complexas. Os modelos mais recentemente propostos, de aplicação específica, já levam em consideração o tempo, o espaço e outros objectos e eventos mais complexos.

3.4 Modelos de Base de Dados Geográficas

A modelação de informação tem por objectivo a modelação da estrutura dos dados por forma a ser convenientemente gerida numa base de dados. Virtualmente todos os produtos SIG comerciais utilizam um SGBD. Como se viu na secção 3.3.3, aquilo que distingue os SGBD é a sua estrutura conceptual ou melhor o Modelo de Base de Dados. Com o foco na informação geográfica, faz-se de seguida uma descrição de vários modelos que visam dois tipos de modelação de dados: modelação de bases de dados em geral e modelação de dados geográficos em particular.

3.4.1 Modelos de Base de Dados Genéricos

Têm sido propostos um número significativo de modelos de base de dados de aplicação genérica. Apresenta-se aqui cinco desses modelos de forma breve.

Modelo Relacional

O modelo relacional, proposto por E. Codd em 1970 [Cod70], é talvez o mais bem conhecido modelo de base de dados. Para uma descrição mais detalhada consulte-se, por exemplo, [Bra81] [Cod70] [Dat85] [Kor91] [Mar76] [Ull88]. Este modelo tem vindo a aumentar progressivamente de popularidade desde que apareceram as primeiras implementações comerciais. Nos dias de hoje é invariavelmente o modelo escolhido para as novas implementações de SGBD.

A base do modelo relacional é fornecida pela teoria matemática das "relações". De acordo com o modelo, a base de dados consiste num conjunto de diferentes relações que se traduzem fundamentalmente em ficheiros de dados tabulares. Os membros das relações chamam-se n-uplos e o seu número constitui a cardinalidade da relação.

Uma relação pode ser vista como uma tabela em que cada linha é um n-uplo. Por exemplo, uma base de dados cadastral pode possuir tabelas para as parcelas, para as construções e para as estradas e cada linha de uma dessas tabelas representa uma só parcela, construção ou estrada.

A estrutura lógica relacional é definida por um grupo de atributos em que cada atributo é o cabeçalho de cada coluna da tabela. Todos os atributos são atômicos, isto é, são unidades não decomponíveis ou singulares. Cada atributo pertence a um determinado domínio de atributo o qual define o tipo de dados (tipicamente, binário, inteiro, real, caracter, string, data) e possivelmente o intervalo admissível dos valores registáveis. Os atributos da tabela Parcela poderiam ser, por exemplo, Parcela-ID, Limites, Área, Proprietário, Edificação, Valor, Uso, etc, enquanto que para a tabela Estrada poderiam ser Estrada-ID, Largura e Tipo-Edificação. É possível estabelecer ligações entre tabelas desde que possuam domínios de atributos comuns. Por exemplo, uma linha na tabela Parcela é relacionada com uma na tabela Edifício se ao atributo Edificação da tabela Parcela corresponder o atributo Edifício-ID da tabela Edifício.

Numa base de dados relacional as operações concretizam-se através de uma linguagem declarativa de manipulação de dados. Um ponto central na especificação de uma nova relação e no processamento das já existentes, é a declaração "select" a qual identifica combinações e ocorrências particulares de n-uplos. A recuperação de todos os valores das parcelas que sejam propriedade de Pires pode ser feita com uma declaração do género:

```
select Parcela [Valor] where Parcela [Proprietário = "Pires"].
```

Ainda que em teoria, podem ser armazenados numa base de dados relacional quaisquer espécie de dados. No entanto, tem-se discutido se na prática o modelo relacional só é eficiente para aplicações que manipulem dados alfanuméricos [Gle92] [Kin85] [Ryb90]. Os SIG, para conseguirem instalar uma base de dados geográfica, utilizam muitas vezes uma base de dados relacional, no armazenamento de determinados dados, em conjunto com uma base de dados especializada [ESR91c]. Ultimamente têm sido propostas várias extensões ao modelo relacional para passar a incluir operadores e tipos de dados mais complexos [Cod79] [Loi91] [Oos91].

Modelo Funcional

O modelo funcional é um modelo que se baseia nos princípios matemáticos das "funções" [Kin85] [Shi81]. A sua principal característica é que as entidades, atributos, relações e

operações são todos modelados por funções ou por funções derivadas (em oposição às funções base).

Uma base de dados funcional consiste num conjunto de objectos (entidades ou atributos) e de funções que interagem com os objectos. As funções derivadas são inversões, composições e restrições de outras funções.

Cada tipo de entidade, por exemplo, uma parcela ou uma construção, é representada por uma função sem argumentos e declarada como tal. Os subtipos de entidades são declarados de modo semelhante. Um atributo de uma entidade é representado por uma função com um argumento, impondo à entidade um certo tipo de dados. Por exemplo, o atributo Largura impõe à entidade Estrada o tipo Numérico. As relações estabelecidas entre as entidades são representadas por funções com multi-argumentos. As operações de acesso são formuladas da mesma forma que a declaração de entidades. Por exemplo, especificando

```
print Valor (Parcelas) where Proprietário (Parcelas) = "Pires"
```

obtem-se os valores das parcelas cujo proprietários é Pires.

Modelo Entidade-Associação

O modelo Entidade-Associação (EA) é um modelo de base de dados amplamente conhecido, informal, de alto-nível e encontra-se descrito detalhadamente em variadíssima literatura [Che76] [Che85] [Dat85] [Teo86]. É entendido principalmente como sendo uma ferramenta de concepção lógica de base de dados e não está implementado em nenhum produto SGBD comercial.

O modelo EA consiste, essencialmente, em "entidades" (objectos ou eventos sobre os quais se pretende guardar informação), "associações" (representam as interligações entre uma ou mais entidades) e "atributos" (elementos de informação que descrevem as entidades). Este modelo não tem as componentes de operação de dados. As entidades (por exemplo, Edifícios, Parcelas, Estradas) são itens aos quais a informação se agarra e cada entidade é descrita por um grupo de atributos. Os atributos (tais como, Área, Largura, Uso) são do tipo de dados vulgares (real, inteiro, string, etc). As associações são ligações lógicas entre entidades e são representadas explicitamente. Por exemplo, um edifício está numa parcela e uma pessoa possui uma parcela. Se uma associação possuir atributos aparece descrita como uma entidade composta.

Uma entidade deve ser identificada univocamente pela combinação de atributos e/ou associações. Os atributos que identificam uma entidade designam-se por identificadores e os

atributos que são usados para descrever a ocorrência de uma entidade designam-se por descritores. As entidades que têm identificadores internos que determinam univocamente a sua existência designam-se por entidades fortes. As entidades que derivam a sua existência dos atributos identificadores de outras entidades designam-se por entidades fracas.

Uma associação é caracterizada pelo seu grau, conectividade e participação das entidades associadas. O grau da associação corresponde ao número de entidades por ela associadas. O modelo EA apenas permite associações unárias (recursivas) e binárias.

Algumas extensões do modelo EA admitem subtipos de entidades (permitem hierarquias de subconjuntos e hierarquias de generalização) [Bat90]. Por exemplo, uma Parcela-histórica é entendida como um tipo de Parcela.

O modelo entidade-associação é talvez o primeiro modelo de dados de alto-nível e o de todos o de mais fácil compreensão.

Modelo PROBE

O PROBE é um modelo de base de dados tanto de alto-nível como de baixo-nível [Ore88]. Suporta abstrações e encapsulamentos, isto é, permite vários níveis de tipos de dados - primitivas e primitivas compostas - e as operações ou procedimentos associados a cada tipo de dados são agrupados a eles. Admite também operações recursivas, isto é, operações que são definidas em termos de si próprias.

Também permite a definição de "espaços" de múltiplas "dimensões". Assim, o espaço cartesiano 2D (x, y) ou 3D (x, y, z), e mesmo o 4D, espaço-tempo (x, y, z, t) pode ser definido como "espaço". Em termos de tipos primitivos de dados incluem-se Ponto, Intervalo e Região, que podem existir internamente a "espaço" (uma Região pode ser um intervalo multidimensional num espaço). Associado a esse tipos de dados existem os operadores Sobrepor, Preceder e Conter.

Modelo Semântico e Orientado a Objectos (OOSAM)

O modelo Semântico e Orientado a Objectos (Object-oriented Semantic Association Model) é um modelo de base de dados experimental [Su86] [Ala88]. Este modelo surgiu com o sentido de agrupar diversos aspectos dos modelos Entidade-Associação e PROBE.

Consiste num conjunto diferenciado de espécies de entidades, atributos, relações, operações e regras. As entidades são geralmente representadas por atributos ou outras entidades. Podem ser classificadas em subtipos e supertipos. A entidade Parcela pode, por exemplo,

ser representada pelos atributos ID, Área, Valor, Uso, etc, e pela entidade Edifício. Uma Parcela-histórica pode ser um subtipo de Parcela e também um subtipo da entidade Histórico. São admitidos tipos especiais de entidades, como por exemplo, entidades compostas que envolve a relação entre entidades, e entidades que resumem grupos de entidades.

Os atributos podem ser atômicos ou compostos, armazenados ou calculados. Os atributos compostos são definidos por agregações, conjuntos, listas ou matrizes de outros atributos. Por exemplo, Localização é uma agregação de Este e Norte; Ocupantes é um conjunto de Pessoas; Fronteira é uma lista de Localizações; Imagem é um matriz de Pixels. As operações são realizadas pela declaração de interrogações, ou seja,

```
context Parcela (Proprietário = "Pires") retrieve Valor
```

permite obter os valores das parcelas cujo proprietário é Pires.

3.4.2 Modelos de Dados Geográficos

Têm sido propostos nos últimos anos um número considerável de modelos de dados geográficos e cartográficos racionalmente compreensivos. De seguida, apresenta-se de forma resumida cinco desses modelos.

Modelo Semântico de Base de Dados Geográficas (GSDM)

Este modelo, designado por modelo Semântico de Base de Dados Geográficas (Geographic Semantic Database Model) e proposto por M. Feuchtwanger em 1993 [Feu93], é um modelo semântico de muito alto-nível que integra conceitos da modelação lógica de base de dados e do processamento de dados geográficos.

O modelo é composto por entidades que representam fenómenos geográficos. São descritas por atributos e por relações com outras entidades e podem ser acedidas, processadas ou actualizadas por operações adequadas. As entidades podem ser de um dos seguintes tipos: objecto, perfil, nível e composto.

As entidades geográficas têm quatro atributos principais - taxonomia, geometria, cronologia e escala - que definem as suas características temáticas, espaciais, temporais e generalização. Os três primeiros definem, respectivamente, o quê, onde e quando, enquanto que o último define a escala de existência.

As relações geográficas definem associações entre objectos geográficos e existem três famílias principais. Relações semânticas que ligam tipos de objectos com os seus subtipos, objectos compostos com as partes constituintes e entidades para os atributos que as caracterizam. Relações topológicas que ligam entidades que estão espacial ou temporalmente juntas ou se intersectam. Relações de abstracção que ligam objectos de diferentes níveis de generalização, realização e de construção. Algumas relações não estão armazenadas, mas podem ser derivadas.

As operações consistem em interrogações que extraem a informação da base de dados e em transacções que alteram a informação da base de dados. São construídas por combinação de operações primitivas - aceder, calcular, actualizar e interactivar. As operações de manipulação da base de dados consistem praticamente numa selecção que isola a parte da base de dados a trabalhar e numa acção que realiza a operação actual.

Estrutura de Informação Cartográfica

O modelo Estrutura de Informação Cartográfica (EIC) foi proposto por Nyerges em 1980 [Nye80]. Definido como um modelo de base de dados cartográficos de alto-nível e implementado num SGBD experimental. O modelo baseia-se fortemente em conceitos linguísticos e os mapas são entendidos mais como gráficos digitais do que como construções analíticas, sendo por isso um dos primeiros modelos de dados geográficos de alto-nível.

O modelo reconhece conceitos genéricos de base de dados, tais como tipos de entidades e instâncias, esquemas de base de dados e vistas, atributos, relações e operações. Existe um certo número de primitivas e entidades compostas, sendo os compostos uma colecção de primitivas. Como exemplos de primitivas estão o Ponto, Pixel e Símbolo, numerosos tipos de Linhas e de Polígonos, e como exemplo de compostos estão o Título, Escala, Grelha, Legenda e Feature. As entidades caracterizam-se por atributos e relações.

Os níveis de generalização cartográfica, ou escalas, são reconhecidos pelo modelo como entidades na forma analítica ou gráfica. Uma Feature, por exemplo, é uma entidade analítica porque representa qualquer coisa no mundo real, enquanto um Símbolo é uma entidade gráfica porque representa qualquer coisa no mapa. O modelo reconhece aplicações específicas, genéricas e abstracções de software. Uma Estrada é um exemplo de uma aplicação específica de uma Feature genérica e uma Linha é ela própria na forma primitiva.

Modelo Analítico de Dados Geográficos (GADM)

O modelo Analítico de Dados Geográficos (Geographic Analytic Data Model) é um modelo de dados geográficos de médio-nível e informal, definido por Goodchild [Goo87] mais para suporte a análise espacial do que para armazenamento e acesso a dados geográficos.

O modelo consiste em quatro entidades mapa - Nó, Arco, Polígono e Pixel; entidades compostas, que são relações entre pares ou ternos de outras entidades; e superfícies contínuas, ou coberturas mapa, tal como um conjunto irregular de pontos e uma matriz regular de pixels. Consiste também em atributos que descrevem as entidades.

As entidades têm um número fixo de atributos "reservados" e um número ilimitado de "outros" atributos específicos de uma aplicação. As primitivas têm atributos "geométricos" reservados (Perímetro de Polígono, Área e Centroide) e atributos "topológicos" reservados (adjacências nó-arco-polígono). Os outros atributos das primitivas podem ser Cidade, População, Indústria, etc. Os atributos reservados para as entidades compostas são os das entidades envolvidas na relação, enquanto que os outros atributos podem ser Distância e Taxa-Fluxo.

São descritas quatro classes base de análise espacial que examinam os atributos das entidades. Existem análises que requerem (i) os atributos temáticos de uma classe de entidades, (ii) atributos temáticos e espaciais de uma classe de entidades, (iii) os atributos de entidades compostas, e (iv) os atributos de muitas classes de atributos. Existem também duas classes de análise espacial que criam novas entidades: (i) aquelas que criam novos tipos de entidades a partir de um ou de dois tipos já existentes; e (ii) aquelas que criam novos compostos a partir de um ou mais tipos existentes.

Sistema de Informação Geográfica Baseado em Conhecimento

O Sistema de Informação Geográfica Baseado em Conhecimento (SIGBC) é um sistema experimental desenvolvido na Universidade da Califórnia em Santa Barbara [Peu84] [Smi84]. Caracteriza-se como um sistema de base de conhecimento e de base de dados, tanto de alto como de baixo-nível. Possui dois componentes complementares, espacial e temático, e está, aparentemente, apto a assimilar saber indutivo e dedutivo.

O lado temático do sistema consiste numa rede interligada de "árvores de propriedades". Cada nó, na árvore de propriedades, tem um nome e um tipo de dados, isto é, Parcela, Floresta, Rio são do tipo Nominal, enquanto que Altitude, Precipitação são do tipo Numérico. Um nó está ligado a um determinado número de subnós que representam de

forma exaustiva e mutuamente exclusiva os atributos do nó pai. Quando a classe do nó pai é uma combinação de valores de atributos, pode ser estabelecido um tipo alternativo de ligação nó-subnó. Por exemplo, o nó Floresta-alta pode ser ligado aos nós chamados "Ocupação = Floresta" e "Altura > 500 m".

A componente espacial da base de dados consiste numa série de "árvores espaciais" que são *quadrees* (estrutura *raster* hierárquica com subdivisão quaternária). A cobertura de cada variável mapa é representada por uma *quadtree*, em que cada um dos seus nós é recursivamente subdividido em mais quatro nós até que o seu conteúdo temático seja uniforme.

Neste modelo as entidades são representadas de uma forma bastante interessante; parecem uma "reunião de folhas de árvore". Uma entidade é definida por atributos temáticos, locais e topológicos, em que os dois primeiros correspondem aos nós folha da propriedade e da árvore espacial. O atributo temático é uma série de propriedades primitivas, ligadas por conjunções e disjunções, como por exemplo, "Altura > 500 e Floresta = Pinheiro ou Floresta = Eucalipto". O atributo local é um conjunto de pixels, correspondendo às folhas na árvore espacial. O atributo topológico indica relações espaciais (como por exemplo, Contorno/Interior, Próximo, Afastado, Vizinho, Norte e Este) com outras entidades.

As interrogações à base de dados possibilitam o acesso ou visualização de localizações que possuam determinada propriedade, das propriedades de uma determinada localização ou das propriedades existentes no interior de determinado rectângulo.

Modelo Dados Geográficos Orientado a Objectos (OOGDM)

O modelo Dados Geográficos Orientado a Objectos (Object-oriented Geographic Data Model), proposto por D. Alves em 1990 [Alv90], é um modelo dados geográficos orientado a objectos e de alto nível, isto é, suporta os conceitos de abstracção e encapsulamento.

O modelo consiste em entidades analíticas, que representam objectos do mundo real (estradas, rios, estações climatéricas) e que possuem atributos temáticos e espaciais. Dois tipos de entidades analíticas são, por exemplo, os mapas e os objectos. Um mapa é uma entidade composta que inclui um conjunto de objectos de um tema em particular. O modelo reconhece que cada um desses objectos do mundo real pode ser submetido a múltiplas projecções e escalas, assim como os seus atributos espaciais podem ter múltiplos valores. Este modelo suporta seis tipos de atributos espaciais, chamadas "geometrias": mapa Poligonal, Imagem, Grelha, Ponto-Mapa, Contorno-Mapa e Malha-Triangular. Cada

"geometria" é composta por "elementos" (Ponto, Linha e Polígono), manipulada por operações (por exemplo, Display). Pode também ser manipulada como uma unidade indivisível por um SGBD ou qualquer outro utilizador. Cada entidade mapa é referenciada aos elementos da sua geometria.

O mesmo conjunto de entidades mapa pode ser associado a qualquer número de geometrias, ou seja, uma cidade pode ser representada num mapa como pontos e noutra como polígonos. Uma superfície contínua, como a superfície terrestre, pode ser representada por um mapa cujas geometrias podem tomar variadíssimas formas, isto é, imagem, grelha, ponto-mapa, contorno-mapa ou malha-triangular e as operações serem interpolação de contorno, cálculo de volumes, etc.

O modelo consiste também num conjunto de entidades gráficas - visualização de entidades analíticas - que inclui cinco classes primitivas: Ponto, Curva, Área, Texto e Bitmap.

3.4.3 Resumo Comparativo

É interessante analisar até que ponto os modelos de base de dados genéricos, apresentados anteriormente, se adaptam à gestão de informação geográfica. Uma vez que todos os modelos incluem, de uma forma ou de outra, tipos genéricos de entidades, atributos e relações, possibilitam assim a definição de tipos espaciais ou geográficos para as bases de dados geográficas. No entanto, para cada problema é necessário redefinir novamente esses tipos uma vez que os modelos não os incluem de forma explícita. Como ferramentas de concepção de base de dados, os modelos funcional e relacional não são de fácil utilização devido ao limitado número de construções explícitas. O modelo Entidade-Associação, por utilizar uma linguagem gráfica com uma notação de fácil compreensão e por possuir um número de construções ligeiramente superior, tem-se revelado poderoso na análise de bases de dados e modelação de problemas reais. Note-se que embora nenhuma base de dados comercial implemente o modelo EA os seus diagramas são facilmente convertidos, por exemplo, no modelo relacional. O modelo PROBE pela sua aptidão para tratar informação de múltiplas dimensões surge particularmente vocacionado para os problemas geométricos. O modelo OOSAM, possuidor de um enorme conjunto de construções conceptuais de alto-nível, associado a uma linguagem gráfica, permite a concepção e análise de base de dados que se adequam estreitamente a ambientes aplicativos.

De modo a possibilitar uma melhor visão comparativa, apresenta-se na tabela 3.2 os principais elementos caracterizadores dos modelos de base de dados genéricos descritos anteriormente.

No que se refere aos modelos de dados geográficos descritos, todos eles parecem ser apropriados, no mínimo como base, para dirigir o armazenamento e arquivo de dados num sistema de informação geográfica, ou seja, para o desenvolvimento de modelos de bases de dados geográficas de alto-nível (talvez com excepção do modelo Geographic Analytic Data Model por se centrar mais em aspectos analíticos do que de armazenamento e arquivo). O GSDM é um modelo informal, de alto-nível, concebido especificamente para aplicações geográficas. De todos os modelos é aquele que tem melhores construções para a modelação de informação geográfica.

De forma idêntica, para possibilitar uma melhor visão comparativa, apresenta-se na tabela 3.3 os principais elementos caracterizadores dos modelos de dados geográficos descritos anteriormente.

Modelo	Relacional	Funcional	E-A	PROBE	OOSAM
Nível Abstracção	médio	alto	alto	muito alto	muito alto
Aplicação	genérica	genérica	genérica	genérica	genérica
Formal	sim	sim	não	sim	sim
Implementado	sim, muito	sim	não	sim	sim
Domínios Caracterização					
temático	sim	sim	sim	sim	sim
espacial	não	não	não	sim	não
temporal	não	não	não	sim	não
Entidades					
genérica	sim	sim	sim	sim	sim
geográfica	não	não	não	não	não
abstracta	não	sim	sim	?	sim
Atributos					
generico	sim	sim	sim	sim	sim
geográfico	não	não	não	não	não
multivalor	não	sim	sim	?	sim
dependente	não	sim	não	?	sim
Relações					
genérica	sim	sim	sim	sim	sim
tem-subtipo	não	sim	não	sim	sim
multi-origem	não	não	não	não	sim
descrito-por	sim	sim	sim	sim	sim
composto-por	não	não	não	não	sim
topológica	não	não	não	não	não
abstracção	não	não	não	não	não
Operações					
genérica	sim	sim	não	sim	sim
geográfica	não	não	não	não	não
encapsulada	não	não	não	?	sim

Tab. 3.2 - Comparação de cinco modelos de base de dados

Modelo	GSDM	EIC	GADM	SIGBC	OOGDM
Aplicação	base dados	base dados	análise	genérica	genérica
Formal	não	sim	não	sim	não
Implementado	não	sim	não	sim	não
Domínios Caracterização					
temático	sim	sim	sim	sim	sim
espacial	sim	sim	sim	sim	sim
temporal	sim	não	não	não	não
Entidades					
objecto	sim	sim	sim	sim	sim
profile	sim	não	não	não	não
nível	sim	sim	sim	sim	sim
composto	sim	não	?	não	não
Atributos					
taxonomia	sim	sim	sim	sim	sim
geometria	sim	sim	sim	sim	sim
cronologia	sim	não	não	não	não
multivalor	sim	?	sim	?	sim
dependente	sim	não	não		?
Relações					
tem-subtipo	sim	não	não	sim	sim
multi-origem	sim	não	não	sim	não
descrito-por	sim	sim	sim	sim	sim
composto-por	sim	não	sim	não	não
topológica	sim	sim	sim	sim	sim
abstracção	sim	sim	não	não	sim
Operações					
genérica	sim	sim	sim	sim	sim
geográfica	sim	sim	sim	sim	sim
encapsulada	sim	não	não	não	sim

Tab. 3.3 - Comparação de cinco modelos de dados geográficos

3.5 Considerações Finais

Apresentaram-se os conceitos mais importantes da gestão informatizada de informação e os mais relevantes para o processamento de dados geográficos. Tais conceitos podem ser sintetizados da forma seguinte.

Uma base de dados é um depósito organizado de informação que retrata alguma zona de interesse do mundo real. A modelação lógica da base de dados é a conceptualização formal dos aspectos relacionados com a estrutura e o comportamento do fenómeno a ser representado. Os fenómenos considerados são representados por objectos e operações. Os objectos incluem entidades que são caracterizadas por atributos e relações. As operações, transacção e interrogação, são realizadas sobre os objectos. Os diferentes modelos de base de dados variam de acordo com o seu nível de abstracção. Os mais recentes possuem construções conceptuais de alto-nível que podem ser facilmente usadas na modelação de problemas reais.

A enorme quantidade de informação produzida pelas ciências que intervêm ao nível geográfico causam, naturalmente, problemas de processamento de informação geográfica. Isto resulta em parte pela natural complexidade da superfície terrestre, mas principalmente porque os fenómenos ou objectos geográficos a observar raramente podem ser definidos concretamente e de forma sucinta. A informação geográfica tende a ser volumosa, imprecisa, espacial e temporalmente variável. Por outro lado, a forma como actualmente se descrevem as relações espaciais entre os objectos geográficos é bastante dependente da aplicação final e portanto pouco generalista. A modelação de informação geográfica continua a ser objecto de forte investigação motivada pelos desenvolvimentos surgido nos sistemas computacionais. A mais recente investigação aponta para o desenvolvimento de modelos capazes de tratar a informação geográfica de forma mais natural e homogénea que conduzem a sistemas de informação geográficos mais sofisticados e de fácil construção e manutenção.

Capítulo 4

Modelação Geométrica

Introdução

Conceitos

Modelos para Informação Espacial

Considerações Finais

4.1 Introdução

A Modelação Geométrica pode ser genericamente definida como o estudo de métodos e técnicas de representação e manipulação computacionais da geometria e topologia de modelos de objectos [Mor85].

Pretende-se com este capítulo abordar diversos aspectos relacionados com a modelação geométrica dos dados geográficos no contexto dos sistema de informação geográfica.

Começa-se por apresentar algumas noções de espaços métricos e topológicos com base nas respectivas relações espaciais, focam-se os métodos e estratégias tradicionais associadas à produção de mapas e analisa-se o conceito de escala.

Tomando por base os métodos de representação tradicional da informação geográfica, referem-se dois modelos fundamentais usadas pelos sistemas de informação geográfica: o modelo *raster* e o modelo vectorial. Para o caso do modelo *raster* apresentam-se ainda dois métodos de compressão de dados (run-length encoding e quadtree). Finalmente, com base nos princípios fundamentais do modelo vectorial, apresentam-se vários modelos que recorrem a estratégias próprias de organização das entidades gráficas e visam objectivos distintos.

4.2 Conceitos

Espaço

O conceito de espaço é algo tão intuitivo e primário na experiência humana que não é facilmente descritível. No entanto, esta dificuldade atenua-se quando se definem relações de posição, isto é, quando se definem relações espaciais sobre um conjunto de objectos. Assim, de acordo com as relações espaciais consideradas, surgem diferentes tipos de espaços e diferentes tipos de objectos espaciais.

Uma das primeiras propostas para um conjunto de relações espaciais primitivas sobre objectos no espaço 2D foi feita por Freeman em 1975 [Fre75]. Este conjunto é formado pelas seguintes treze relações: esquerda de; direita de; perto de (junto a); acima de (sobre); abaixo de (sob); atrás de; em frente de; próximo de; longe de; em contacto com; entre; dentro de (interior a); e fora de. Com efeito pode-se definir um conjunto de relações para cada um dos dois tipos fundamentais de relações espaciais:

- relações métricas ou de medida da separação - são deduzidas a partir da definição de uma função (por exemplo, distância euclideana) que a cada par de objectos faz corresponder um valor que mede o grau de separação entre esses objectos, de acordo com determinado critério. Um espaço com relações deste tipo é designado por espaço métrico.
- relações topológicas - um espaço topológico é aquele em que pode haver uma certa arbitrariedade na posição dos objectos e as suas características não dependem do sistema de coordenadas, mas em que é possível referir-se a propriedades qualitativas, como contiguidade, adjacência, vizinhança, fronteira, ligação, etc., que se mantêm mesmo quando o espaço é submetido a distorções ou transformações.

Mapa

A pretensão de compreender todos os dados espacialmente relacionados é uma tarefa motivadora para a qual vários métodos e ferramentas têm sido usados. Os mapas têm sido historicamente a estrutura privilegiada para muitas disciplinas interessadas na análise espacial. Ao longo de mais de 4000 anos diversas culturas têm usado simbologia gráfica na representação de fenómenos espacialmente distribuídos. Ao longo dos tempos, os mapas têm funcionado como um vantajoso meio de registo, conservação, compreensão de ideias, análise de conceitos, prognóstico do futuro, apoio à decisão, troca de conceitos espaciais, etc [Sta90].

A informação geográfica é composta fundamentalmente por informação espacial e informação descritiva [3.2].

Num mapa tradicional, a informação espacial é representada graficamente por um conjunto de pontos, linhas e áreas. Um ponto define localizações discretas de fenómenos geográficos que por natureza são demasiado pequenos para serem representados por linhas ou áreas. As linhas são usadas na representação dos objectos geográficos que possuem formas demasiado estreitas para possuírem área ou objectos lineares que têm comprimento e não área. As áreas são figuras geométricas fechadas que representam a forma e a localização de fenómenos geográficos homogéneos [Peu90] [ESR91c].

Muitos dos fenómenos geográficos são facilmente representados por pontos, linhas e áreas uma vez que possuem fronteiras discretas. No caso das superfícies, tal não acontece. Basta verificar que a altitude pode ser medida para qualquer localização, isto é, numa superfície existe um número infinito de localizações e correspondentes valores de altitude. Assim, as

superfícies representam objectos contínuos. Nos mapas, as superfícies são tipicamente representadas por uma série de isolinhas designadas por curvas de nível. Note-se, no entanto, que este método é totalmente inadequado ao suporte de análises espaciais (por exemplo, cálculo de declives ou exposições).

A informação descritiva presente nos mapas é normalmente representada por símbolos e marcas. Por exemplo, as estradas são desenhadas com linhas de várias espessuras, padrões e cores de acordo com a sua classe; a cor azul é habitualmente usada para os rios e zonas de água; existem símbolos especiais para indicar determinadas localizações (aeroportos, por exemplo); os picos das montanhas são assinalados com o seu valor de altitude.

Num mapa, as relações espaciais existentes entre os diversos objectos geográficos estão representadas de modo implícito e a sua interpretação depende do leitor. A observação de um mapa permite interpretar facilmente muitas das relações espaciais existentes entre os objectos. Por exemplo, pode-se encontrar o caminho para um aeroporto a partir de um mapa de estradas; pode-se distinguir a forma das montanhas num plano uniforme pela simples observação das curvas de nível; estimar a altitude de uma lagoa a partir dos valores das curvas de nível envolventes; analisar a proximidade de um parque florestal a determinada estrada. Esta informação não está explicitamente representada no mapa, ela é deduzida a partir da localização e da forma dos objectos existentes no mapa.

A localização da informação espacial é referenciada em posições de mapa através de um sistema de coordenadas rectangular ou planar, isto é, um sistema de coordenadas que tem duas dimensões (x, y), designado por sistema de coordenadas cartesiano.

Em conclusão, pode dizer-se que um mapa é um importante exemplo de meio de informação, interpretando e relacionando métrica e topologicamente os dados disponíveis.

Escala

Para reduzir as dimensões naturais do terreno, a fim de efectuar a sua representação, considera-se uma certa razão constante entre o comprimento de uma linha no mapa e o da sua homóloga no terreno, razão essa designada por escala. Os valores das escalas são normalmente escritos como números sem dimensão, significando isto que as medidas do mapa e do terreno têm as mesmas unidades. A escala 1:25000 indica que 1 unidade de distância no mapa corresponde a 25000 das mesmas unidades no terreno. Assim, 1 centímetro no mapa corresponde a 25000 centímetros (ou 250 metros) no terreno. Note-se que a escala refere-se sempre a uma distância linear horizontal e não a medidas de áreas ou altitude.

Como a escala é uma razão numérica, associa-se habitualmente a noção de grandeza de escala ou de grau de pormenor. Surge assim os termos escalas pequenas e escalas grandes que traduzem o resultado da divisão numérica. Por exemplo, a escala 1:25000 (40×10^{-6}) é mais pequena (menos pormenor e rigor) que a escala 1:10000 (100×10^{-6}) (mais pormenor e rigor).

4.3 Modelos para Informação Espacial

Existem nos Sistemas de Informação Geográfica duas abordagens fundamentais para representar a componente espacial da informação geográfica: o modelo *raster*, onde o espaço é subdividido em células regulares, e o modelo vectorial que utiliza pontos, linhas e polígonos para representar os diversos objectos geográficos que existem espalhados, de forma irregular, no mundo real.

A eficiência de cada abordagem depende da adaptabilidade do modelo de dados às necessidades de tratamento da informação geográfica. Quando se pretende analisar a variabilidade de determinado fenómeno geográfico, geralmente a representação *raster* revela-se mais adequada, enquanto que a representação vectorial é mais apropriada quando a informação de interesse reside no rigor da forma dos objectos e na sua distribuição no espaço.

A informação geográfica é representada, em ambos os modelos, segundo unidades homogéneas. No caso da abordagem *raster* essas unidades são as células e no caso vectorial são os pontos, as linhas e os polígonos.

4.3.1 Modelo Raster

O modelo *raster*, ou regular, é aquele que traduz a concepção do espaço como o objecto primário e em que as entidades e os atributos constituem as suas características do local. Os dados são atribuídos a unidades de área elementares e atómicas, designadas por células ou *pixels*, com tamanho e formato constantes e posicionadas de uma forma contígua e sequencial, permitindo assim uma representação discreta de todo o espaço.

De forma simplista, pode dizer-se que o modelo *raster* consiste numa grelha regular de células quadradas. A localização de cada célula é definida pelos seus números de linha e coluna, segundo uma disposição matricial. O valor atribuído a cada célula indica o valor do atributo que ela representa.

Existem vários formatos possíveis para as células, nomeadamente, triangular e hexagonal, mas o mais comum é a célula quadrada (Fig. 4.1).

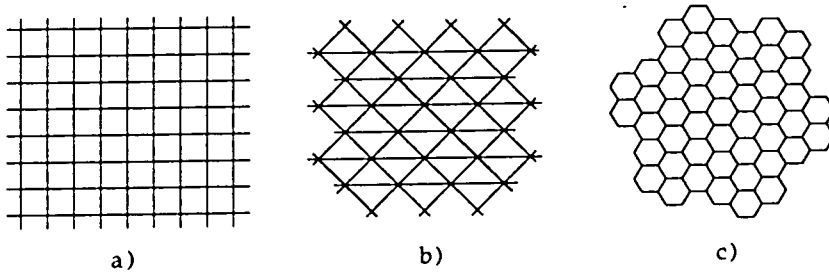


Fig. 4.1 - Formatos de células. a) quadrado. b) triangular. c) hexagonal

Num ficheiro *raster* cada célula contém somente um valor de atributo, e por consequência, os diferentes atributos são armazenados em ficheiros separados. Realizar operações sobre os dados envolve o acesso e o processamento de um determinado conjunto de células que podem estar em diversos ficheiros. Conceptualmente, este processo consiste em "empilhar" os ficheiros necessários à operação e para cada localização efectuar a análise pretendida, usando para isso a pilha vertical de valores (Fig. 4.2). É de notar que esta operação pressupõe que os diversos ficheiros possuem, entre si, células de igual dimensão, ou seja, grelhas de igual resolução. Quando tal não acontece, é necessário proceder previamente à sua normalização.

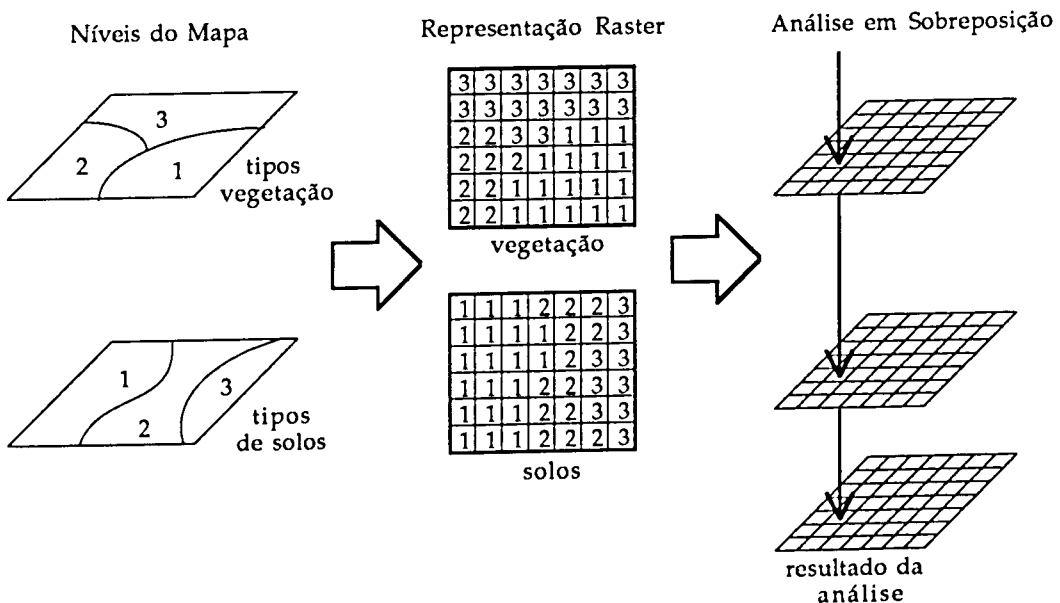


Fig. 4.2 - Esquema de análise em representação *raster*

No modelo *raster* cada célula representa uma unidade de área elementar. Desde que o atributo de cada célula seja armazenado como um único valor, o número total de valores a serem armazenados é o produto do número de linhas pelo número de colunas. Quanto menor for a área de cada célula, maior é a resolução dos dados, e consequentemente maiores serão os ficheiros de armazenamento. O tamanho dos ficheiros aumenta rapidamente com o aumento da resolução tornando-os relativamente grandes. No entanto, a generalidade dos casos mostra que existem aglomerados de células que possuem valores de atributo iguais. A existência deste tipo de redundância sugere a utilização de métodos de compressão de dados, como por exemplo, Run-Length Encoding e Quadrees (o termo compressão de dados é habitualmente utilizado para designar a representação de dados numa forma mais compacta) [Aro91] [Mag91a] [Peu90].

Run-Length Encoding

No método Run-Length Encoding (RLE) as células adjacentes ao longo de uma linha, que possuam o mesmo valor, são tratadas como um grupo, designado por *run*. Em vez de armazenar repetidamente o mesmo valor para cada célula, o valor é armazenado uma vez, em conjunto com alguma informação suplementar (comprimento e posição do *run*). Existem várias estratégias de implementação deste método. Como exemplo, apresenta-se o standard RLE e a codificação valor ponto. Para permitir ilustrar e comparar estas duas estratégias utiliza-se como base o exemplo da Fig. 4.3.

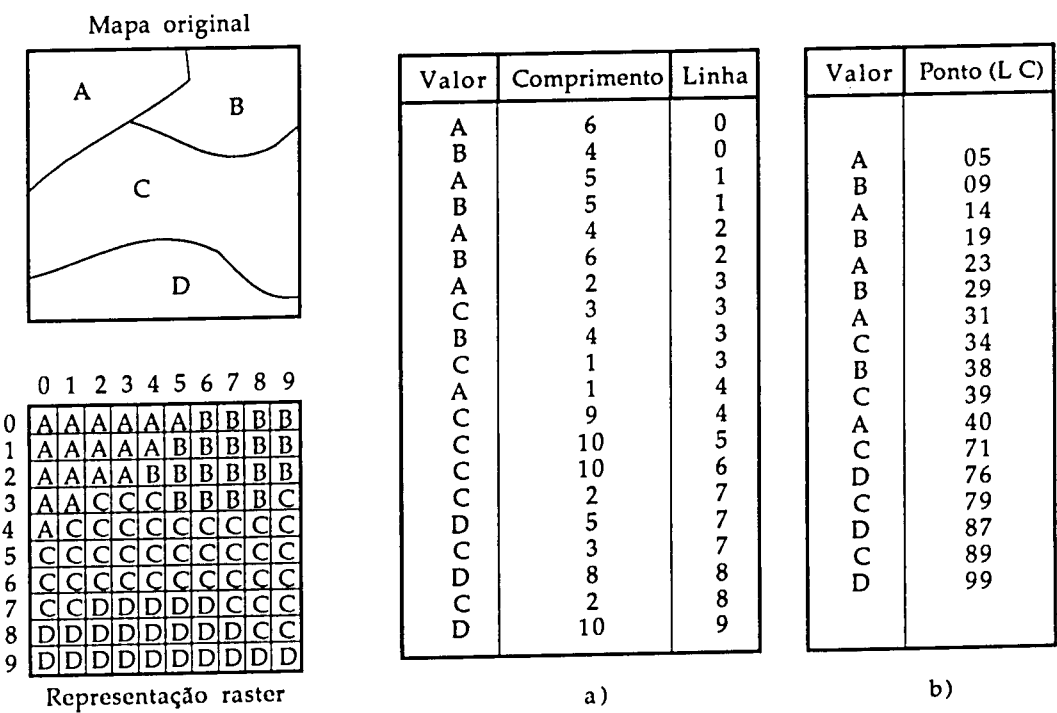


Fig. 4.3 - Estratégias de codificação RLE. a) standard RLE. b) codificação valor ponto

No caso do standard RLE, faz-se o registo do valor do atributo, do número de células de cada *run* e do número da linha. Com esta estratégia, e para o exemplo da Fig. 4.3, os 100 valores existentes na codificação total ficam reduzidos a 60 valores (Fig. 4.3 a)).

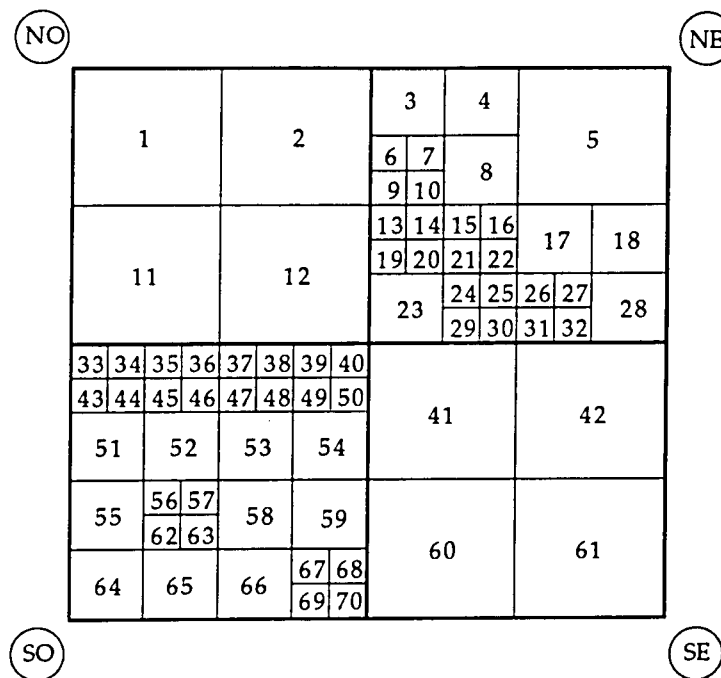
Na estratégia codificação valor ponto, atribuem-se números de posição às células e, partindo do canto superior esquerdo, faz-se a codificação da esquerda para a direita e de cima para baixo. Uma vez que se assume o ponto de partida e o sentido de codificação, só é necessário guardar o valor da célula (coluna valor) e o número de posição (coluna ponto) da última célula que possui esse valor. Usando esta estratégia armazenam-se somente 37 valores, como se pode observar pela Fig. 4.3 b)).

Estas formas de compressão de dados tornam-se menos eficientes com o aumento do número de arestas ou transições. O grau de compressão que se consegue depende, obviamente, da complexidade do mapa.

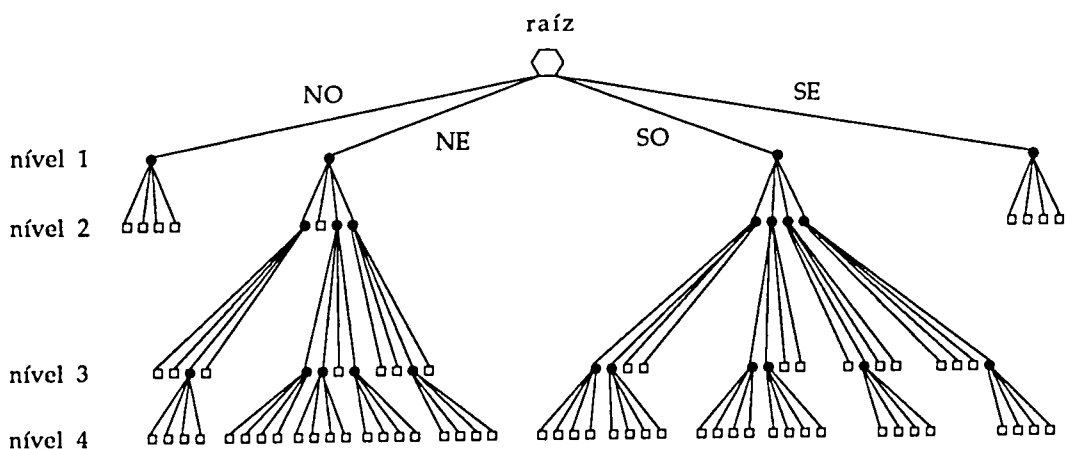
Quadrees

Este modelo de dados, em vez de dividir toda a região a codificar em células de igual dimensão, utiliza um esquema de subdivisão para as zonas de maior pormenor [Aro91]. Desta forma, obtem-se maior resolução somente nas zonas em que tal se justifica, ou seja, áreas homogêneas de grande dimensão são codificadas com uma resolução grosseira (células de grande dimensão) e as áreas que evidenciam grande variabilidade espacial são codificadas com uma resolução mais fina (células de pequena dimensão).

Conceptualmente, a construção de uma *quadtree* pode ser entendida como um processo de subdivisão regular de uma região. Por exemplo, se a região a codificar possuir apenas uma classe, então o processo de subdivisão pára e a região é representado por uma enorme célula que abrange a sua totalidade. Se estiver presente mais do que uma classe, então essa região é subdividida em quatro quadrantes de igual dimensão. Repete-se novamente o teste para estes quatro novos quadrantes e o quadrante que possuir mais do que uma classe é novamente subdividido em quatro. Este processo continua até que todos os quadrantes se apresentem homogêneos ou então até que seja atingido um número máximo de iterações. Este número estabelece, de facto, as menores dimensões com que uma célula pode ser representada e, portanto, a resolução máxima. No entanto, a utilização de células de pequenas dimensões não traz por consequência ficheiros de grande dimensão, porque, possivelmente, muitas das zonas não são codificadas com a resolução mais fina. No exemplo da Fig. 4.4, partindo do pressuposto de que o processo de subdivisão termina no nível 4, existem 70 valores a codificar contra os 256 que surgiriam se fosse usada uma grelha regular de resolução igual à de nível 4.

Fig. 4.4 - Subdivisão de uma região usando o método *quadrees*

A Fig. 4.5 apresenta a estrutura esquemática da *quadtree* para o exemplo da Fig. 4.4. Neste esquema define-se a raiz como o ponto a partir do qual se ramificam todos os outros ramos. Uma folha é um ponto a partir do qual deixam de existir ramos. Todos os restantes pontos existentes na árvore são designados por nós.

Fig. 4.5 - Representação esquemática da estrutura *quadtree*

Uma das maiores desvantagens das *quadrees* relaciona-se com o tempo que é necessário dispendido para criar e modificar a sua estrutura (note-se que este método é iterativo). As tarefas suplementares, necessárias à sua manutenção, podem ser bastante optimizadas, mas nunca eliminadas. O método das *quadrees* revela-se mais eficiente, em comparação com a

estrutura *raster* simples, quando os dados são relativamente homogéneos e quando não se verificam actualizações frequentes.

4.3.2 Modelo Vectorial

O modelo vectorial, ou irregular, reforça o conceito de entidade ou objecto, e baseia-se na especificação precisa da posição de pontos, linhas e polígonos que de algum modo representam os objectos de interesse. O espaço é assumido como sendo contínuo e de coordenadas onde qualquer posição pode ser definida com a precisão desejada. O modelo vectorial assume que essas coordenadas de posição são matematicamente exactas. De facto, o nível de precisão está limitado pelo número de *bits* que é usados na representação computacional de um valor singular. No entanto, esta é uma resolução bastante fina comparada com o tamanho das células que geralmente aparecem nos sistemas *raster* [Aro91].

Como foi visto [4.2 - Mapa], a informação espacial é representada em mapas bidimensionais, por pontos, linhas e áreas. O modelo vectorial segue uma estratégia semelhante. A entidade ponto é registada por um simples par de coordenadas (x, y), uma linha por uma série de coordenadas (x, y) e uma área como um ciclo fechado de pares de coordenadas que definem os limites da fronteira dessa área (uma área em que a fronteira é formada por segmentos de recta designa-se por polígono).

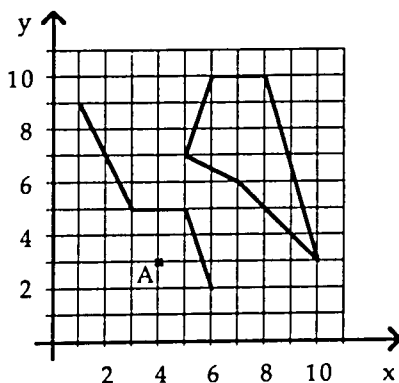


Fig. 4.6 - Representação de ponto, linha e polígono por um conjunto de coordenadas (x, y)

A Fig. 4.6 ilustra a forma como as entidades geográficas são codificadas usando um sistema de coordenadas rectangulares. A posição do ponto A é representada pelo par de coordenadas (4, 3) e a linha é representada por uma lista ordenada de pares de coordenadas (1, 9); (3, 5); (5, 5) e (6, 2). A área é representada por uma lista ordenada de pares de coordenadas que tem início e fim na mesma posição, formando assim um ciclo fechado. As coordenadas para a entidade área são: (6, 10); (8, 10); (10, 3); (7, 6); (5, 7) e novamente (6, 10). Neste exemplo, as coordenadas estão representadas em unidades arbitrárias. No caso dos SIG, as

posições são habitualmente armazenadas segundo um sistema standard de coordenadas geográficas, como por exemplo, Universal Transverse Mercator (UTM) ou Latitude/Longitude.

Existem vários modelos de dados que, partindo dos princípios que fundamentam o modelo vectorial, permitem organizar as coordenadas dos pontos, linhas e polígonos de forma a poderem ser convenientemente armazenadas. As subsecções seguintes apresentam alguns desses modelos. Para uma descrição mais detalhada consulte-se, por exemplo, [Aro91] [Bur86] [Peu90].

Modelo Cartográfico

Este modelo consiste na tradução directa das entidades mapa para uma lista de coordenadas do tipo (x, y) (Fig. 4.7). Um ponto é codificado por um único par de coordenadas e uma linha por uma série de pares de coordenadas. Uma área é representada por um polígono e registada segundo um conjunto de pares de coordenadas que definem a sua fronteira. A fronteira entre polígonos adjacentes tem de ser registada duas vezes, uma para cada polígono. Como se pode notar, o ficheiro de dados resultante é essencialmente uma colecção de conjuntos de coordenadas sem qualquer estrutura associada - daí que muitas vezes este modelo seja designado por modelo esparguete.

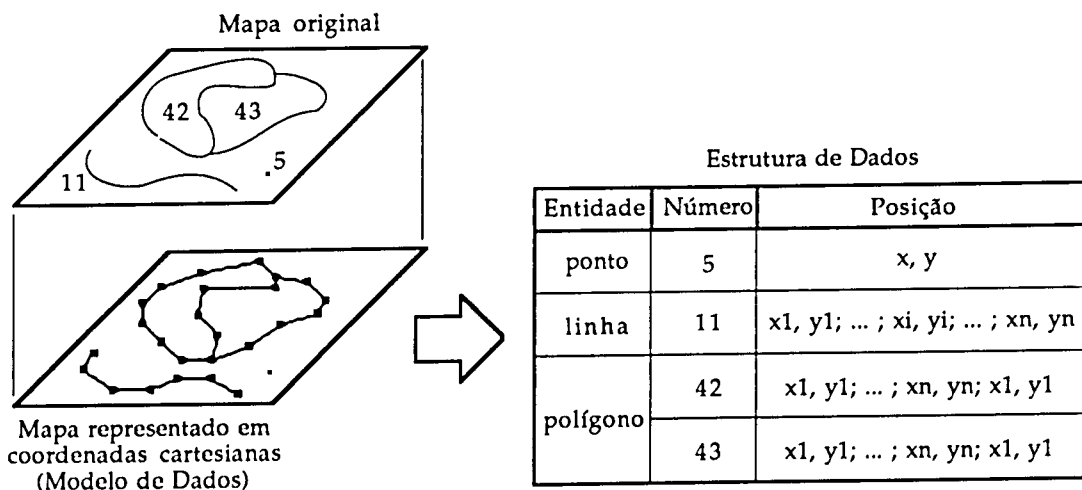


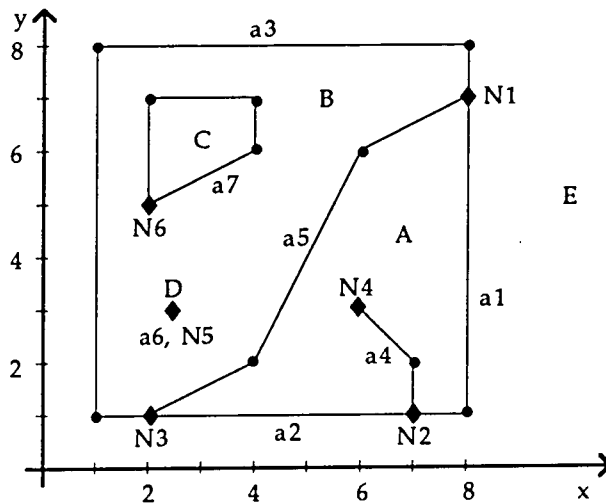
Fig. 4.7 - Modelo de dados cartográfico

A estrutura deste modelo é muito simples e de fácil compreensão. O modelo é na realidade a tradução de um mapa para coordenadas cartesianas. O ficheiro de dados, composto pelas coordenadas (x, y) , é efectivamente a estrutura de dados, segunda a qual os dados espaciais são computacionalmente armazenados.

Embora todas as entidades espaciais sejam registadas, as relações espaciais existentes entre elas não são codificadas. Por exemplo, não é guardada qualquer tipo de informação acerca das entidades adjacentes a cada polígono. Por esta razão, este modelo torna-se bastante ineficiente, para a maior parte das análises espaciais, uma vez que qualquer relação espacial tem de ser sempre deduzida a partir da informação das coordenadas. No entanto, este modelo revela-se eficiente quando se pretende reproduzir mapas já que não possui informação estranha (relações espaciais, por exemplo) ao processo de impressão.

Modelo Topológico

O modelo topológico é um método utilizado para codificar as relações espaciais e é amplamente usado nos actuais SIG.



Topologia Polígono		Topologia Nó		Topologia Arco				
polígono #	arcos	nó #	arcos	arco #	nó inicial	nó final	polígono esquerdo	polígono direito
A	a1, a2, a5	N1	a1, a3, a5	a1	N1	N2	E	A
B	a3, a5, 0, a6, 0, a7	N2	a1, a2, a4	a2	N2	N3	E	A
C	a7	N3	a2, a3, a5	a3	N3	N1	E	B
D	a6	N4	a4	a4	N2	N4	A	A
E	área exterior	N5	a6	a5	N3	N1	B	A
		N6	a7	a6	N5	N5	B	B
				a7	N6	N6	B	C

Coordenadas dos Arcos			
arco #	início x, y	intermédios x, y	fim x, y
a1	8, 7	8, 1	7, 1
a2	7, 1		2, 1
a3	2, 1	1, 1; 1, 8; 8, 8	8, 7
a4	7, 1	7, 2	6, 3
a5	2, 1	4, 2; 6, 6	8, 7
a6	3, 3		3, 3
a7	2, 5	2, 7; 4, 7; 4, 6	2, 5

Fig. 4.8 - Modelo topológico

A topologia é um método matemático que permite definir explicitamente as relações espaciais. A Fig. 4.8 mostra um mapa e as respectivas tabelas de dados que constituem a topologia.

A entidade lógica elementar é o arco com início e fim num nó e composto por uma série de pontos. Um nó é um ponto de interseção de dois ou mais arcos ou então pontos terminais dos arcos. Nós isolados, que não estejam ligados a qualquer arco, são entendidos como pontos. Um polígono é constituído por uma série de arcos que representam a sua fronteira.

Na Fig. 4.8, a topologia é registada em três tabelas de dados, uma para cada tipo de entidade espacial, e os dados de coordenadas são armazenados numa quarta tabela. Num SIG, os pontos e os polígonos são muitas vezes guardados num determinado nível de dados e as linhas são armazenadas num nível diferente. Se assim for, passa a existir um conjunto de topologia e de coordenadas para cada um dos níveis. No caso ilustrado na Fig. 4.8, os pontos, linhas e polígonos existem todos no mesmo nível de informação.

A Tabela de Topologia Polígono codifica todos os arcos que pertencem à fronteira de cada polígono. Por exemplo, o polígono A tem como fronteira os arcos a1, a2 e a5 (por convenção, os arcos que formam um polígono são enumerados no sentido dos ponteiros do relógio). Os polígonos podem conter no seu interior outros polígonos (designados por ilhas), como é o caso do polígono C em relação ao polígono B. Para assinalar este facto na lista dos arcos do polígono B, a lista dos arcos que constituem a ilha é precedida do número zero. Neste caso, o polígono C é constituído somente por um arco (a7). O ponto D, interior ao polígono B, também é tratado como se fosse um polígono, polígono D, constituído apenas pelo arco a6. Um ponto pode ser considerado um polígono sem área. Neste exemplo, ele é tratado como um nó isolado e como um arco comprimido num simples ponto. Note-se que estes pormenores de tratamento variam nos diferentes softwares SIG. De modo a completar as definições espaciais é necessário referir a área exterior aos limites do mapa. Esta área exterior, designada pelo polígono E e pelos os arcos que o compõem, não é explicitamente definida.

Na Tabela de Topologia Nó, cada nó é definido pelos arcos a que pertence. Por exemplo, o nó N1 é um nó terminal para os arcos a1, a3 e a5. O nó N5 é um ponto singular, definido pelo arco a6 e também como polígono D.

A Tabela de Topologia Arco define a relação entre os arcos e os nós e os polígonos. Os pontos terminais distinguem-se pela designação de um nó "início" (*start-node* ou *from-node*) e, por consequência, de um nó "fim" (*end-node* ou *to-node*). Por exemplo, o arco a5 tem início no nó N3 e fim no nó N1. Esta descrição apresenta implicitamente um sentido ao arco

a5 e desta forma, percorrendo este arco de N3 para N1, surge à esquerda o polígono B e à direita o polígono A.

A análise da posição relativa, existente entre as entidades mapa, pode ser feita tendo por base somente a topologia, isto é, as três tabelas de topologia. Por exemplo, para detectar quais os polígonos adjacentes ao polígono B basta consultar a Tabela de Topologia Arco. Qualquer polígono emparelhado nesta tabela com B é-lhe adjacente porque existe a partilha de um arco. Por exemplo, os polígonos A e B estão emparelhados na linha correspondente ao arco a5 e assim o polígono A e B são adjacentes.

As tabelas de topologia podem também ser usadas na determinação das entidades que são interiores a determinado polígono, procurando na Tabela de Topologia Polígono a lista dos arcos que contêm um zero. Posteriormente, os arcos que aparecem a seguir ao zero podem ser totalmente definidos usando a Tabela de Topologia Arco. Como se pode observar pela Tabela de Topologia Polígono, o polígono B tem no seu interior duas entidades, uma definida pelo arco a6 e a outra pelo arco a7. A partir das Tabelas de Topologia Arco e Nó pode ver-se que a6 é um ponto singular (tem somente um nó e possui o mesmo polígono direito e esquerdo) e a7 constitui um polígono ilha (tem somente um nó mas possui polígonos direito e esquerdo diferentes).

As interrogações espaciais, como as do género anterior, são processadas de forma mais eficiente através de tabelas de topologia do que calculando a partir das coordenadas espaciais (como no caso do modelo cartográfico).

Para relacionar as entidades mapa com as posições efectivas no mundo real, é necessário usar as coordenadas (x, y). Em termos de modelo topológico as coordenadas são armazenadas na Tabela de Coordenadas dos Arcos. Cada arco é representado por um ou mais segmentos de recta definidos por uma série de coordenadas. Quanto mais complexa for a forma do arco mais segmentos de recta são necessários para o descrever correctamente. O arco a1 é representado pelos seus dois pontos terminais e apenas por um ponto intermédio (dando origem a dois segmentos de recta). Para representar o arco a7 já são precisos três pontos intermédios. As coordenadas dos nós podem ser obtidas a partir desta tabela e usando a Tabela de Topologia Arco para identificar os nós início e fim.

Um modelo topologicamente estruturado permite realizar eficientemente diversas operações espaciais, tais como, análises de contiguidade e conectividade (a contiguidade é uma relação espacial de adjacência, isto é, elementos que se tocam são adjacentes e a conectividade refere-se à interconectividade de caminhos ou redes que distribuem determinado recurso). No entanto, a criação da estrutura topológica impõe um custo. Sempre que se cria um novo

mapa ou se efectua qualquer alteração, a topologia tem de ser obrigatoriamente actualizada. Este processo consome bastante tempo (pode ir desde alguns minutos a uma ou duas horas), depende do tamanho do mapa, da eficiência do software e da velocidade do hardware.

Alguns sistemas SIG deixam ao critério dos utilizadores o momento da actualização topológica, mas a tendência vai no sentido de esta tarefa ser executada automaticamente usando estratégias adequadas, por exemplo, guardando todas as alterações feitas numa sessão de edição e efectuar a actualização topológica em modo *batch* (processo que pode ser executado sem a necessidade de qualquer tipo de interacção com o utilizador).

Actualmente, pode afirmar-se que todos os SIG comerciais do tipo vectorial utilizam o modelo de dados topológico.

Modelo Georelacional

O ponto de partida da abordagem seguida por este modelo é que os mecanismos de armazenamento que são óptimos para a informação espacial não o são para a informação descritiva. Nesta sentido, os dados de coordenadas e de topologia são armazenados num conjunto de ficheiros de acesso directo ao sistema operativo enquanto que os atributos são armazenados tradicionalmente num SGBD Relacional [3.3 e 3.4.1 - Modelo Relacional], tipo ORACLE, INFORMIX, SYBASE (Fig. 4.9).

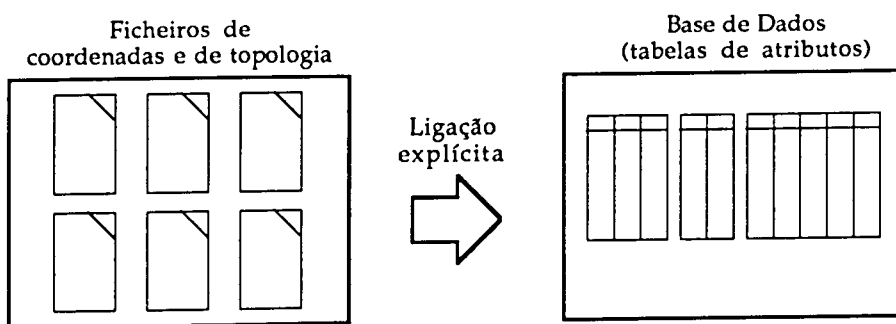


Fig. 4.9 - Esquema genérico do modelo georelacional

Este tipo de abordagem permite abstrair a informação geográfica numa série de níveis independentes, cada um representando um conjunto seleccionado de entidades geográficas que revelam grande afinidade entre si (por exemplo, estradas, rios, reservas florestais).

A generalidade dos Sistemas de Informação Geográfica incorporam um SGBD Relacional (ou então disponibilizam funcionalidades que permitem estabelecer ligações a bases de dados relacionais) que dá suporte a um conjunto de tabelas que, por defeito e para cada nível de informação, possuem um conjunto de atributos base. Por exemplo, um nível que

contenha informação acerca das estradas (representadas graficamente por um conjunto de arcos) tem associado uma tabela que possui pelo menos dois atributos base: um identificador único para cada arco e o comprimento de cada arco. No caso dos polígonos existe, para além do identificador, pelo menos os atributos Área e Perímetro (Fig. 4.10).

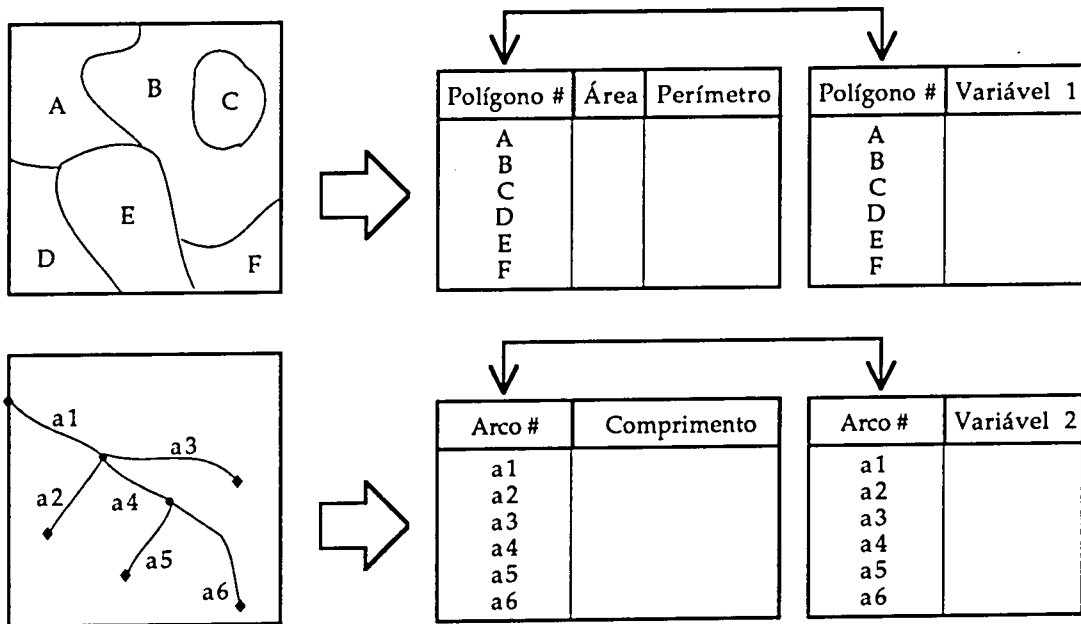


Fig. 4.10 - Níveis de informação e tabelas chave

Este conjunto de tabelas funcionam como tabelas chave de ligação com as restantes tabelas de atributos que possam existir na base de dados relacional.

Os SIG que são simultaneamente topológicos e georelacionais têm um mecanismo interno de identificação das entidades gráficas comum aos dois modelos, retirando desta forma evidentes vantagens.

Rede de Triângulos Irregulares (TIN)

O modelo Rede de Triângulos Irregulares (Triangulated Irregular Network) é um modelo de dados vectorial e topológico usado para representar superfícies de terreno a partir de um conjunto de pontos irregularmente espaçados.

O RTI representa a superfície terrestre através de um conjunto interligado de facetas triangulares. Um RTI, tal como o apresentado na Fig. 4.11, é uma estrutura de dados de dimensão 2 1/2D, isto é, representa superfícies que possuam para cada par de coordenadas (x, y) somente um valor de z (ou altitude) [Tel92].

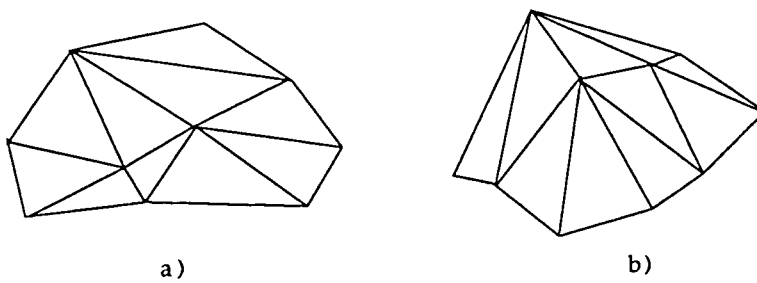


Fig. 4.11 - Exemplo de um RTI. a) no plano xy. b) perspectiva 3D

Neste modelo codificam-se os valores das coordenadas (x, y) dos vértices de cada triângulo (localização geográfica) e o respectivo valor da coordenada z (altitude). Na Fig. 4.12 está representado um exemplo da estrutura topológica RTI. Cada triângulo, identificado por uma letra, é definido por três nós. As coordenadas e a topologia do RTI são armazenadas num conjunto de tabelas. A Tabela Arestas contém, para cada triângulo, uma lista dos triângulos que lhe são adjacentes. Os triângulos que se encontram no limites do RTI possuem somente dois triângulos adjacentes. A Tabela de Coordenadas dos Nós e a Tabela de Coordenadas Z armazenam, para todos os nós, os valores das respectivas coordenadas.

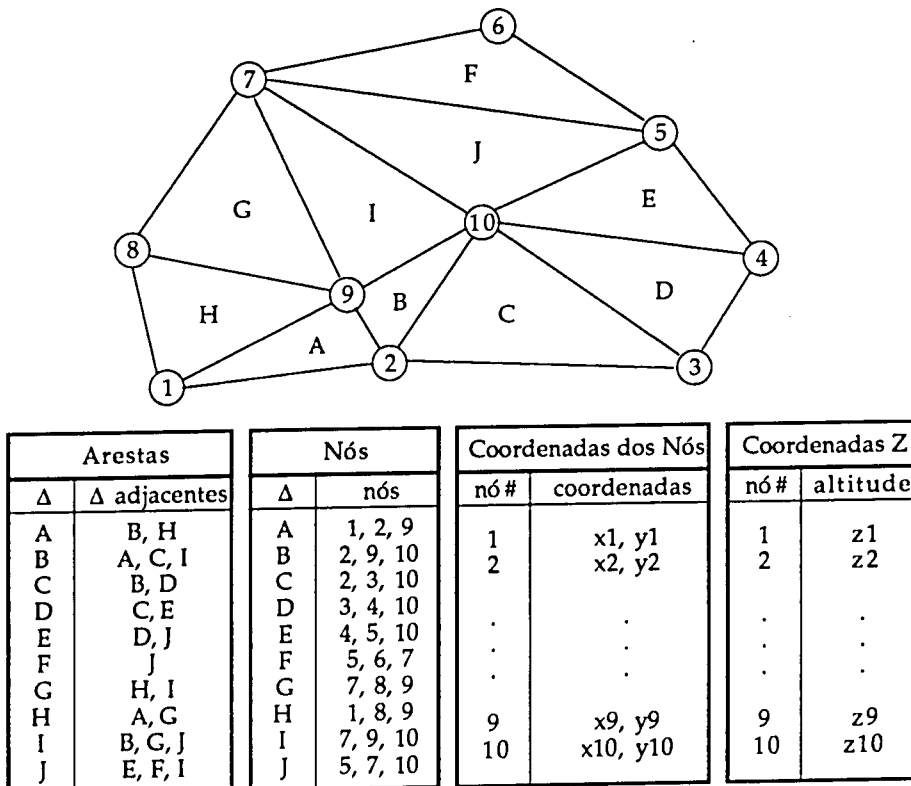


Fig. 4.12 - Estrutura topológica de RTI

Em resumo, a estrutura topológica do RTI regista:

- a identificação de cada triângulo;

- as identificações dos triângulos adjacente;
- os três nós que definem cada triângulo;
- as coordenadas (x, y) para cada nó;
- o valor de altitude (z) para cada nó.

Os vários algoritmos RTI existentes utilizam estratégias distintas para produzir a rede de triângulos, dando origem a soluções ligeiramente diferentes. Um dos melhores esquemas para triangularizar um conjunto de pontos irregulares é a triangulação de Delaunay [Tel92]. A triangulação bidimensional de Delaunay baseia-se no seguinte critério: três nós podem ser interligados para formar um triângulo se uma circunferência que passa por esses três nós não abranger qualquer outro nó (Fig. 4.13).

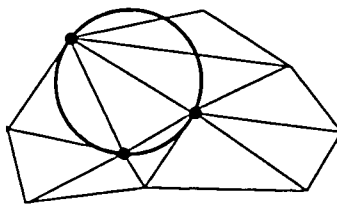


Fig. 4.13 - Triangulação de Delaunay

A triangulação de Delaunay tem várias vantagens em relação a outros métodos [ESR91o] [Tel92]:

- satisfaz o princípio da equiangularidade local (maximização do menor ângulo interior do triângulo formado) de modo a reduzir os problemas de precisão numérica causados por triângulos estreitos e longos;
- assegura que qualquer ponto da superfície é transformado, sempre que possível, num nó;
- qualquer triangulação é única (ou repetível), excepto nas "degenerações", isto é, quando a circunferência passa por quatro nós forma-se um quadrilátero e assim surgem duas triangulações diferentes, de acordo com a diagonal seleccionada;
- a triangulação é independente da ordem pela qual os pontos são processados.

4.4 Considerações Finais

Os modelos *raster* e *vectorial* são abordagens diferentes que devem ser consideradas no processo de modelação da informação geográfica. Cada modelo possui as suas reais potencialidade e limitações e não são, de forma alguma, mutuamente exclusivos. Isto é confirmado por alguns dos mais sofisticados sistemas SIG, que incluem os dois modelos e todas as funcionalidades que permitem converter dados de um modelo para outro. Mesmo os SIG que são por natureza *vectoriais*, incluem simultaneamente vários dos modelos descritos anteriormente. Por exemplo, os sistemas ARC/INFO (ESRI) e MGE (INTERGRAPH) são SIG *vectoriais*, *topológicos* e *georelacionais*, e incluem módulos e funcionalidades para o tratamento de superfícies, segundo o método RTI, e para o processamento de dados *raster*.

A opção, por qualquer um dos dois modelos fundamentais, depende dos objectivos que se pretendem alcançar e, conseqüentemente, do tipo de dados que vierem a ser utilizados.

Capítulo 5

Energias Renováveis

Considerações Iniciais

Energia Solar

Energia Eólica

Energia Hídrica

Domínios de Intervenção SIG

Considerações Finais

5.1 Considerações Iniciais

O termo Energias Renováveis (ER) é habitualmente usado para referenciar um conjunto bastante diversificado de recursos energéticos, com seja, a energia solar, a energia eólica, a energia hídrica (pequenos aproveitamentos hidroelétricos), a biomassa, a energia das marés, a energia das ondas, a energia térmica dos oceanos, a energia geotérmica das rochas secas ou a produção de hidrogénio a partir da água. Todas elas têm como positivo o facto de poderem representar um importante recurso local em regiões específicas, poderem contribuir para o equilíbrio dos abastecimentos energéticos e terem, desde que a sua gestão seja correcta, impactes ambientais reduzidos ou até de sinal positivo. No entanto, têm a característica comum de serem fontes de energia dispersa com irregularidade de abastecimento [MIE90].

A Fig. 5.1 apresenta, de forma esquemática, o balanço energético global para as diversas fontes de energia.

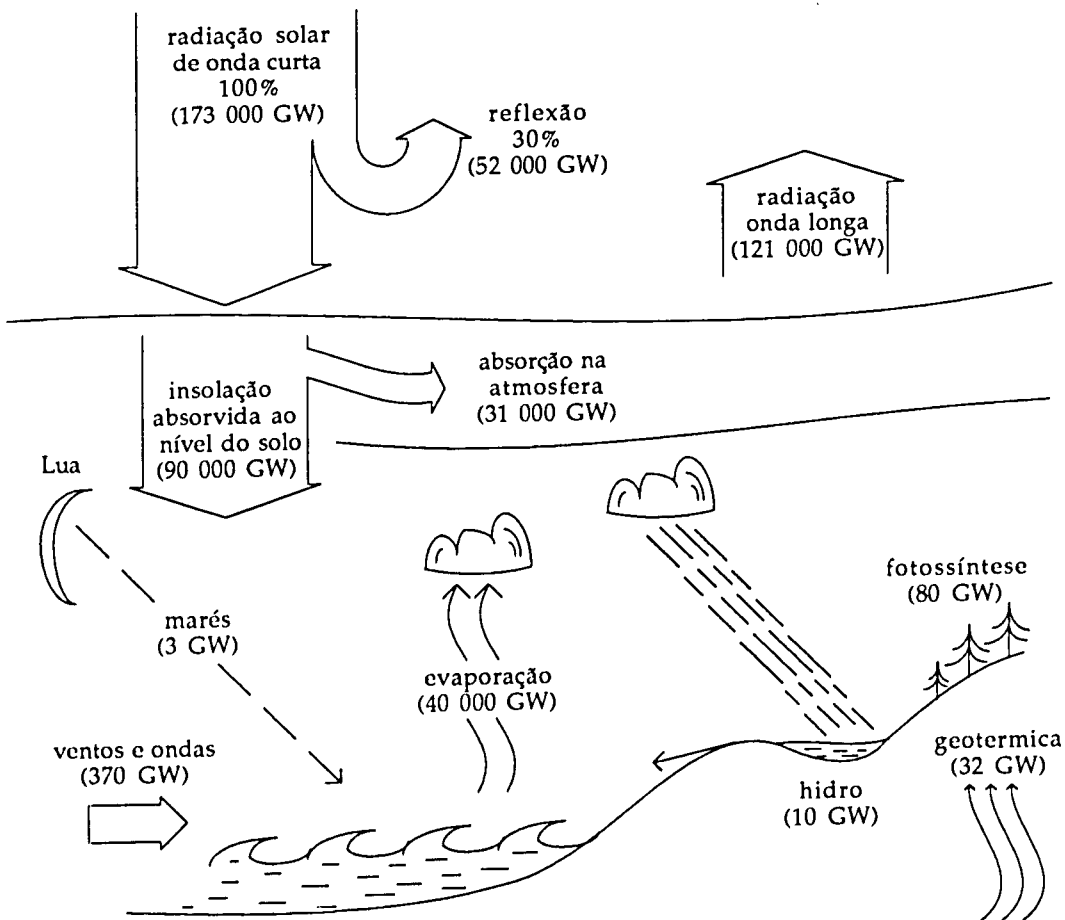


Fig. 5.1 - Balanço energético global [Dun86]

Neste capítulo pretende-se abordar alguns aspectos relacionados com três tipos específicos de energias renováveis: energia solar, energia eólica e a energia hídrica. A abordagem a fazer-se incide fundamentalmente sobre os conceitos básicos de cada uma das ER referidas e sobre aspectos de cariz geográfico, que se colocam na avaliação dos potenciais energéticos regionais ou nos condicionantes ao nível local.

A exposição feita neste capítulo tem subjacente o aproveitamento das energias renováveis para a produção directa de electricidade, embora muitas dessas considerações sejam independentes do tipo de aplicação. Não são objecto de tratamento os aspectos relacionados com os equipamentos de conversão, o projecto e dimensionamento técnico das instalações ou as aplicações existentes, possíveis ou prováveis. Para uma descrição mais detalhada consulte-se, por exemplo, [Dun86] [Fre90] [McV83] [Mon84].

5.2 Energia Solar

Para conhecer correctamente a radiação solar, nos seus diversos aspectos, é necessário determinar, nomeadamente, a energia total que a terra recebe do sol no exterior da atmosfera (este dado, designado por constante solar e de valor igual a 1.373 kW/m^2 , é independente do lugar e das condições meteorológicas), a repartição espectral da radiação em função do comprimento de onda, e, finalmente, a absorção atmosférica que evidentemente depende do local de observação [McV83].

No entanto, para o aproveitamento da energia solar importa conhecer e quantificar a energia solar recebida no solo. Dessa forma pode-se medir a energia recebida por uma superfície exposta perpendicularmente à radiação solar, a energia recebida por uma superfície horizontal e as durações da insolação.

Sabe-se que a energia solar recebida no solo é função do seu ângulo de incidência, dependendo este da latitude e da longitude do lugar, data (mês, dia, hora) e dos obstáculos orográficos e de coberto vegetal susceptíveis de produzirem sombra.

Conforme as aplicações, tem interesse conhecer ou a intensidade da radiação, ou a sua frequência ou mesmo as duas. Numa determinada região, a radiação pode ser muito intensa mas rara, noutra pode ser quase contínua, mas razoavelmente absorvida. Assim, as medições solarimétricas têm por finalidade o levantamento de cartas que mostram a intensidade e a frequência da radiação solar.

Refira-se que o Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica (INMG) publica documentos climatológicos que permitem conhecer, com um bom grau de fiabilidade, a energia da

radiação solar anual disponível em média em Portugal. Esta energia varia entre 1550 kWh/m² no Minho e 1850 kWh/m² no Algarve [MIE90].

Por outro lado, a Direcção Geral do Ambiente (DGA) publica um Atlas do Ambiente em formato digital, com 30 níveis de informação, de que se destaca a carta dos valores médios anuais de insolação (em horas) e da radiação solar (em Kcal/cm²), para uma escala 1:1.000.000 de dimensão nacional [Fon93].

O dimensionamento correcto de muitos tipos de sistemas que empregam a energia solar requiere dados detalhados sobre a radiação solar no local da instalação. Contudo, observações de sequências de dados de radiação horária, ou até diária, em planos inclinados e com algum significado estatístico são quase inexistentes.

Mesmo os dados provenientes das estações meteorológicas tornam-se, muitas vezes, inadequados devido ao facto de a rede de estações se encontrar bastante afastada do local da instalação. Justifica-se assim a utilização de modelos de radiação com capacidade para gerarem sequências sintéticas de valores de radiação com o mesmo significado estatístico de sequências observadas [Agu88].

5.3 Energia Eólica

A energia eólica, ou dos ventos, tem origem em movimentos atmosféricos pluridireccionais. Existem duas razões principais que justificam a existência destes movimentos atmosféricos: a primeira tem a ver com o facto de as regiões equatoriais receberem mais energia solar do que as regiões polares (a quantidade de energia solar recebida varia com a latitude) e, em segundo lugar, devido à rotação da terra [Dun86]. Os meteorologistas estimam que cerca de 1% da radiação solar recebida é convertida em energia eólica.

Quanto ao valor do recurso natural disponível, ao contrário da radiação solar, cujo valor local se pode obter por comparação com os dados registados numa rede de estações, o valor da densidade de energia eólica depende de factores locais que inviabilizam a interpolação directa entre os locais onde se situam as instalações de medida.

A título indicativo, apresentam-se na tabela 5.1 valores de densidades médias anuais de potência eólica nos locais de algumas das estações da rede meteorológica do INMG, calculadas para as alturas de 10 e 30 metros, respectivamente [MIE90].

Local da Estação	Altura	
	10 metros	30 metros
Beja	85	169
Bragança	58	110
C. Carvoeiro	148	277
Coimbra	31	65
Évora	59	119
Faro	89	173
Lisboa	73	145
P. Douradas	222	374
Portalegre	64	129
Porto	69	139
Sagres	236	420
Sines	139	260
V. Castelo	34	70
Vila Real	9	21

Tab. 5.1 - Densidades anuais médias de potência eólica para as alturas de 10 e 30 metros (W/m²)

A distribuição anual estatística da energia eólica pode ser razoavelmente bem conhecida, mas torna-se bastante complicada a análise e determinação da quantidade de energia disponível num determinado local. O seu valor depende, por exemplo, das características orográficas, da altura em observação e dos ciclos climáticos. As generalizações devem ser tratadas com cautela visto que as variações locais dos ventos são muitas vezes de extrema importância na decisão da viabilidade técnica e económica de determinado aproveitamento.

Potência Produzida por um Aerogerador

Para a determinação da energia produtível por um qualquer aerogerador colocado em determinado local é necessário conhecer a curva característica de funcionamento do aerogerador, bem como os parâmetros da distribuição de velocidade do vento para o respectivo local da instalação.

A energia cinética associada ao movimento das correntes de ar, por unidade de massa, é dada por $\frac{1}{2} V^2$ e a taxa de fluxo de massa através de uma secção transversal de área A é dada por ρAV .

A potência produzida por um aerogerador é função do produto destes dois termos:

$$P = \frac{1}{2} C_p \rho A V^3$$

sendo P a potência produzida (watt), ρ a densidade do ar (cerca de 1.23 kg/m^3), A a área útil abrangida pelas pás do aerogerador (m^2) e igual a $(\pi \frac{D^2}{4})$ para os aerogeradores de eixo horizontal e de diâmetro D , e V a velocidade do vento (m/s). O coeficiente de potência C_p pode ser calculado usando modelos aerodinâmicos apropriados, mas de forma aproximada pode dizer-se que para aerogeradores médios e grandes (isto é, com diâmetro acima dos 20 m) o valor de C_p é de cerca de 0.4. Para os aerogeradores pequenos o valor de C_p é insignificante [Fre90].

Dada uma distribuição representativa da velocidade do vento ao longo de um ano, pode afirmar-se que os aerogeradores mais modernos fornecem uma potência média anual dada por:

$$\bar{P} \approx 0.25 \bar{V}^3 A$$

sendo $\bar{V}$ a velocidade média anual do vento. Por exemplo, com $\bar{V} = 6 \text{ m/s}$, a densidade anual média de potência eólica é de 54 W/m^2 .

Note-se que, a potência produzida é proporcional à terceira potência do valor da velocidade do vento, daí que a escolha do local da instalação do aerogerador seja um factor da máxima importância.

Estrutura e Estatísticas do Vento

A fonte de energia eólica é o vento, por conseguinte, o conhecimento e compreensão das suas propriedades, estrutura, estatísticas e potencial são o ponto de partida para a sua exploração. A apresentação que se segue é bastante resumida e há uma total ausência de equações e formalismo matemático, uma vez que vai para além dos objectivos pretendidos. Para uma descrição detalhada acerca destes aspectos consultar, por exemplo, [Fre90].

Os ventos, no sentido macro-meteorológico, são movimentos de massas de ar que se verificam na atmosfera. Uma vez que a energia recebida do sol, por unidade de área de superfície, depende da latitude geográfica, aparecem diferenças de temperatura na atmosfera e, consequentemente, gradientes de pressão que, associados ao movimento de rotação da terra, originam movimentos de massas de ar, geralmente conhecidos por gradientes de vento.

O comportamento e a estrutura do vento varia com o local e depende em geral do clima da região, da geografia física da localidade, da superfície do terreno envolvente e de vários outros factores. A monitorização e o registo de valores de velocidades do vento, em condições diferenciadas e em regiões próximas do solo, mostram que a velocidade do vento aumenta com a altura e que nessas regiões existem flutuações na velocidade do vento, isto é, turbulência.

Como facilmente se compreende, a rugosidade existente à superfície da terra é uma resistência ao vento e assim, provoca uma diminuição da sua velocidade (Fig. 5.2).

O nível superfície, que por definição se estende desde o terreno até uma altura de aproximadamente 100 m, é o nível mais afectado. Este efeito de redução propaga-se aos níveis superiores até que se anula para uma altura de tipicamente 2000 m. A partir daqui a velocidade do vento passa a depender somente de campos de pressão superiores e da latitude.

Em conclusão, pode dizer-se que a rugosidade faz com que a velocidade do vento varie em função da altura até um nível de aproximadamente 2000 m.

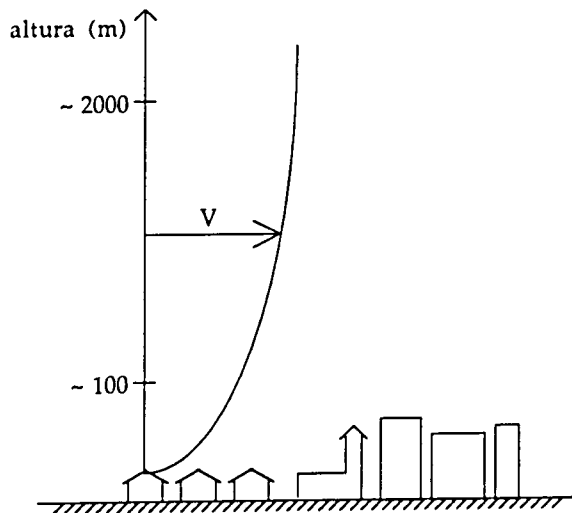


Fig. 5.2 - Influência da rugosidade do terreno na velocidade do vento

Um outro factor de grande relevância para a energia eólica tem a ver com os efeitos provocados pelo relevo do terreno. Os aerogeradores são habitualmente posicionados no topo de colinas para retirarem a máxima vantagem dos fortes ventos que geralmente aí existem.

As alterações no comportamento dos ventos, provocado pela variação da altitude, podem ser claramente demonstradas recorrendo a técnicas de monitorização em locais adequados e posterior análise dos dados recolhidos. De análises já efectuadas conclui-se que o relevo

exerce uma profunda influência sobre a velocidade dos ventos provocando um aumento que poderá ser significativo em termos de viabilidade de uma determinada instalação. A Fig. 5.3 ilustra o comportamento da velocidade do vento em terreno plano e numa colina. As setas traduzem graficamente a intensidade do vento.

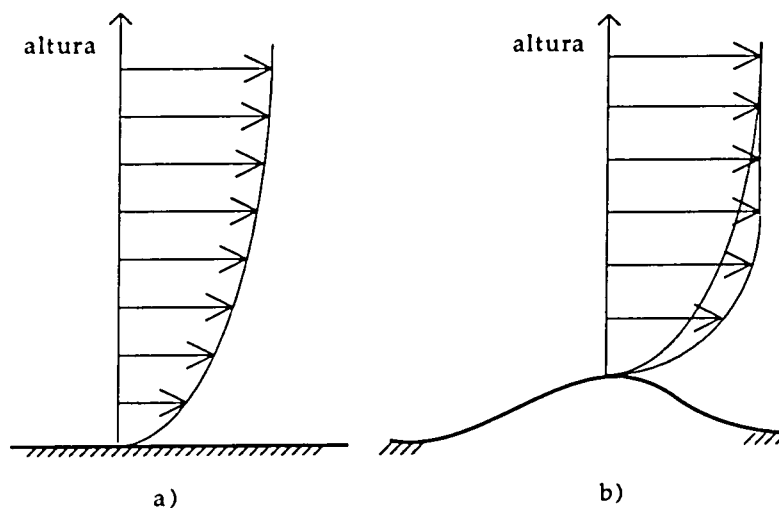


Fig. 5.3 - Influência do relevo na velocidade do vento. a) terreno plano. b) colina

Para a realização de estudos prévios de viabilidade técnica e económica de instalação de determinado aerogerador necessita-se de conhecer previamente a velocidade média do vento para o local da instalação (supondo, por exemplo, uma colina). Se nesse local existirem estações meteorológicas podem-se usar as suas séries de registos. No entanto, esses dados são normalmente obtidos para uma altura de 10 m e provavelmente a estação mais próxima está localizada a alguma distância do local pretendido. Assim, torna-se necessário extrapolar e corrigir as estatísticas dos ventos do local da estação meteorológica para a colina e da altura de 10 m para a altura do aerogerador. Existem vários métodos e modelos que permitem realizar tal tarefa, embora com algumas limitações.

Determinação da Velocidade Média do Vento

Um dos dados considerado essencial à identificação do local da instalação de um aerogerador é o potencial eólico disponível e, por consequência, a velocidade média do vento para determinada altura.

Por vezes não é praticável a instalação de anemómetros e na maior parte dos casos não existem sequências de dados com significado estatístico que permitam determinar a velocidade média do vento. Assim, a alternativa passa pela utilização de modelos numéricos que possibilitem a obtenção de uma estimativa para a velocidade média do vento.

Os modelos que têm sido usados, muitos deles concebidos para outros fins, requerem conhecimentos profundos de modelação numérica, grandes recursos computacionais e conjuntos enormes de dados de entrada. Recentemente têm surgido alguns modelos que combinam os baixos recursos computacionais necessários com a facilidade de utilização, tanto na entrada de dados como na apresentação dos resultados.

Existem vários trabalhos publicados (por exemplo, [Lal88] [Bar88]) que comparam o desempenho e o grau de fiabilidade de vários destes modelos, nomeadamente, WASP, NOABL, MS-MICRO, GUIDELINES e MS3DJH-3R.

Identificação do Local da Instalação

A potência produzida por um aerogerador é proporcional à terceira potência do valor da velocidade do vento [5.3 - Potência Produzida por um Aerogerador]. Assim, o local da instalação de um aerogerador é de crucial importância e pode ser um factor determinante na viabilidade económica do projecto.

Nesta subsecção pretende-se descrever uma metodologia tradicionalmente utilizada para decidir a instalação, ou não, de aerogeradores e em caso afirmativo em que local tal se deve verificar.

A colocação de um aerogerador pode ser considerada como um processo de procura sistemática, tradicionalmente dividido nas seguintes fases [Fre90]:

- a. definição das linhas de orientação: região a observar, características dos aerogeradores (por exemplo, altura do eixo, curva de potência, tempo de vida útil, etc), parâmetros económicos (por exemplo, taxa de amortização, etc);
- b. determinação das áreas candidatas. Este processo de selecção tem em consideração os dados meteorológicos regionais, a proximidade de acesso por estrada, a proximidade de áreas interditas (por exemplo, zonas militares e de aeroportos, reservas naturais, zonas habitacionais, características orográficas), a localização da rede de transporte/distribuição de electricidade (para determinar o ponto de interligação), etc;
- c. selecção das áreas candidatas à colocação de aerogeradores. A concretização deste ponto envolve:
 - procura de bibliografia para determinar a existência de estudos prévios e de atlas de ventos para a região de interesse;

- recolha e utilização de dados provenientes da rede de estações meteorológicas e de outras fontes, nomeadamente, organismos florestais, institutos e universidades, aeroportos, etc. Note-se que, caso existam estes dados, eles não foram recolhidos com o objectivo específico de apoiar a exploração de aerogeradores;
 - utilização de mapas de isoventos, mas com os devidos cuidados. Os isoventos (linhas que associam pontos que possuem igual velocidade do vento) dão uma indicação clara da variação regional da velocidade do vento. Todavia, estes mapas baseiam-se nos dados medidos e registados nas diversas estações disponíveis e enquanto que é possível fazer correcções para normalizar a altura das estações acima do solo e nivelar pela mesma altitude, já é extremamente difícil eliminar o efeito provocado pelas diferentes orientações dos anemómetros. Consequentemente, não é válido assumir que a velocidade indicada para um isovento seja a mesma para todos os pontos que lhe pertencem. Da mesma forma, é pouco correcto efectuar a interpolação entre linhas;
 - utilização de outro tipo de mapas, caso existam. Por exemplo, mapas de energia eólica disponível, mapas de densidades anuais de potência eólica e mapas de percentagens anuais de ausência de vento. A utilização destes mapas deve estar sujeita aos mesmos cuidados que os mapas de isoventos;
 - considerar a utilização de radar, de dados de detecção remota e de dados dos ventos acima da atmosfera;
 - utilização de modelos computacionais, como por exemplo WASP e NOABL, para ajudar a conhecer a velocidade média do vento a nível regional. Atenção às limitações que estes modelos podem possuir e às condições de aplicabilidade [Tro89] [Cas92];
 - considerar as variações dos ventos provocadas pela orografia local, especialmente os vales e montanhas.
- d. estimar custos de desenvolvimento e, provavelmente, o potencial de energia eólica para cada local candidato. Levar em consideração os seguintes factores:
- económicos - distância às linhas de transporte/distribuição, isto é, ao ponto de interligação;

- ambientais - impacto visual do aerogerador, corredores migratórios e hábitos das aves, implicações do ruído, interferências electromagnéticas e impacto do aerogerador no micro-clima;
 - institucionais - regras de uso de solos, considerações de segurança (por exemplo, proximidade de habitações, zonas de passeio, estradas, etc), regras de controlo de tráfego aéreo;
 - riscos meteorológicos - baixas temperaturas, ventos fortes, turbulência;
 - acessibilidade pública;
 - aerogerador - custo, instabilidade provocada na rede de transporte/distribuição como elemento produtor de electricidade, segurança, altura e eficiência.
- e. refinar a lista dos locais candidatos;
- f. determinar a forma de avaliação do regime de ventos para os locais candidatos. Se o terreno for plano e uniforme então é possível extrapolar a informação proveniente da estação meteorológica mais próxima. Caso não exista nenhuma estação próxima ou o terreno seja acidentado é necessário concretizar um programa adequado de medição ou alternativamente construir um modelo físico do local de interesse e proceder a medições num tunel de ventos. Os dados a obter para cada local candidato incluem velocidade média, distribuição da frequência, altura, intensidade da turbulência, rosa dos ventos, valores extremos e informação acerca de abrigos topográficos ou características específicas dos ventos (por exemplo, padrão diurno bastante acentuado).

5.4 Energia Hídrica

A energia hídrica é uma forma de energia que deriva primariamente da energia solar (Fig 5.1) e que pode ser facilmente convertida em electricidade com eficiência superior a 70% [Mon84]. Embora se trate de uma forma de energia não poluente, a instalação de uma estrutura de aproveitamento desta fonte de energia está sujeita à verificação e satisfação de um leque diversificado de condições, inclusivé ambientais.

No grupo das energias renováveis incluem-se somente os pequenos aproveitamentos hidroeléctricos. Na maior parte dos casos, a central hidroeléctrica está situada directamente sobre um curso de água e não exerce qualquer tipo de controlo de albufeira (centrais a fio de água). Consideram-se, por convenção e para esta análise, pequenas centrais hidroeléctricas (mini-hídricas) as instalações de potência igual ou inferior a 10 MW. Por vezes, quando a

potência instalada desce abaixo dos 5 MW é habitual designar-se as centrais por micro-hídricas. Refira-se, no entanto, que esta convenção não é rígida e pode variar de país para país.

Potência e Energia Hidroeléctrica

A potência hidroeléctrica naturalmente disponível num determinado local é definida por:

$$P = g \rho Q H$$

sendo P a potência hidroeléctrica (W), g a aceleração da gravidade e igual a 9.81 m/s^2 , ρ é a densidade da água e igual a 1000 kg/m^3 , Q é o caudal ou descarga (m^3/s) e H é a altura da queda de água (m).

Substituindo na expressão anterior as constantes referidas, obtem-se, com P em kW:

$$P = 9.81 Q H$$

A correspondente energia hidroeléctrica pode ser escrita da seguinte forma:

$$E = P t \eta f$$

sendo E a energia hidroeléctrica produzida (kWh), P a potência hidroeléctrica (kW), t o tempo em funcionamento (horas) e igual a 8760 h/ano , η o rendimento do grupo turbina-gerador habitualmente entre 0.5 e 0.9, e f um coeficiente que tem em consideração as variações sazonais dos fluxos de água que convergem para a instalação hidroeléctrica.

A título indicativo, refira-se a existência de um inventário de energia hídrica realizado entre 1980 e 1983 por iniciativa da ex-Direcção Geral dos Recursos e Aproveitamento Hidráulico e referente à totalidade do continente nacional, que apontou como energia provavelmente produtível a fio de água em pequenos e médios aproveitamentos, um valor de 6400 GWh por ano de hidraulicidade média. Este valor representa cerca de 26% do total de 24600 GWh inventariado para os recursos nacionais de energia hidroeléctrica média anual em grandes, médios e pequenos aproveitamentos [MIE90].

Estrutura e Estatísticas dos Recursos Hídricos

Os pequenos aproveitamentos hidroeléctricos devem a sua posição no grupo das energias renováveis ao facto de explorarem determinada quantidade de água, de fluxo variável mas mais ou menos contínuo, existente ao longo de um curso de água. Esta água, com origem nas chuvas e em permanente movimento, flui dos continentes na direcção dos oceanos e aí,

evapora-se para a atmosfera, num ciclo interminável e controlado por duas forças opostas: a energia solar e a gravidade da Terra.

A dinâmica do ciclo da água pode ser dividido arbitrariamente em quatro fases:

- condensação de vapor de água, existente em massas de ar, dando origem à precipitação;
- evaporação de água, directa por contacto com o ar ou indirectamente através do consumo ou transpiração da vegetação, isto é, evapotranspiração;
- infiltração de água para o subsolo. Alguma desta água vai parar aos lençóis freáticos e posteriormente volta a juntar-se aos cursos de água através da drenagem, formando o chamado caudal base;
- água não infiltrada, resultante da drenagem no solo, e que parte dela flui para os cursos de água.

Para determinar, com mais rigor, os recursos hídricos disponíveis em determinado curso de água é muitas vezes necessário realizar acções de medição contínua dos fluxos de água. Saliente-se que estes registos são importantes, mas a sua utilização deve estar sujeita à análise do seu real sentido estatístico. Complementarmente, pode recorrer-se a modelos hidrológicos, que se apoiam em dados climatológicos e no estudo do ciclo global da água [Mon84].

Identificação do Local da Instalação

A escolha do local da instalação de um pequeno aproveitamento hidroeléctrico pode ser entendido como um processo iterativo que tem em consideração vários elementos [Mon84]:

- energia hídrica disponível, que pode ser determinada com o auxílio de um modelo hidrológico;
- forma e procedimentos do curso de água, nascentes, quedas de água e características das margens (considerações geológicas);
- uso actual da água, com a análise das consequências a montante e a jusante da instalação;
- dimensão dos trabalhos a realizar, directamente relacionada com as condições morfológicas, orográficas, etc;

- integridade do local de trabalho e de instalação, com a identificação das zonas geologicamente mais sensíveis (previsão de possíveis movimentos e avalanchas de terra);
- consumos energéticos existentes na área envolvente e análise da sua evolução;
- distância entre o colector de admissão de água e a central eléctrica, e entre a central eléctrica e o ponto de interligação à rede de transporte/distribuição de electricidade (proximidade das zonas de consumo);
- impacte e integração ambiental das diferentes construções e equipamentos, com a consideração dos níveis de ruído, fauna e flora aquática, factores estéticos, etc;

A decisão de proceder à instalação de um aproveitamento hidroeléctrico é obtida com base nos resultados de uma análise custo-benefício, que tem em consideração, naturalmente, os pontos apresentados anteriormente.

5.5 Domínios de Intervenção SIG

Recorrendo aos Sistemas de Informação Geográfica é possível intervir em diversos domínios, nomeadamente:

- caracterização geográfica ao nível orográfico, geológico, cursos de água, rugosidade à superfície e obstáculos, usos do solo, aglomerados habitacionais e casas isoladas, zonas interditas, rede de estradas e caminhos, rede de estações meteorológicas, rede de transporte/distribuição de electricidade;
- processamento estatístico e integração da informação recolhida pelas estações meteorológicas;
- integração de informação disponibilizada por diversos organismos, nomeadamente o INMG, a DGA, Institutos e Universidades, a EDP e as Câmaras Municipais;
- integração de informação de caracterização dos equipamentos que seja necessária aos modelos de análise técnica e de estudo de viabilidade económica;
- integração de modelos de radiação com capacidade para gerarem sequências sintéticas de valores de radiação, principalmente em planos inclinados, e integração da informação produzida por estes modelos;

- integração de modelos numéricos que possibilitem a obtenção de uma estimativa para a velocidade média do vento;
- integração de modelos hidrológicos que apoiem a inventariação dos recursos hídricos disponíveis;
- integração de modelos de análise técnica e de estudo de viabilidade económica de determinado aproveitamento;
- produção da informação necessária aos diversos modelos e tratamento e integração da informação produzida.

A obtenção de um sistema integrado com a informação e as características anteriormente referidas tende a facilitar e a apoiar a utilização dos vários modelos e a possibilitar:

- a validação dos modelos de radiação e dos modelos de velocidade média do vento, com base nos dados obtidos nas estações meteorológicas;
- a produção e visualização gráfica de índices de potencial energético das diferentes fontes de energia e para zonas geograficamente estendidas;
- produção, às escalas mais convenientes, de diversos mapas, nomeadamente, declives e exposições, energia da radiação média anual, valores médios de insolação, isoventos, energia eólica disponível, densidades anuais de potência eólica, percentagens anuais de ausência de vento;
- estudos de aptidão de determinado tipo de equipamento, com base nos índices de potencial energético;
- o estudo de viabilidade económica de determinado aproveitamento, de acordo com as características geográficas do local. No caso de se tratar de um aproveitamento para a produção de energia eléctrica é interessante correlacionar as áreas de maior potencial energético com a localização da rede de transporte/distribuição de electricidade, analisar as características dos consumidores a abastecer e os respectivos diagramas de carga;
- a realização de estudos de impacte ambiental, nos casos em que é conveniente e vantajoso a utilização de estruturas de grande dimensão e, possivelmente, dispostas por vastas zonas geográficas. Considerar, caso seja apropriado, o impacto no micro-clima, impacto visual, implicações do ruído, interferências electromagnéticas, considerações de segurança, etc.

5.6 Considerações Finais

A aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica, no contexto das energias renováveis, visa a obtenção de um conhecimento, tão exacto quanto possível, do potencial e das possibilidades oferecidas por estas fontes de energia ao nível local e regional através da integração, sob o mesmo suporte tecnológico, de modelos de diversa natureza, de informação geográfica e de informação científica. A existência de uma ferramenta com estas características, pelas facilidades que oferece, pode conduzir a um crescimento da utilização destas fontes de energia.

Capítulo 6

Protótipo APEER

Introdução

Requisitos e Estrutura do Protótipo

Interface do Protótipo

Aspectos de Implementação

Exemplos de Utilização

6.1 Introdução

O protótipo da aplicação Avaliação do Potencial Energético de Energias Renováveis (APEER), concebido e desenvolvido no âmbito deste trabalho, será objecto de apresentação neste capítulo. Este protótipo académico tem como suporte o sistema de informação geográfica ARC/INFO [ESR92] [ESR91c] (para uma descrição explicativa acerca deste software consulte-se o Apêndice A ou os diversos documentos nele referenciados). O seu desenvolvimento levou em consideração a exposição feita no capítulo 5 [5.5] e as especificidades do software ARC/INFO. Note-se que nunca esteve subjacente a criação de um produto de cariz comercial.

Neste capítulo, começa-se por esquematizar a estrutura geral do protótipo e por referir os seus requisitos fundamentais. Em seguida, descreve-se a interface do protótipo segundo duas vertentes: a estrutura de menus e opções, e a estrutura de ajuda. São referidos alguns aspectos de implementação uma vez que a base de desenvolvimento foi o sistema ARC/INFO. Na parte final apresentam-se alguns exemplos de utilização.

6.2 Requisitos e Estrutura do Protótipo

O protótipo APEER pretende ser, em primeiro lugar, uma ferramenta que visa a integração e a articulação entre os dados de caracterização, os diversos modelos e os resultados globalmente produzidos.

O desenvolvimento feito até ao momento teve em consideração os seguintes requisitos:

- entrada de dados, alfanuméricos ou de natureza geográfica, recorrendo a ficheiros ASCII (leitura de ficheiros de texto com formato simples);
- digitalização, para a entrada das coordenadas que definem a posição de pontos, nós e vertices, com as seguintes possibilidades: configuração da mesa digitalizadora; identificação, eliminação e visualização simultânea dos elementos já digitalizados; definição e ajuste de parâmetros de digitalização (por exemplo, distância entre nós a partir da qual se exerce o efeito de atracção, tolerância mínima entre vertices);
- leitura de ficheiros em formato DXF e IGDS, com a possibilidade de fasear o processo de conversão para o formato interno do ARC/INFO, isto é, permitir a escolha dos dados que vão estar sujeitos a conversão;

- importar e exportar dados geográficos em formato interno ARC/INFO;
- copiar, alterar o nome e eliminar conjuntos de dados geográficos (coberturas, grelhas, tins, tabelas de atributos, etc);
- conversão de conjuntos de dados geográficos do modelo *raster* para o vectorial e vice-versa;
- criação de temas resultantes da associação de simbologia aos dados armazenados na base de dados geográfica;
- produzir, alterar, guardar, eliminar e aceder a ficheiros de texto que guardem as propriedades associadas a cada tema;
- criação de vistas resultantes da associação de temas já existentes;
- produzir, alterar, guardar, eliminar e aceder a ficheiros de texto que guardem as propriedades associadas a cada vista;
- visualização 2D, com capacidade para interpretar os ficheiros de propriedades referentes às vistas e aos temas, possibilidade de sobrepor vários temas e de realizar acções de selecção, interrogação, medição, *pan* e *zoom*;
- criação do modelo digital de altitud e de superfícies 3D, tendo como dados de entrada pontos distribuídos regular e irregularmente no espaço (dos quais se conhecem as três coordenadas) ou isolinhas devidamente classificadas. Possibilidades de realizar interpolações de valores de altitude, calcular declives e exposições, calcular áreas e comprimentos sobre as superfícies, determinar a intervisibilidade entre dois pontos;
- visualização 3D, com capacidade para interpretar os ficheiros de propriedades referentes às vistas e aos temas, possibilidade de sobrepor elementos 2D às superfícies 3D existentes, controlo do ponto de observação e do campo de visão (orientação, distância aos objectos, azimuth, etc);
- produzir, compor, alterar, guardar, eliminar e aceder a mapas, de diferentes escalas, com a inclusão de objectos cartográficos (vistas, temas, legendas, blocos de texto, barra de escala, seta de norte, etc);
- produzir, guardar, eliminar e aceder a ficheiros de mapas em formatos adequados à sua impressão;

- saída de dados, alfanuméricos ou de natureza geográfica, recorrendo a ficheiros ASCII (escrita de ficheiros de texto);

Na Fig. 6.1 apresenta-se um esquema que mostra os principais blocos do protótipo APEER, segundo os requisitos anteriormente referidos.

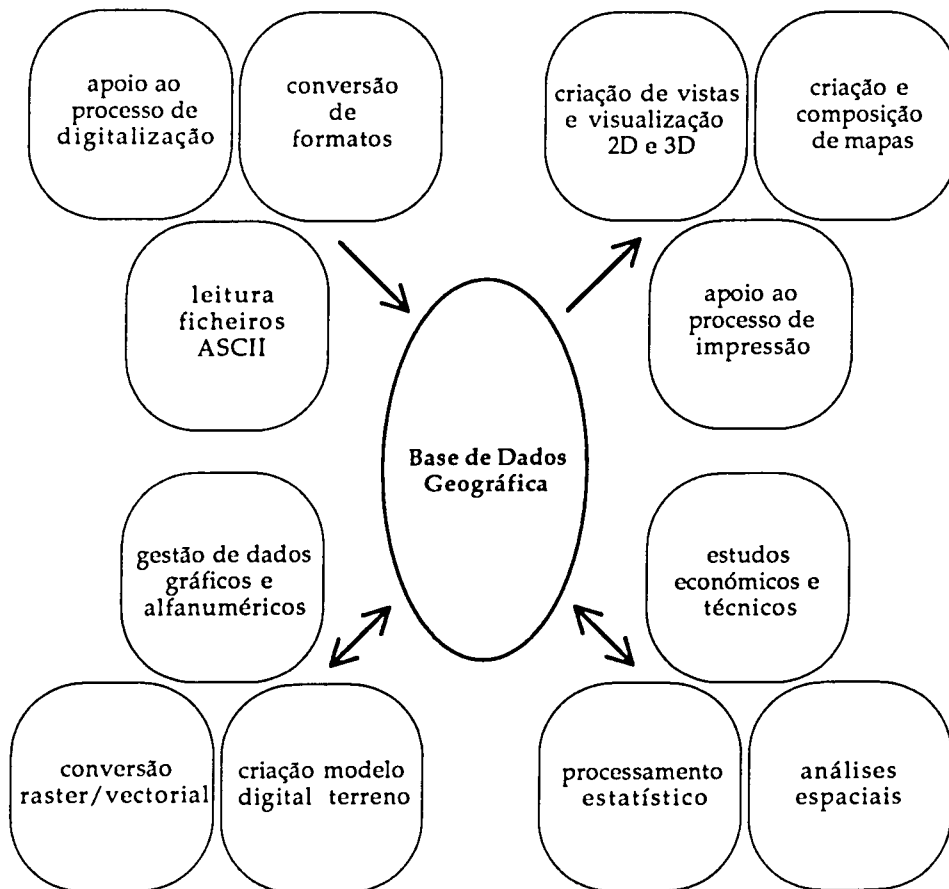


Fig. 6.1 - Diagrama de blocos do protótipo APEER

Em termos de estrutura interna, o protótipo está organizado e desenvolvido de acordo com o esquema apresentado na Fig. 6.2.

Como se verifica, o elemento central do protótipo é uma colecção de programas desenvolvidos em AML que actuam em articulação com outros três conjuntos: os diversos comandos ARC/INFO agrupados segundo afinidades funcionais, os comandos do sistema operativo e, finalmente, os programas desenvolvidos numa linguagem de alto-nível.

Estes programas, traduzem na sua totalidade, a implementação do único modelo que foi integrado neste protótipo (VMV - determinação da velocidade média do vento [Cas92]), e teve como objectivo fundamental testar a estrutura que foi criada para facilitar a integração de outros modelos.

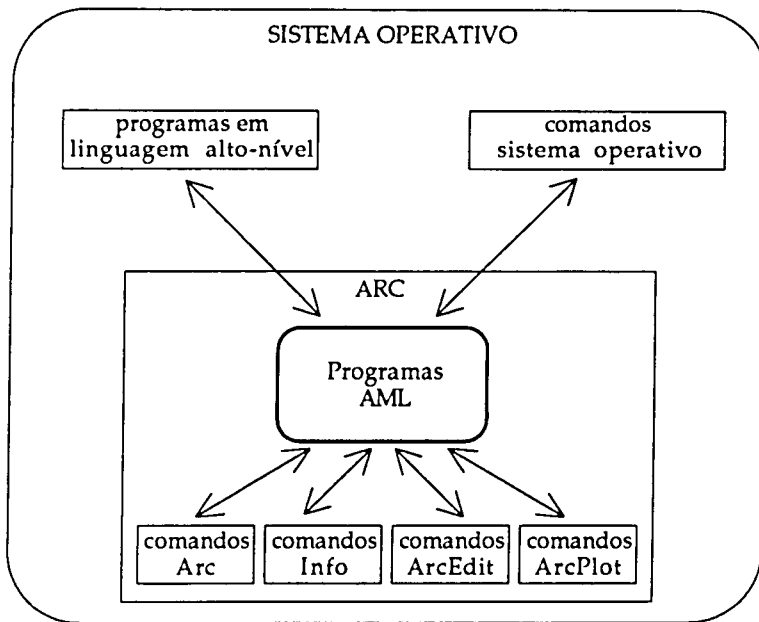


Fig. 6.2 - Estrutura do protótipo APEER

6.3 Interface do Protótipo

Numa qualquer aplicação de software, a interface com o utilizador pode, muito simplesmente, ser definida como a camada visível dessa mesma aplicação, manipulada pelo utilizador e através da qual ele indica as acções que devem ser executadas. A interface do protótipo APEER é uma interface X-Windows do estilo OpenLook. Procura ser muito interactiva, autoexplicativa e o mais natural possível, de tal forma que o utilizador possa prever, sem ambiguidade, o resultado das suas acções.

O utilizador pode mandar executar as acções existentes no protótipo de duas maneiras coexistentes: ou selecciona as opções disponíveis nos diversos menus ou recorre a uma linha de comandos. A linha de comandos obriga o utilizador a conhecer a sintaxe dos mesmos, mas tem a vantagem de permitir a utilização de comandos ARC/INFO que possam não estar disponíveis nos menus, e até comandos do sistema operativo.

De forma geral, a interface é constituída por: barra menu; pull-downs que agrupam macrocomandos; forms de entrada para macrocomandos que permitem especificar vários parâmetros antes da sua execução; forms de entrada de dados, que solicitam ao utilizador um ou mais registos relacionados com esses dados; menus de controlo, que apresentam os valores actuais para diversos ambientes ou macrocomandos e possibilitam a sua alteração; e

menus que informam o utilizador de determinadas situações, podendo algumas delas exigir a sua intervenção ou decisão.

Na interface deste protótipo optou-se pela utilização da língua inglesa, para evitar a tradução de termos que porventura possam conduzir a interpretações incorrectas.

No protótipo desenvolvido, a implementação da interface com o utilizador foi feita recorrendo à ferramenta FormEdit [6.5.3] e a diversos mecanismos disponibilizados pelo software ARC/INFO. Esta estratégia de desenvolvimento permite a rápida obtenção de interfaces gráficas e torna possível a separação do software da interface do restante software da aplicação.

6.3.1 Estrutura de Menus e Opções

Nesta secção descrevem-se os menus e opções que formam a essência da interface do protótipo. Esta apresentação não pretende ser, de forma nenhuma, exaustiva, antes a tipificação da estrutura de menus e opções.

Menu Principal

O menu principal do protótipo APEER é formado por uma barra menu que disponibiliza oito opções (Fig. 6.3). As sete primeiras dão origem a menus pull-down e a última desencadeia a acção de ajuda.

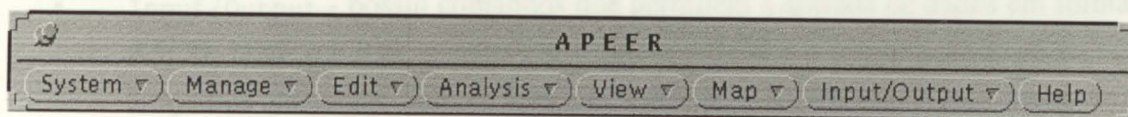


Fig 6.3 - Menu principal

Os menus pull-down referidos são:

- **System** - possui três opções que permitem mudar de espaço de trabalho (workspace) e navegar de forma livre na estrutura de directórios, aceder a um menu form para a entrada directa de comandos do ARC/INFO e do sistema operativo, e por fim, uma opção que permite abandonar o protótipo;
- **Manage** - cada uma das cinco opções que este pull-down possui, destina-se a visualizar alguma informação descritiva, a copiar, alterar o nome e eliminar conjuntos específicos de dados (coverages, grids, tins, info tables e relates);
- **Edit** - as opções existentes destinam-se, fundamentalmente, à criação e edição de coverages e tabelas no ARCEDIT. Neste sentido, é possível seleccionar a classe

entidade a editar, e sobre os elementos dessa classe exercer acções de criar, copiar, eliminar, mover, etc. Estas acções são apoiadas por dois conjuntos distintos de comandos: o primeiro permite seleccionar, graficamente ou através de expressões lógicas, múltiplas entidades, para sobre elas executar, em conjunto, determinada acção; o segundo relaciona-se com o processo de visualização, incluindo a especificação do ambiente de visualização, do ambiente auxiliar (*background*), execução de acções de *pan* e *zoom*, etc. Durante o processo de edição é sempre possível aceder a diversa informação que relata o estado actual deste processo. Existe também um grupo de comandos que se destinam à criação de superfícies;

- *Analysis* - possui comandos que permitem realizar análises espaciais e análises de visibilidade para as superfícies. Este menu disponibiliza também os diversos modelos (radiação solar, hidrológicos, análise técnica e económica) com interesse no contexto desta aplicação. No caso concreto do protótipo, e nesta fase de desenvolvimento, existe somente o modelo VMV (velocidade média do vento);
- *view* - este menu agrupa os comandos que permitem manipular temas e vistas, em termos de criação, armazenamento, alteração, eliminação e visualização 2D e 3D;
- *Map* - os comandos existentes neste menu tem por objectivo a criação, composição e visualização de mapas e consequente criação de ficheiros prontos a serem imprimidos;
- *Input/Output* - possui comandos que permitem a entrada de dados em formatos ASCII, DXF e IGDS, a saída em formato ASCII e a importação/exportação de conjuntos de dados geográficos em formato ARC/INFO. Neste menu existe também um comando que dá início ao processo de digitalização.

A título de exemplo, apresentam-se de seguida um menu *pull-down* (*System*) com as suas respectivas opções, um menu *form* (*Change Workspace*) e o menu *Help*.

Opções do Menu System

O menu *System* possui três opções: *Change Workspace*, *Command Line* e *Quit*. A opção *Change Workspace*, origina um menu *form* (Fig 6.5) que possibilita ao utilizador mudar de espaço de trabalho e navegar de forma livre na estrutura de directórios existente [6.4.3]. Uma vez concretizada uma alteração do espaço de trabalho, o protótipo assume essa mudança e passa a utilizá-lo de imediato.

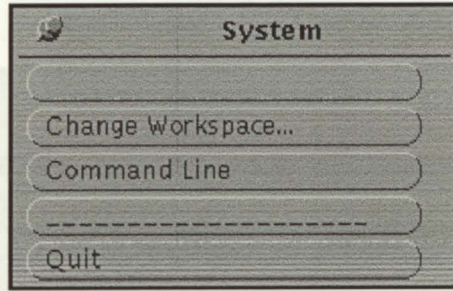


Fig 6.4 - Menu System

A opção *Command Line* disponibiliza uma janela que permite ao utilizador interactivar com o protótipo, mas para além disso permite aceder a comandos ARC/INFO que possam não estar disponíveis nos menus do protótipo e também aceita comandos do sistema operativo.

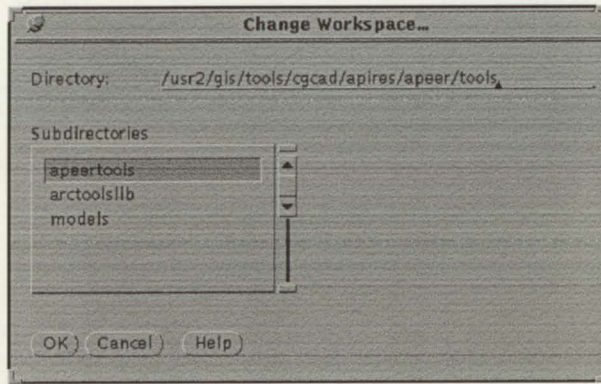


Fig. 6.5 - Menu Change Workspace

Opção Help

Este protótipo possui uma estrutura de ajuda que segue de perto a existente para os menus. Assemelha-se a uma estrutura em árvore em que cada acção de ajuda tem um nível de profundidade idêntico à respectiva acção. O acesso é feito via opção *Help* que existe em cada menu. Uma vez disponível, o utilizador pode abandonar a estrutura de ajuda ou solicitar as ajudas do nível inferior que, naturalmente, dizem respeito a acções directamente relacionadas. Cada sequência de ajuda pode ter uma ou mais páginas de texto explicativo.

Como exemplo apresenta-se a janela de ajuda que surge após a escolha da opção *Help* a partir do menu principal (Fig. 6.6).

Neste caso, existem três páginas de texto explicativo, que surgem sequencialmente à medida que se escolhe o botão de controlo *proximo* (existe também um botão de controlo *anterior*, sempre que tal fizer sentido) Para abandonar esta estrutura basta seleccionar o botão *Quit*. Alternativamente, o utilizador pode seleccionar qualquer um dos restantes botões solicitando assim as ajudas de nível inferior (neste caso, *System*, *Manage* e *Edit*).

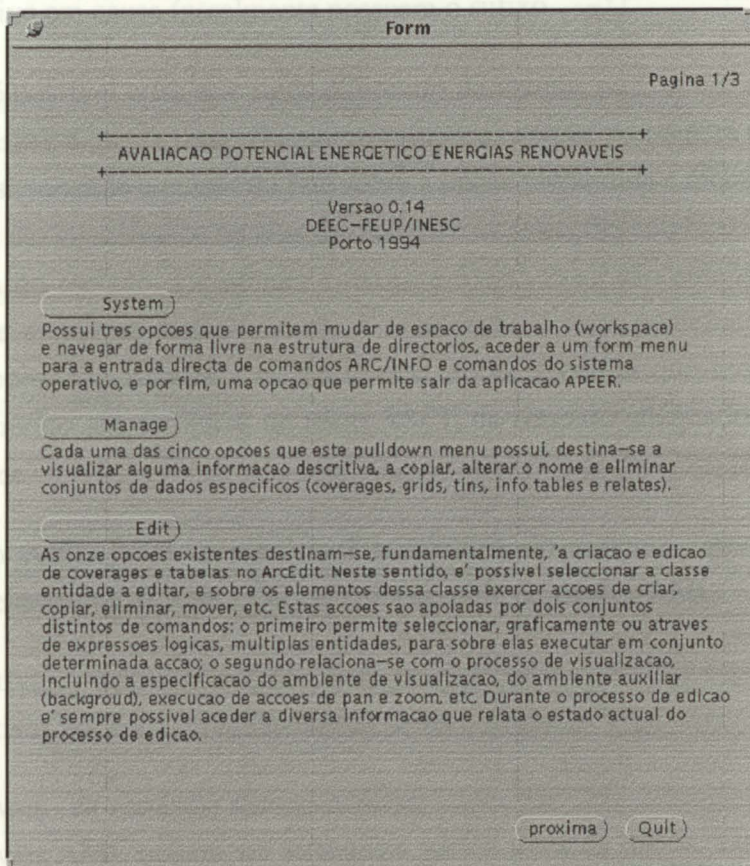


Fig. 6.6 - Janela de ajuda referente ao menu principal

6.4 Aspectos de Implementação

O protótipo APEER foi desenvolvido usando principalmente a linguagem Arc Macro Language disponibilizada pelo ARC/INFO. Recorreu-se à linguagem C ou FORTRAN sempre que tal se revelou vantajoso. A definição e a implementação da estrutura do software do protótipo seguiu de bastante perto a configuração disponibilizada pelo ArcTools [ESR93b]. Esta estratégia de desenvolvimento, para além de garantir uma perfeita integração com os comandos existentes nas bibliotecas do ArcTools permitiu adoptar esquemas de codificação bastante bem estruturados.

6.4.1 A Linguagem AML

A Arc Macro Language (AML) é uma linguagem de programação de quarta geração, do tipo interpretada, que utiliza princípios, conceitos e técnicas muito semelhantes às existentes nas linguagens de programação de alto-nível [ESR91b].

Os programas AML são armazenados em ficheiros cujos nomes seguem as convenções do sistema operativo em causa (geralmente possuem o sufixo `.aml`).

Com a AML é possível criar sete tipos diferentes de menus: `pull-down`, `sidebar`, `matrix`, `form`, `key`, `tablet` e `digitizer`. Os quatro primeiros aparecem no ecrã e as selecções são executadas posicionando o cursor do rato sobre a opção pretendida e efectuando um “click”. Os menus `key` são visualizados na área de diálogo e as selecções são feitas através das teclas alfanuméricas do teclado. Os menus `tablet` e `digitizer` são menus de papel que se colocam sobre as mesas digitalizadoras e a selecção é feita posicionando o cursor do dispositivo apontador, existente no periférico, sobre a célula que indica a operação a executar. Os menus são ficheiros de texto ASCII de formato adequado às acções que se pretendem obter.

Num ficheiro AML pode-se combinar comandos do sistema operativo, comandos ARC/INFO e elementos da AML. Existem três tipos de elementos AML:

- directivas - instruem a AML para realizar uma operação específica. Todas as directivas possuem no início do seu nome o símbolo “&”;
- variáveis - as variáveis são um meio de armazenar dinamicamente informação. Às variáveis AML podem ser atribuídos vários tipos de dados: caracteres, números inteiros e reais, expressões booleanas, expressões que combinem qualquer tipo dos anteriores. As referências às variáveis são feitas colocando no início e no fim do seu nome o símbolo de percentagem (%). Existem variáveis locais, que só são “vistas” pelo programa onde foi definida, e globais, que podem ser acedidas por todos os programas AML activos. As variáveis globais possuem como prefixo do seu nome o símbolo ponto (.).
- funções - o nome das funções AML aparece sempre entre parentesis rectos. Quando a AML encontra os parentesis rectos, executa a função que está no seu interior e devolve o resultado.

6.4.2 Esquemas de Codificação

O código desenvolvido para o protótipo APEER está organizado em módulos, ou blocos, que no conjunto constituem todo o sistema. Isto permite que a concepção, implementação e revisão de cada módulo seja feita de maneira independente. A codificação realizada para este protótipo segue muito de perto a estratégia utilizada pelo ArcTools [ESR93a].

De forma simples, pode dizer-se que um macrocomando do protótipo APEER é um conjunto de acções que se traduzem, em termos de implementação, num ficheiro menu (com extensão `.menu`) associado a determinado ficheiro AML (com extensão `.aml`). Todas as funcionalidades fornecidas pelos macrocomandos estão encapsuladas segundo estas duas componentes.

Todas as acções que possam ser executadas por um macrocomando em particular estão agrupadas numa única AML e traduzem-se em rotinas, isto é, o protótipo disponibiliza um determinado número de macrocomandos, cada um com um conjunto de acções, e existe uma correspondência directa entre macrocomando/AML e acção/rotina. Por exemplo, para activar determinado macrocomando, executa-se a respectiva AML passando como argumento o nome da rotina que o inicializa. Esta rotina lança o menu correspondente e pode eventualmente inicializar variáveis que são utilizadas pelo menu. De seguida, qualquer acção invocada a partir do menu tem como consequência a chamada da mesma AML tendo como argumento o nome da rotina a executar.

A AML e o menu correspondentes ao mesmo macrocomando possuem prefixos comuns para facilmente identificar a sua interrelação (por exemplo, `select.aml` e `select.menu`).

As variáveis utilizadas, tanto pelo menu como pela AML, têm de ser variáveis globais. A atribuição do nome a cada uma dessas variáveis segue o seguinte esquema: nome do macrocomando a que pertence, seguido do símbolo dolar (\$) e finalmente um nome que de alguma forma identifica univocamente a variável. Estas variáveis são eliminadas quando se suspende a execução do macrocomando.

As *threads* são criadas pelo macrocomando no momento da sua inicialização. Os nomes dos *threads* têm o seguinte esquema: nome do módulo para o qual o macrocomando foi desenvolvido, seguido do símbolo dolar (\$) e por fim o nome do macrocomando. Por exemplo, o macrocomando `select`, que permite seleccionar entidades no ARCEDIT, cria uma *thread* chamada `edit$select` que se traduz em código AML da seguinte forma:

```
&if ^ [show &thread &exists edit$select] then  
  &thread &create edit$select &menu select.menu
```

6.4.3 Estrutura do Espaço de Trabalho

O espaço de trabalho do protótipo APEER é composto por uma série de directórios e ficheiros (nesta exposição, assume-se que os nomes dos directórios começam por letra maiúscula).

O directório principal `Apeer` contém dois subdirectórios (`Tools` e `Data`) e três ficheiros (`apeer.aml`, `apeer.menu` e `log`). O ficheiro `apeer.aml` é o macrocomando que inicializa o protótipo e o `apeer.menu` é o menu principal. O ficheiro `log` é um ficheiro de texto produzido pelo ARC/INFO que indica quais os recursos de software usados e os respectivos tempos de utilização.

O directório `Tools` possui os seguintes subdirectórios (Fig. 6.5): `Apeertools`, que contém todos os macrocomandos e menus do protótipo; `Models`, que contém todos os ficheiros referentes aos modelos; e `Arctoolslib`, que contém um conjunto de bibliotecas de comando [6.4.5].

A base de dados geográfica localiza-se no directório `Data` e está armazenada num conjunto de ficheiros e subdirectórios. O subdirectório `Info` representa a base de dados INFO que contém as Feature Attribute Tables [Apêndice A - Tabelas de Atributos] bem como as tabelas de atributos com elas relacionadas.

6.4.4 O FormEdit

O FormEdit é uma ferramenta concebida para apoiar a criação de menus do tipo `form`, disponibilizando para o efeito uma colecção de objectos interface [ESR91i]. Embora o ARC/INFO suporte vários tipos de menus [6.4.1], o FormEdit destina-se somente à manipulação de menus do tipo `form`.

O FormEdit combina a concepção da componente gráfica, que define quais os objectos a constar no menu, as suas posições e dimensões, com a componente sintática ou descritiva, que define as operações a executar por cada um dos objectos e em que circunstâncias tal deve acontecer. Esta ferramenta facilita a concretização de ligações entre os objectos do menu e o código das acções correspondentes.

Embora o FormEdit ajude a construir menus `form`, ele não é, por si só, um *application builder*.

O FormEdit está acessível a partir que qualquer módulo do ARC/INFO e uma vez executado disponibiliza imediatamente duas janelas gráficas (Fig. 6.7). A primeira, que representa a janela principal do FormEdit, é constituída por uma barra menu, colocada no topo da janela, com três menus `pull-down` (`File`, `Edit` e `View`) e uma “paleta” com oito objectos de interface normalizados: `Text input field`, `Data list`, `Slider`, `Scrolling list`, `Choice`, `Button`, `Display field`, `Check box` e `Static text`. A segunda janela representa a “tela” onde se desenha e cria o menu `form`.

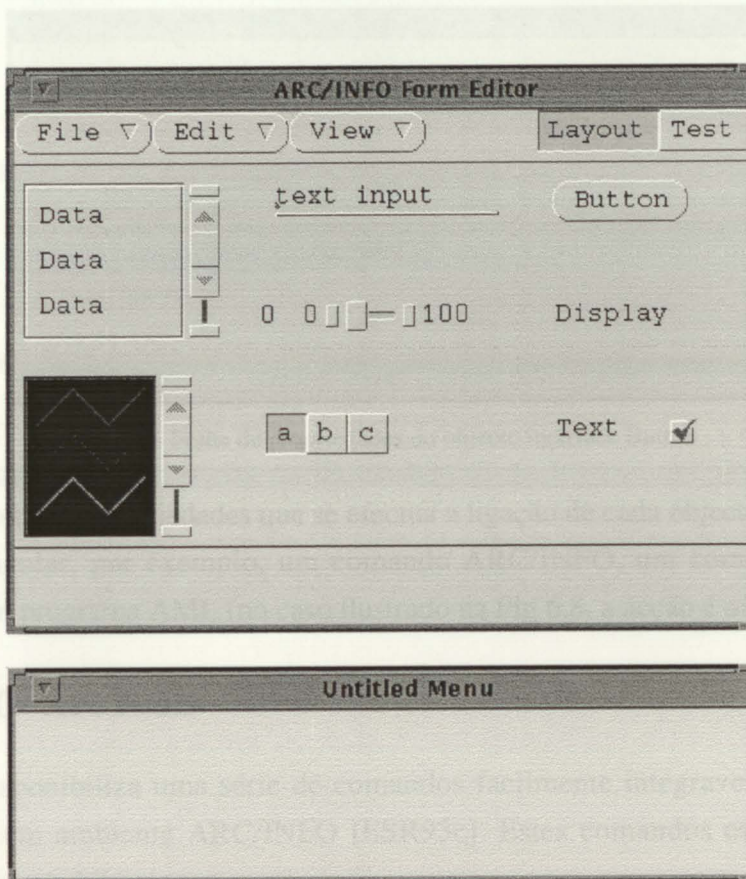


Fig. 6.7 - Interface do FormEdit

Para desenhar um menu `form` é necessário simplesmente arrastar com o rato os objectos de interface, que se podem escolher da janela principal do FormEdit, para cima da janela designada por tela. É ainda possível alterar a aparência desses objectos de interface.

O FormEdit tem dois modos de funcionamento: o de desenho e o de teste. No modo de teste, os objectos de interface compreendem os eventos vindos do teclado e do rato e realizam no ecrã efeitos visíveis que ilustram a acção desses eventos. Por exemplo, um campo de entrada de texto mostra os caracteres correspondentes quando se pressiona o teclado, um botão comuta quando é pressionado pelo utilizador, etc.

Associado a cada objecto interface existe uma folha de propriedades onde se define a forma como o objecto interface é visto, o tipo de entrada esperado e a forma como deve operar quando estiver no ambiente ARC/INFO.

A Fig. 6.8 mostra a folha de propriedades do objecto interface Button.

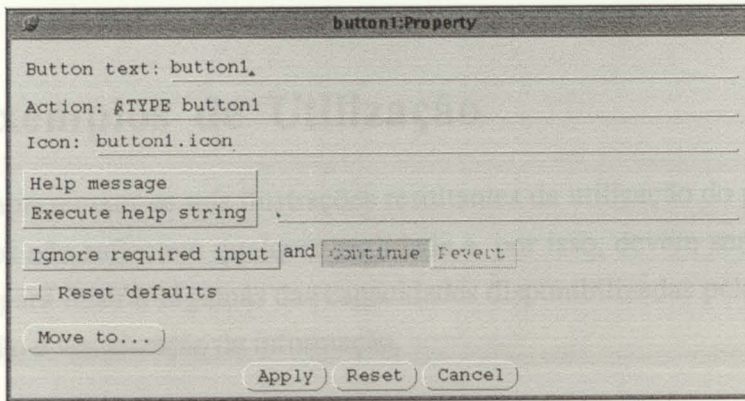


Fig. 6.8 - Folha de propriedades do objecto inetrface Button

É também na folha de propriedades que se efectua a ligação de cada objecto interface a uma acção em particular, por exemplo, um comando ARC/INFO, um comando do sistema operativo ou um programa AML (no caso ilustrado na Fig 6.8, a acção é `&type button1`).

6.4.5 O ArcTools

O ArcTools disponibiliza uma série de comandos facilmente integraveis em aplicações desenvolvidas em ambiente ARC/INFO [ESR93c]. Estes comandos estão estruturados segundo as seguintes bibliotecas:

- **arclib** - comandos ao nível do módulo ARC. Todos os comando existentes nesta biblioteca podem ser utilizados em qualquer parte do sistema ARC/INFO;
- **aelib** - comandos que apoiam a edição de dados. Todos os comando existentes nesta biblioteca são para ser utilizados no módulo ARCEDIT;
- **aplib** - comandos que apoiam a visualização e a interrogação de dados. Todos os comando existentes nesta biblioteca são para ser utilizados no módulo ARCPLOT;
- **gridlib** - comandos que apoiam a realização de análises sobre dados em formato quadricula. Todos os comando existentes nesta biblioteca são para ser utilizados no módulo GRID;
- **maplib** - comandos que apoiam a construção de mapas e criação de ficheiros para serem imprimidos. Todos os comando existentes nesta biblioteca são para ser utilizados no módulo ARCPLOT;
- **viewlib** - comandos que apoiam a visualização e a interrogação de dados. Todos os comando existentes nesta biblioteca são para ser utilizados no módulo ARCPLOT.

6.5 Exemplos de Utilização

Nesta secção apresentam-se seis ilustrações resultantes da utilização do protótipo APEER. Estes exemplos não reflectem qualquer realidade e, por isso, devem ser entendidos como uma tentativa para ilustrar algumas das capacidades disponibilizadas pelo APEER ao nível da representação e visualização de informação.

- figura 6.9 - representa uma rede de triângulos irregulares. Esta rede resulta da aplicação do método de triangulação de Delaunay a um conjunto de pontos espaçados irregularmente no espaço, e para os quais se conhece o valor da altitude. Associado a esta representação gráfica existe sempre uma estrutura topológica [4.3.2 - Rede de Triângulos Irregulares (TIN)];
- figura 6.10 - mapeamento de uma superfície por uma malha regularmente espaçada (“rede de pesca”) e a sua visualização em perspectiva. Esta superfície tem como estrutura topológica a RTI da figura 6.9. As variações em níveis de cinzento pretendem ser a classificação dos índices de declive existentes;
- figura 6.11 - determinação de isolinhas com base no modelo digital de altitude. As variações em níveis de cinzento pretendem classificar, em intervalos, a totalidade dos níveis existentes;
- figura 6.12 - conversão para o modelo *raster* de dados existentes no modelo vectorial. Esta imagem representa a classificação temática (oito níveis de cinzento) da discretização dos valores de altitude segundo uma grelha de células de dimensão constante;
- figura 6.13 - visualização em perspectiva da imagem *raster* apresentada na figura 6.12. Note-se que, existem elementos 2D em sobreposição a esta imagem (isolinhas ilustradas na figura 6.11).
- figura 6.14 - possibilidade de obter graficamente a variação de determinada variável por marcação directa sobre elementos gráficos. Neste caso, embora a superfície pareça bastante plana, o gráfico apresentado contraria essa ideia. A linha que está sobre a superfície (traço mais grosso) representa o “caminho de leitura” (a sua origem é o ponto mais próximo do observador). Como se pode verificar pelo gráfico, à medida que a distância aumenta (eixo horizontal) a variável, traduzida pela superfície, toma valores entre zero e cerca de 220 unidades (eixo vertical).

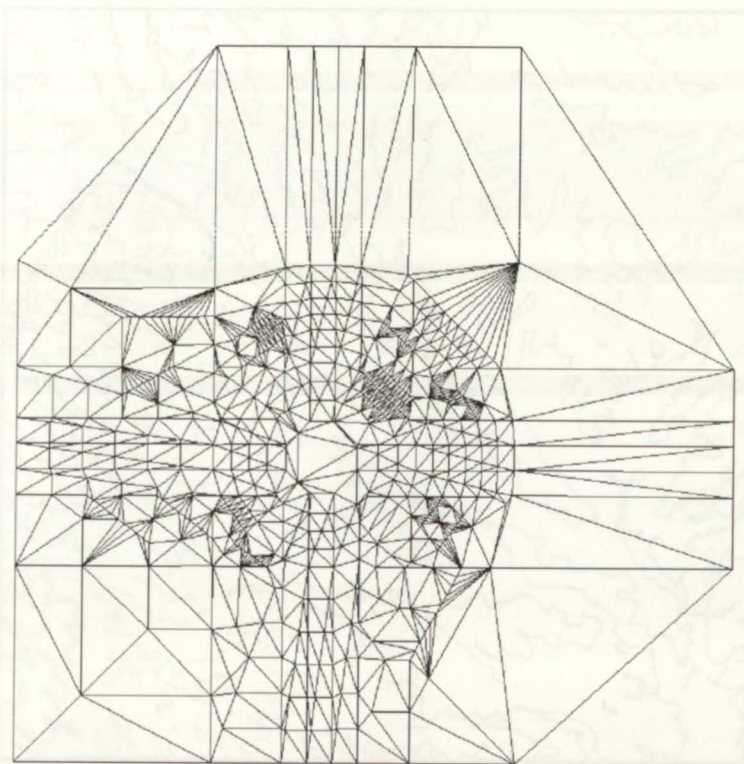


Fig. 6.9 - Rede de triângulos irregulares (RTI)

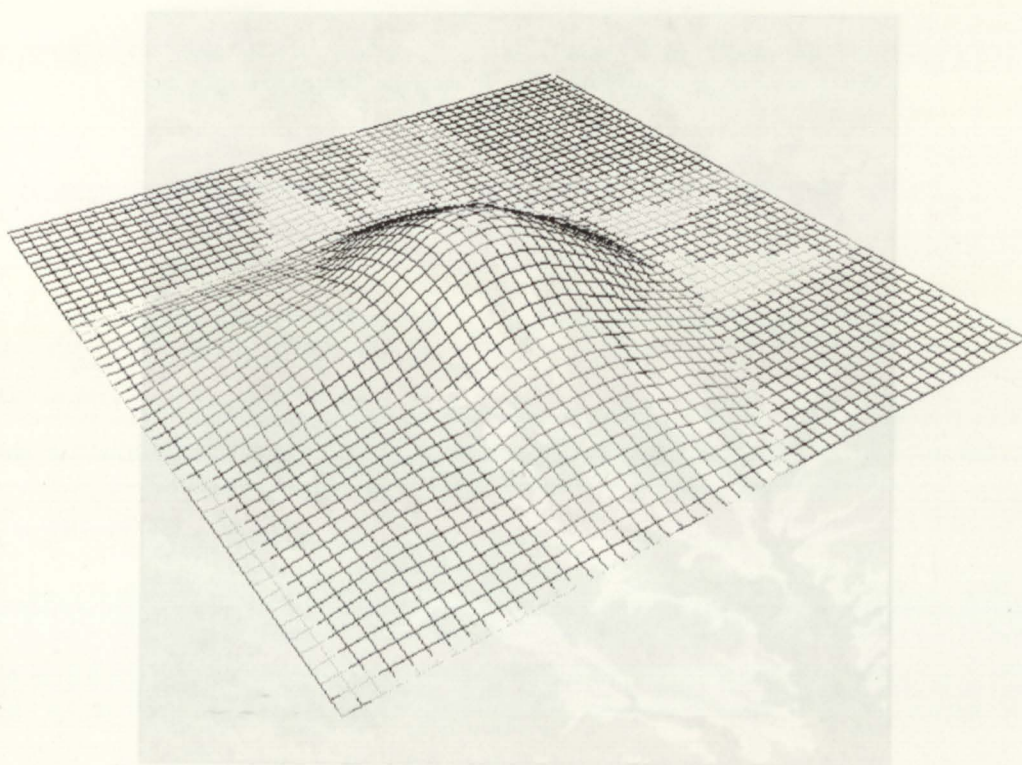


Fig. 6.10 - Modelo digital de altitude (MDA)

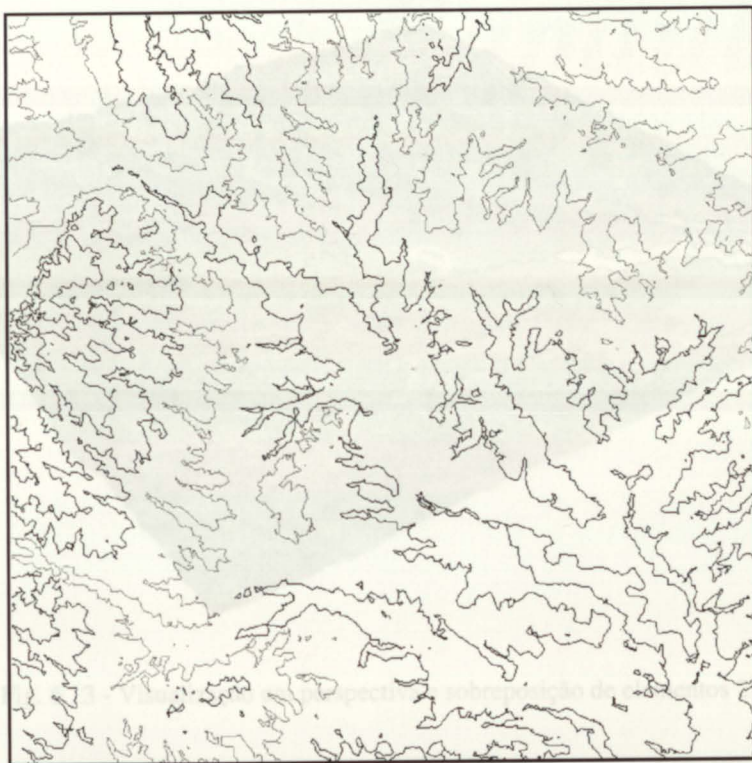


Fig. 6.11 - Isolinhas com determinado espaçamento



Fig. 6.12 - Modelo *raster* com determinada resolução

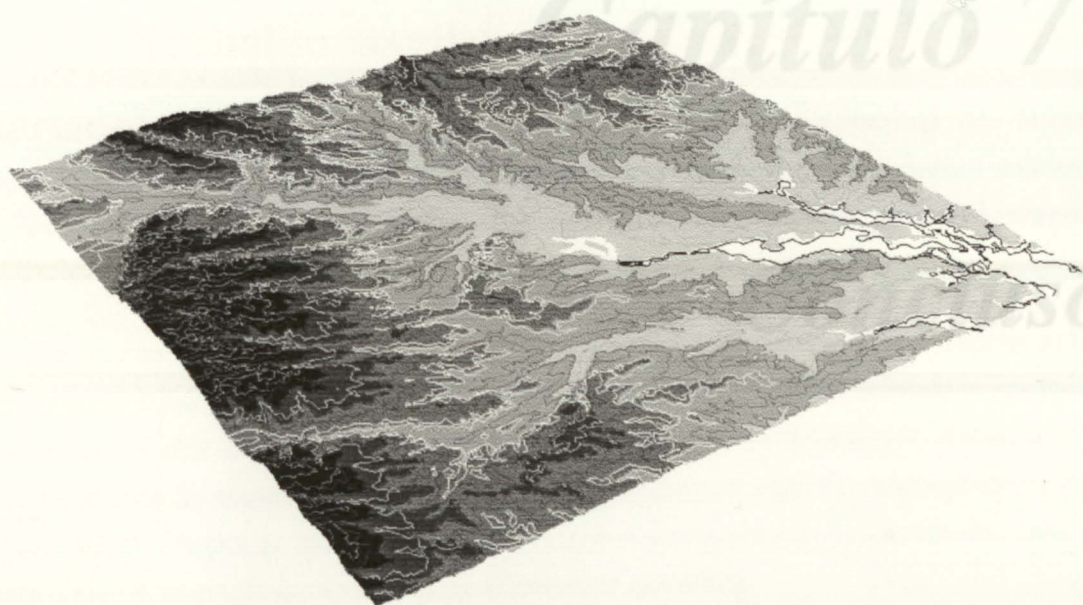


Fig. 6.13 - Visualização em perspectiva e sobreposição de elementos 2D

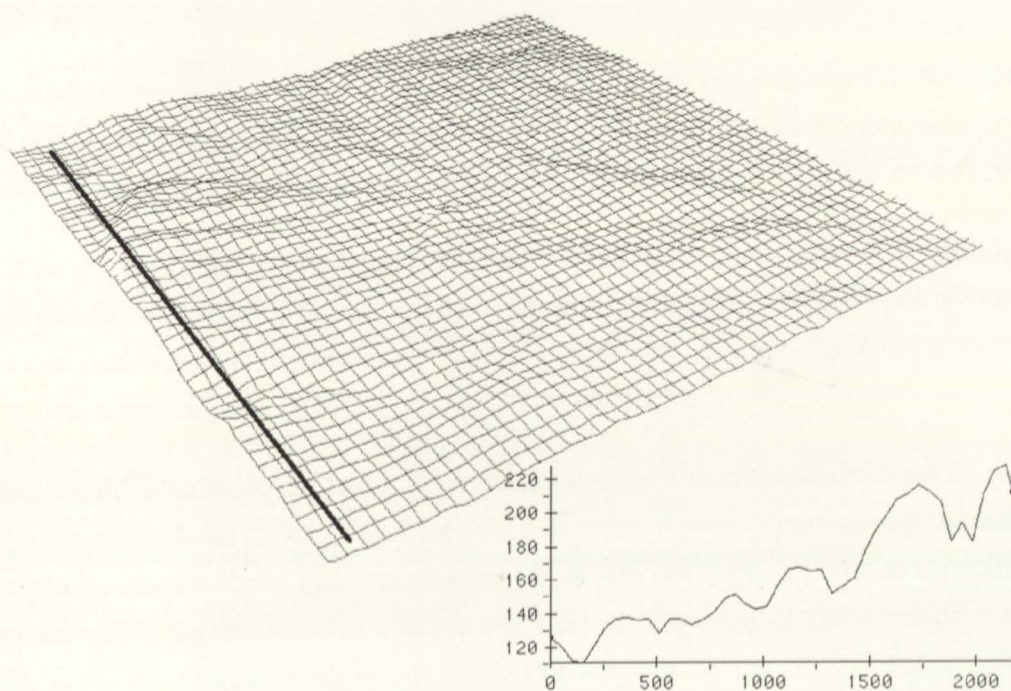


Fig. 6.14 - Gráficos bidimensionais

Trabalho Realizado

Sugestões para Trabalho Futuro

Capítulo 7

Conclusões

Trabalho Realizado

Sugestões para Trabalho Futuro

7.1 Trabalho Realizado

As Energias Renováveis têm dado uma contribuição útil na cobertura das diferentes necessidades energéticas. Um dos obstáculos que impede a sua intensa exploração relaciona-se com o conhecimento deficiente que actualmente se tem do potencial energético e das possibilidades oferecidas por estas fontes de energia.

Todas as energias renováveis têm como positivo o facto de poderem representar um importante recurso regional e contribuir para o equilíbrio dos abastecimentos energéticos. No entanto, têm a característica comum de serem fontes de energia dispersa e com irregularidade de abastecimento. Encarar o processo de avaliação do potencial energético, à escala local e regional, exige o conhecimento e a compreensão detalhada da realidade a vários níveis, segundo uma visão geograficamente estendida.

Este trabalho teve como orientação central o estudo de viabilidade da aplicação dos sistemas de informação geográfica, como suporte tecnológico, no processo de avaliação do potencial energético em três tipos específicos de energias renováveis: energia solar, energia eólica e energia hídrica.

Para atingir a proposta acima indicada, o trabalho começou por procurar oferecer uma visão geral sobre os sistemas de informação geográfica através do estudo dos seus conceitos fundamentais e da análise dos sistemas comerciais actualmente disponíveis no mercado.

O campo dos SIG é tão vasto que se torna impossível, numa dissertação de Mestrado, cobrir em profundidade razoável todas as áreas disponíveis. Assim, optou-se por abordar duas áreas essenciais e que, obviamente, estão directamente relacionadas com a informação geográfica: a modelação de dados e a modelação geométrica.

Em termos de modelação de dados, foram consideradas a modelação de bases de dados em geral e a modelação de dados geográficos em particular. Apresentaram-se alguns modelos de aplicação genérica e outros que, objectivamente, levam em linha de conta as especificidades da informação geográfica. Estes últimos têm sido usados como ferramentas de concepção lógica de base de dados e alguns já estão implementados em SGBD experimentais. É interessante verificar que a generalidade dos sistemas SIG comerciais incluem um SGBD Relacional. No entanto, dada a complexidade inerente à informação geográfica, o modelo relacional está longe de satisfazer as necessidades naturais das bases de dados geográficas. Daí que, tradicionalmente, a intervenção das bases de dados relacionais se circunscreve ao nível do armazenamento de informação descritiva.

No caso da modelação geométrica, referiram-se dois modelos fundamentais usados pelos SIG: o modelo *raster* e o modelo vectorial. A opção por qualquer um dos modelos depende dos objectivos que se pretendem alcançar. Note-se que a maior partes dos SIG comerciais suportam integradamente estes dois modelos, deixando a escolha ao critério dos utilizadores.

O estudo das energias renováveis (solar, eólica e hídrica) incidiu sobre conceitos básicos de cada uma delas e, fundamentalmente, sobre aspectos de natureza geográfica, que de certa forma serviram de base para a concepção do protótipo APEER.

De acordo com os requisitos iniciais estabelecidos para o protótipo e com base no conhecimento directo de algumas pessoas que intervêm activamente na área das energias renováveis, conseguiu-se chegar ao protótipo académico APEER. O desenvolvimento deste protótipo teve como suporte lógico o sistema de informação geográfica ARC/INFO.

A existência deste protótipo, mesmo com as naturais limitações que possui, permitiu na prática verificar a importância e as vantagens na utilização nesta área de ferramentas com capacidade para gerir informação geográfica. Pelas facilidades e flexibilidade que oferece, pode conduzir, de forma indirecta, a um crescimento da exploração das fontes de energia renováveis.

Este protótipo pode ser entendido como o ponto de partida para o desenvolvimento de uma aplicação APEER, mas algum trabalho tem que ser feito de modo a concretizar a sua completa especificação e implementação.

7.2 Sugestões para Trabalho Futuro

Face ao actual estado do trabalho desenvolvido, resultam algumas sugestões para trabalho futuro. Em síntese, indicam-se a seguir algumas propostas:

- especificação formal e implementação da aplicação APEER em ARC/INFO ou utilizando outro sistema de informação geográfica. É de todo conveniente o envolvimento directo de pessoas que actualmente exercem a sua actividade na área das energias renováveis ou que possuam um conhecimento prático das reais características que uma aplicação deste tipo deve possuir;
- validação e verificação da aplicação com a realização de testes de adequação baseados em casos reais (a aplicação faz o que se pretende?);

- identificação e caracterização dos dados indispensáveis e os mais relevantes que devem existir na base de dados para permitir atingir os objectivos pretendidos. Esta passa pela elaboração de metodologias adequadas à aquisição e integração sistemática desses dados, Tendo em consideração os dados existentes em diversas organizações (INMG, DGA, SCE, EDP, Institutos, Universidades e Câmaras Municipais).



Capítulo 8

Bibliografia

Referências Bibliográficas

Outra Bibliografia Consultada

1. Referências Bibliográficas

- [Agu88] Aguiar, R. J.; Collares-Pereira, M.
"Síntese de um modelo horário de radiação com base apenas na insolação média mensal; Aplicação a sistemas fotovoltaicos",
In [Fer88], 60-65.
- [Ala88] Alashqur, A. M.; Su, S. Y. W.; Lam, H.; Guo, M. S.; Barkmeyer, E.
"OQL - An Object-oriented Query Language",
IEEE Transactions on Software Engineering, 14 (5), 611-629, Maio 1988.
- [Alv90] Alves, D.
"A Data Model for Geographic Information System",
In [IGU90], 879-887.
- [Aro91] Aronoff, Stan
"Geographic Information Systems: A Management Perspective",
WDL Publications, 1991,
ISBN 0-921804-91-1.
- [Bar88] Barton, S.; Hunter, R.
"A practical comparison of various resource prediction techniques",
In [CEE88], 115-123.
- [Bat90] Batra, D.; Hoffer, J.; Bostrom, R.
"Comparing Representations with Relational and EER Model",
Communications of the ACM, 33 (2), 126-139, Fevereiro 1990.
- [Ber92] Bernhardsen, T.
"Geographic Information System - The beneficial use of geographical information technology",
VIAK IT A/S, 1992,
ISBN 82-991928-3-8.
- [Bra81] Bradley, J.
"File and Database Techniques",
New York, 1981.
- [Bur86] Burrough, P. A.
"Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment",

Oxford University Press, New York, 1986,
ISBN 0-19-854563-0.

- [Cas92] Castro, F. A.; Restivo, A.; Palma, J.
"Simulação Numérica do Escoamento em Torno de Perfis de Asa",
III Encontro de Mecânica Computacional,
Coimbra, Setembro 1992
- [CNI93] CNIG - Centro Nacional Informação Geográfica
"Sistema Nacional de Informação Geográfica",
Boletim nº 1, Junho 1993.
- [Cos93] Costa, J. R.
"SIG em Portugal: Situação Actual",
Boletim de Informação Geográfica, 1993.
- [Che76] Chen, P.
"The entity-relationship model - Toward a unified view of data",
ACM Transactions on Database System, 1 (1), 9-36, Março 1976.
- [Che85] Chen, P.
"Database Design Based on Entity and Relationship",
In [Yao85], 174-210.
- [Cod70] Codd, E. F.
"A Relational Model for Large Shared Data Banks",
Communications of the ACM, 13 (6), 377-387, Junho 1970.
- [Cod79] Codd, E. F.
"Extending the Database Relational Model to Capture More Meaning",
ACM Transactions on Database System, 4 (4), 397-434, Dezembro 1979.
- [Dat85] Date, C. J.
"An Introduction to Database System", 4ª Edição,
Addison-Wesley, 1985.
- [Dun86] Dunn, P. D.
"Renewable energies: sources, conversion and application",
Peter Peregrinus Ltd, 1986,
ISBN 0-86341-039-1.

- [ESR91a] ESRI - Environmental System Research Institute, Inc
"Address Geocoding - Management address information", Outubro 1991.
- [ESR91b] ESRI - Environmental System Research Institute, Inc
"AML User's Guide", Outubro 1991.
- [ESR91c] ESRI - Environmental System Research Institute, Inc
"ARC/INFO Data Model, Concepts, & Key Terms - The geographic information system software", Outubro 1991.
- [ESR91d] ESRI - Environmental System Research Institute, Inc
"Cell-based Modeling with GRID - Analysis, display, and management", Outubro 1991.
- [ESR91e] ESRI - Environmental System Research Institute, Inc
"COGO User's Guide - Managing surveying and engineering data", Outubro 1991.
- [ESR91f] ESRI - Environmental System Research Institute, Inc
"Data Conversion - Supported data translators", Outubro 1991.
- [ESR91g] ESRI - Environmental System Research Institute, Inc
"Dynamic Segmentation - Modeling linear features", Outubro 1991.
- [ESR91h] ESRI - Environmental System Research Institute, Inc
"Editing Coverages & Tables with ARCEDIT - ARC/INFO graphic editor", Outubro 1991.
- [ESR91i] ESRI - Environmental System Research Institute, Inc
"FormEdit User's Guide - A graphical editor for AML form menus", Outubro 1991.
- [ESR91j] ESRI - Environmental System Research Institute, Inc
"Image Integration - Incorporating images into your GIS", Outubro 1991.
- [ESR91k] ESRI - Environmental System Research Institute, Inc
"Managing Tabular Data - Design, construction, and management of feature attribute databases", Outubro 1991.
- [ESR91l] ESRI - Environmental System Research Institute, Inc
"Map Display & Query - ARC/PLOT, symbology and plotting", Outubro 1991.
- [ESR91m] ESRI - Environmental System Research Institute, Inc
"Map Projections & Coordinate Management - Concepts and procedures", Outubro 1991.

- [ESR91n] ESRI - Environmental System Research Institute, Inc
"Network Analysis - Modeling network flow and path calculation", Outubro 1991.
- [ESR91o] ESRI - Environmental System Research Institute, Inc
"Surface Modeling with TIN - Surface analysis and display", Outubro 1991.
- [ESR91p] ESRI - Environmental System Research Institute, Inc
"Using Map Libraries - Spacial database management and LIBRARIAN command references", Outubro 1991.
- [ESR92] ESRI - Environmental System Research Institute, Inc
"Understanding GIS. The ARC/INFO Method", 1992.
- [ESR93a] ESRI - Environmental System Research Institut, Inc
"ArcTools Coding Standards", Abril 1993.
- [ESR93b] ESRI - Environmental System Research Institut, Inc
"ArcTools Product Specification", Abril 1993.
- [ESR93c] ESRI - Environmental System Research Institut, Inc
"ArcTools Programmer's Guide", Abril 1993.
- [Fer88] Fernandes, E.; Maldonado, E.; Mendonça, J.
"As energias Renováveis para um Desenvolvimento Equilibrado",
4º Congresso Iberico, 2º Ibero-Americano de Energia Solar, Porto, Julho 1988.
- [Feu93] Feuchtwanger, Martin
"Towards a Geographic Semantic Database Model",
Simon Fraser University, Agosto 1993.
- [Fon93] Fonseca, V.; Painho, M.; Sousa, A.; Lopes, P.
"O Atlas do Ambiente - Versão Digital",
ESIG93 - II Encontro sobre SIG, Estoril, Novembro 1993.
- [Fra88] Frank, A. U.
"Requeriments for a Database Management System for a GIS",
Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 54 (11), 1557-1564,
Novembro 1988.

- [Fre75] Freeman, J.
"The modelling of spacial relations",
Computer Graphics and Image Processing, 4, 156-171, 1975.
- [Fre90] Freris, L. L.
"Wind Energy Conversion Systems",
Prentice Hall International, 1990,
ISBN 0-13-960527-4.
- [Gle92] Glen, R.
"The Great New Database Debate",
Canadian Datasystems, 23-26, Abril 1992.
- [Goo87] Goodchild, M. F.
"A Spatial Analytical Perspective on Geographical Information Systems",
International Journal of Geographical Information Systems, 1 (4), 327-334,
1987.
- [HEN91] HENCO Software, Inc
"INFO User's Guide", Outubro 1991.
- [Hux91] Huxhold, W. E.
"An Introduction to Urban Geographic Information Systems",
Oxford University Press, 1991,
ISBN-0-19-506534-4.
- [Kar92] Karte, G. R.
*"The GIS Book. The Smart Manager's Guide to Purchasing, Implementing
and Running a Geographic Information System"*,
Onword Press, 1992,
ISBN 0-934605-73-4.
- [Kho90] Khoshafian, S.; Abnous R.
"Object Orientation: Concepts, Languages, Databases, User Interfaces",
New York: Wiley, 1990.
- [Kim89] Kim, W.; Lochovsky F.
"Object-Oriented Concepts, Databases, and Applications",
ACM Press, Addison-Wesley Publishing Company, 1989.

- [Kin85] King, R.; McLeod, D.
"Semantic Data Models",
In [Yao85], 115-150.
- [Kor91] Korth, H. F.; Silberschatz, A.
"Database System Concepts", 2ª Edição,
McGraw-Hill, 1991.
- [Lal88] Lalas, D. P.
"Comparison of the performance of some numerical wind energy siting codes in rough terrain",
In [CEE88], 110-114.
- [Loi91] Loitsch, J.
"A Relational Database Management System with Topological Elements and Topological Operators",
Artigo não publicado, 1991.
- [Mag89] Maguire, David J.
"Computers in Geography",
John Wiley & Sons Lda, 1989,
ISBN 0-582-30171-8.
- [Mag91a] Maguire, D. J.; Goodchild, M. F.; Rhind, D. W.
"Geographical Information Systems: Principles and Applications",
Volume 1: Principles,
London and New York: Longman, 1991,
ISBN 0-582-05661-6.
- [Mag91b] Maguire, D. J., Goodchild, M. F., Rhind, D. W.
"Geographical Information Systems: Principles and Applications",
Volume 2: Applications,
London and New York: Longman, 1991,
ISBN 0-582-05661-6.
- [Mar76] Martin, J.
"Principles of Database Management",
Prentice-Hall, 1976.

- [Mar91] Marescotti, L.
"Gis and Planning: a Review of Software and Tools for a Better Environment and Territorial Organization",
European Science Foundation Workshop on European Research in GIS,
Janeiro 1991.
- [Mas91] Masser, I.; Blakemore, M.
"Handling geographical information: methodology and potential applications",
John Wiley & Sons Lda, 1991,
ISBN 0-582-06730-8.
- [McV83] McVeigh, J. C.
"Sun Power - An Introduction to the Applications of Solar Energy",
Pergamon Press, 1983,
ISBN 0-08-026147-7.
- [Med93] Medyckyj-Scott, D.; Hearnshaw, H. M.
"Human Factors in Geographical Information Systems",
Belhaven Press, 1993
ISBN 1-85293-262-7.
- [MIE90] Ministério da Indústria e Energia
"Energias Renováveis",
Plano Energético Nacional, Dezembro 1990.
- [Mon84] Monition, M.; Roux, J.
"Micro Hydroelectric Power Stations",
John Wiley & Sons, 1984,
ISBN 0-471-90255-1.
- [Mor85] Mortenson, M.
"Geometric Modeling",
John Wiley, 1985.
- [NCG89] National Center for Geographic Information and Analysis
"The Research Plan of the National Center for Geographic Information and Analysis",
International Journal of Geographical Information Systems, 3 (2), 117-136,
1989.
- [Nij89] Nijssen, G. M.; Halpin, T. A.
"Conceptual Schema and Relational Database Design",

Prentice Hall, 1989,
ISBN 0-7248-0151-0.

- [Nye80] Nyerges, T. L.
"Modeling the Structure of Cartographic Information for Query Processing",
University Microfilms International, 1980.
- [Oos91] Oosterom, P.; Vijlbrief, T.
"Building a GIS on top of the Open DBMS 'Postgres'",
In [EGIS91], 775-787.
- [Ore88] Orenstein, J. A.; Manola, F. A.
"PROBE: Spatial Data Modeling and Query Processing in an Image Database Application",
Artigo não publicado, Universidade da Florida, 1988.
- [Peu84] Peuquet, D. J.
"Data Structures for Knowledge-based Geographic Information System",
In [IGU84], 372-391.
- [Peu90] Peuquet, Donna J.; Marble, Duane F.
"Introductory readings in Geographic Information Systems",
Taylor & Francis Lda, 1990,
ISBN 0-85066-856-5.
- [Rhi88] Rhind, D.
"A GIS Research Agenda",
International Journal of Geographical Information Systems, 2 (1), 23-28,
1988.
- [Rum90] Rumbaugh, J. E.; Varwig, T. A.; Premerlani, W. J.; Blaha, M. R.
"An Object-Oriented Relational Database",
Communications of the ACM, 33 (11), 90-107, Novembro 1990.
- [Ryb90] Rybec, T.
"DBMS: Next wave could be an easier ride",
Computer World, 67-72, Março 1990.
- [Shi81] Shipman, D.
"The Functional Data Model and the Data Language DAPLEX",

ACM Transactions on Database System , 6 (1), Março 1981.

- [Smi84] Smith, T. R.; Pazner, M.
"Knowledge-based Control of Search and Learning in a Large-scale GIS",
In [IGU84], 498-519.
- [Sta90] Star, J.; Estes, J.
"Geographic Information Systems. An Introduction",
New Jersey Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1990,
ISBN 0-13-351123-5.
- [Su86] Su, S. Y.
"Modeling Integrated Manufacturing Data with SAM",
Computer, 19 (1), 34-49, Janeiro 1986.
- [Tel92] Telcik, Timothy Michael
"Vehicle Navigation using a Triangulated Irregular Network: Solving the Cross-Country Problem",
Curtin University of Technology, Novembro 1992.
- [Teo86] Teorey T. J.; Yang D.; Fry, J.
"A Logical Design Methodology for Relational Database Using the Extended Entity-Relationship Model",
Computing Surveys, 18 (2), 197-222, Junho 1986.
- [Tom90] Tomlin, C. D.
"Geographic Information Systems and Cartographic Modelling",
Englewood Prentice Hall, 1990.
- [Tro89] Troen, I.; Petersen, E. L.
"European Wind Atlas",
Commission of the European Communities
Riso National Laboratory, Dinamarca, 1989,
ISBN 87-550-1482-8.
- [Ull88] Ullman, Jeoffrey D.
"Principles of Database and Knowledge-Base System", Volume 1,
Computer Science Press, 1988.

- [Wor90] Worrall, L.
"Geographic Information Systems: Developments and Applications",
London and New York, Belhaven Press, 1990,
ISBN 1-85293-140-X.
- [Wor91] Worrall, L.
"Spatial Analysis and Spatial Policy Using Geographic Information Systems",
London Pinter Publishers, 1991,
ISBN 1-85293-141-8.
- [Yao85] Yao, S. B.
"Principles of Database Design",
Volume 1: Logical Organization,
Prentice-Hall, 1985.

2. Outra Bibliografia Consultada

- [CEE88] Comissão da Comunidade Europeia
"Proceedings, European Community Wind Energy Conference",
Dinamarca, Junho 1988
H. S. Stephens & Associates.
- [Cre91] Cressie, N.
"Statistics for Spacial Data",
John Wiley and Sons Inc, New York, 1991,
ISBN 0-471-84336-9.
- [Don91] Donnay, J. P.
"Usefulness and Pitfalls of GIS Applications in a Frontier Region Context",
European Science Foundation Workshop on European Research in GIS,
Janeiro 1991.
- [Doy91] Doyle, A. V.
"Transportation officials explore new avenues with dynamic segmentation",
Computer Graphics World, Outubro 1991.
- [Eff92] Effenberg, Wolfgang W.
"Time in Spatial Information Systems",
The Firts Regional Conference on GIS Research in Victoria and Tasmania,

- Ballarat University College, Setembro 1992.
- [EGI91] Proceedings
European Conference, Geographic Information Systems,
Bruxelas, Bélgica, Abril 1991.
- [IGU84] International Geographical Union
"Proceedings, International Symposium on Spatial Data Handling",
Geographisches Institut, Zurique, Agosto 1984.
- [IGU90] International Geographical Union
"Proceedings, Fourth International Symposium on Spatial Data Handling",
Zurique, Julho 1990.
- [Kem92] Kemp, K. K.
"Environmental Modeling with GIS: A Strategy for Dealing with Spatial Continuity",
University of California, Santa Barbara, Dezembro 1992.
- [Lap92] Lapalme, G.; Rousseau, J.; Chapleau, S.
"GEO- A Geographic Information System for Transportation Applications",
Communications of the ACM, 35 (1), Janeiro 1992.
- [Mor93] Mortenson, N.; Landberg, L.; Troen, I.; Petersen, E.
"Wind Atlas Analysis and Application Program (WASP)",
Volume 1: Getting Started
Volume 2: User's Guide
Riso National Laboratory, Dinamarca, Janeiro 1993.
- [Rhi89] Rhind, D.
"Why GIS?",
ARC News, Environmental System Research Institute, Verão 1989.
- [Rhi91] Rhind, D.
"The Next Generation of GIS and the Context in Which They Will Operate",
European Science Foundation Workshop on European Research in GIS,
Janeiro 1991.

- [Rum88] Rumbaugh, J. E.; Premerlani, W. J.; Blaha, M. R.
"Relational Database Design using an Object-Oriented Methodology",
Communications of the ACM, 31 (4), 414-427, Abril 1988.
- [Sen90] Sena, M. L.
"Setting a standard for Geographic Information Systems",
Computer Graphics World, Dezembro 1993.
- [Smi93] Smith, B.; Eglowstein, H.
"Putting Your Data on the Map",
BYTE, Janeiro 1993.
- [Sou92] Southby, L.
"Spatial Statistical Analysis: Vector versus Raster",
The Firts Regional Conference on GIS Research in Victoria and Tasmania,
Ballarat University College, Setembro 1992.
- [Spa91] Spaziante, A.
*"Spacial Analysis, Particularly Addressed to Geographical Information Users
in Local Government"*,
European Science Foundation Workshop on European Research in GIS,
Janeiro 1991.
- [Sun93] Sun, Yuguo
"Description and Representation of Spacial Topological Relationship",
AUSIA'93 - Advances in Urban Spatial Information and Analysis,
Press of Wuhan Technical University of Surveying / Mapping, Outubro 1993,
ISBN 7-81030-296-5.
- [Tay80] Taylor, D. F.
"The Computer in Contemporary Cartography",
John Wiley & Sons Lda, 1980,
ISBN 0-471-27699-5.
- [Web91] Weber, C.
*"What Could Be Considered as Available Information for GIS Integration
Processes: Nature and Implications"*,
European Science Foundation Workshop on European Research in GIS,
Janeiro 1991.

- [Weg91] Wegener, M.
*"Universal GIS versus National Land Information Traditions:
Internationalisation of Software or Endogenous Developments?"*,
European Science Foundation Workshop on European Research in GIS,
Janeiro 1991.

Apêndice A

Software ARC/INFO

Introdução

Estrutura do Software

Modelos de Dados

Perspectiva Histórica

A.1 Introdução

O software ARC/INFO foi desenvolvido e continua a ser suportado pelo Environmental Systems Research Institute, Inc. (ESRI), de Redlands, California. O ESRI é um instituto de investigação, fundado em 1969, que se dedica, de entre outras tarefas, ao desenvolvimento de técnicas de gestão de informação geográfica. A actual linha de produtos ESRI inclui o software ARC/INFO, o ArcView, o ArcCAD e o PC ARC/INFO.

A apresentação feita neste Apêndice diz respeito ao produto ARC/INFO, embora muitos dos conceitos focados se apliquem aos restantes produtos. Optou-se aqui pela utilização de alguns termos sem os traduzir para português por se tratarem de designações específicas do ARC/INFO.

As diferentes características do ARC/INFO, como sejam a arquitectura e organização dos dados, a sua funcionalidade, a abertura a formatos de dados de outros sistemas (SIG e CAD), a outras bases de dados alfanuméricas (Oracle, Rdb, Ingres, etc) e a outras tecnologias (como por exemplo, imagem e som), são alguns dos seus pontos fortes [ESR92] [ESR91c].

Inicialmente o ARC/INFO existia apenas para alguns sistemas, a funcionar em regime de tempo distribuído, e era utilizado exclusivamente a partir de terminais gráficos. Actualmente o ARC/INFO é independente do hardware, e como tal, está preparado para correr numa grande variedade de plataformas, desde os *mainframe* até aos PC. Quanto aos periféricos, o ARC/INFO suporta praticamente todos os terminais Tektronix ou outros terminais que os emulem, e é virtualmente possível utilizar qualquer mesa digitalizadora desde que opere em *point mode* e utilize comunicação série. No que se refere a traçadores gráficos (*plotters*) o ARC/INFO utiliza os standards Calcomp, e possui, para além de *drivers* para Calcomp electroestático, HP, Brunning Zeta e Gerber, interfaces para o formato Postscript e para o sistema Scitex Laser Scan, este último destinado à produção de mapas de elevada qualidade.

Em termos de sistema operativo, o ARC/INFO suporta várias versões UNIX (por exemplo, HP-UX, IRIX, ULTRIX) e os sistemas VMS, VM/CMS, MS-DOS, PRIMOS e AOS/VS.

O ARC/INFO tem capacidade para funcionar em rede, admitindo assim acessos simultâneos e concorrenciais. É possível usar cartas Ethernet e driver-X para PC ou Macintosh, possibilitando a sua utilização como terminais X. A interface gráfica do ARC/INFO é ambiente X-Windows e suas extensões.

A.2 Estrutura do Software

O software ARC/INFO, projectado pelo ESRI como um SIG do tipo *vector*, é constituído por duas componentes primárias: o ARC, escrito pelo ESRI, responsável por um conjunto de operações de gestão, armazenamento e tratamento de informação gráfica e o INFO que é um SGBDR, desenvolvido pela HENCO Corporation, destinado ao armazenamento e processamento de informação alfanumérica [HEN91]. Para além disso, a actual versão do ARC/INFO (versão 6.1.1), possui uma série de outros subsistemas que agrupam comandos por afinidades funcionais. De seguida, apresenta-se uma breve descrição sobre o sistema e subsistemas existentes no ARC/INFO.

ARC

Este é o ambiente do programa principal do ARC/INFO que permite iniciar cada um dos outros subsistemas. Possui um conjunto de extensões de comandos que apoiam a realização das seguintes tarefas: conversão de vários tipos de formatos de dados do e para o ARC/INFO, digitalização e edição de coberturas, gestão de ficheiros e de espaços de trabalho (*workspaces*), projecção e transformação de coordenadas, manutenção da topologia, operações analíticas, gestão e manipulação dos atributos associados às entidades gráficas.

Muitas das funções existentes no ARC, são comandos que podem ser executados em ambiente *batch*, podendo, por isso, usar-se terminais alfanuméricos, enquanto que os restantes subsistemas são por natureza interactivos e necessitam de terminais gráficos.

ARC DIGITIZING SYSTEM

O ARC Digiting System (ADS) é utilizado durante os processos de digitalização e edição das entidades gráficas: ponto, linha e área. As linhas são introduzidas como uma série de coordenadas (x, y). As linhas que definem a fronteira dos polígonos são introduzidas da mesma forma e sem qualquer tipo de restrição de sequência. Não são necessários procedimentos especiais para o tratamento de, por exemplo, identificador esquerdo/direito ou polígonos compostos por uma única linha (ilha), uma vez que existem comandos no ARC/INFO (especialmente o CLEAN e o BUILD) que, após a digitalização, criam e actualizam automaticamente as relações espaciais.

INFO

Trata-se dum sistema de gestão de base de dados relacional (SGBDR) de quarta geração que possibilita a criação, gestão, interrogação e descrição de informação não-gráfica. Contrariamente a outros SGBD, os quais possuem normalmente uma base de dados central, a base de dados INFO baseia-se em ficheiros. Cada base de dados INFO é um sistema de directórios com determinado conjunto de ficheiros. Cada espaço de trabalho ARC/INFO contém um directório INFO. No ARC/INFO, um espaço de trabalho é um directório que possui um conjunto de coberturas e o subdirectório INFO. O subdirectório INFO possui para além das Feature Attribute Tables (FAT) quaisquer outros ficheiros INFO a elas associadas. Do ponto de vista do utilizador, o processamento dos ficheiros INFO faz-se como se de uma única base de dados se tratasse. Esses ficheiros estão acessíveis a partir dos subsistemas do ARC/INFO e do SGBDR INFO.

TABLES

Subsistema que contém um conjunto de ferramentas adequadas à actualização directa da informação existente nas FAT [ESR91k].

ARCEDIT

O ARCEDIT é um editor tanto gráfico como de base de dados [ESR91h]. Possui um conjunto mais estruturado de ferramentas de edição e digitalização que se destinam à captura e actualização das entidades espaciais existentes nas coberturas, assim como, dos atributos existentes na base de dados INFO ou bases de dados externas. Pode-se acrescentar anotações, utilizar outros níveis de informação como visualização auxiliar (*background*), diagnosticar e corrigir erros de digitalização e realizar operações de distorção elástica (*rubber sheeting*) e *edgematching*. O ARCEDIT utiliza o princípio de edição orientado a entidades e durante as operações de edição, pode-se mover, copiar, acrescentar, eliminar e actualizar qualquer entidade gráfica, assim como os vértices que existam ao longo duma linha. As anotações de texto podem ser escaladas, rodadas, espaçadas proporcionalmente ou colocadas em qualquer direcção com *offset* a partir dum ponto.

Possui capacidades para a criação e actualização dos atributos tabulares, associados às entidades gráficas, possibilidades de transferência de atributos entre diferentes coberturas ou entre entidades e capacidades de cálculo de novos valores para um conjunto seleccionado de entidades.

ARC PLOT

Trata-se de um subsistema interactivo que permite visualizar, estruturar, compor e produzir mapas [ESR911]. Com o ARC PLOT é possível posicionar, escalar, visualizar e manipular todas as diferentes componentes cartográficas existentes na base de dados e produzir ficheiros prontos a serem imprimidos. As funções interactivas de interrogação que o ARC PLOT disponibiliza permitem seleccionar e visualizar entidades que verificam determinado critério, apoiando assim a criação de mapas que reflitam a informação existente na base de dados. O ARC PLOT possui uma extensa biblioteca de símbolos cartográficos e disponibiliza meios para a criação de novos símbolos.

LABRARIAN

O LABRARIAN possui um conjunto de ferramentas que facilitam a gestão de bases de dados de grande dimensão. Está desenvolvido, conceptual e operacionalmente, no ARC/INFO e, por isso, utiliza somente as estruturas de dados existentes no ARC/INFO e no sistema operativo. Pode usar-se os comandos do ARC PLOT para interrogar, visualizar e/ou modelar conjuntos de dados [ESR91p].

Para aceder a um conjunto alargado de dados espaciais, o LABRARIAN utiliza uma estrutura interna de indexação espacial fracionada de duas formas: por mosaicos (*tiles*) e por níveis (*layers*). Um mosaico é uma área contígua guardada numa mesma partição. Os mosaicos podem ter dimensões uniformes ou irregulares (pode usar-se, por exemplo, as fronteiras administrativas como esquema de fraccionamento). Cada mosaico é representado fisicamente por um espaço de trabalho ARC/INFO, contendo somente os dados referentes à sua extensão. Um nível define um tema para o conjunto dos dados. Níveis com as mesmas fronteiras de mosaico são espacialmente coincidentes. Um bloco constituído por um nível num mosaico é designado por secção do mapa e traduz-se fisicamente numa cobertura ARC/INFO.

DATABASE INTEGRATOR

O DATABASE INTEGRATOR (DBI) permite ao software ARC/INFO aceder a dados tabulares armazenados num SGBD externo e associá-los às entidades espaciais armazenadas no ARC/INFO sem que para tal seja necessário alterar os formatos. Através do DBI, as capacidades próprias do SGBD são disponibilizadas para o ARC/INFO de uma forma transparente. Uma vez que o DBI implementa o modelo cliente/servidor, é possível através do DBI Developer's Kit (DBI Kit) implementar servidores que permitam integrar SGBD com o ARC/INFO.

IMAGE INTEGRATOR

O IMAGE INTEGRATOR possibilita a visualização concorrential de imagens em formato *vector* e *raster* [ESR91j]. Consiste num conjunto de comandos, dispersos pelos módulos ARC, ARCEDIT e ARCPLOT, que permitem georeferenciar imagens em coordenadas do mundo real, armazenar e gerir conjuntos de imagens relacionadas espacialmente e controlar modos de visualização de imagens a preto-e-branco, níveis de cinzento, pseudo-cor ou cor-verdadeira.

ARC MACRO LANGUAGE

O sistema ARC/INFO possui uma linguagem de programação de quarta geração, designada por Arc Macro Language (AML) que deriva da linguagem CPL (Command Procedure Language) que existia para os computadores Prime [ESR91b]. A AML é uma linguagem estruturada, do tipo interpretada e utiliza princípios, conceitos e técnicas muito semelhantes às existentes nas linguagens de programação de alto-nível.

Apoia o desenvolvimento de aplicações, com interfaces gráficas baseadas em menus, permite automatizar acções de realização frequente e possibilita a criação de comandos compostos. É também possível estruturar uma série de procedimentos que devem ser realizados antes de qualquer trabalho ser dado como concluído e possibilita aos novos e inexperientes utilizadores a realização de operações complexas, sem conhecerem especificamente os comandos necessários à sua concretização.

Para além do sistema ARC/INFO base, o ESRI tem vindo a desenvolver um conjunto complementar de extensões, licenciadas separadamente e completamente integráveis no ARC/INFO, tanto em termos conceptuais como funcionais. Estas extensões, ou módulos, são actualmente as seguintes:

ARC/INFO NETWORK

Este módulo gere e avalia as actividades efectuadas em redes geográficas formadas por elementos lineares interligados, como sejam, redes de infraestruturas (electricidade, telefones, água, saneamento, gás, etc), rios, estradas e outras, de modo que os recursos distribuídos através destas possam ser geridos com a máxima eficiência [ESR91n]. O ARC/INFO NETWORK baseia-se na conectividade dos arcos que constituem uma rede e no conhecimento da resistência ao movimento (impedâncias definidas por atributos) associada a

cada um dos seus elementos (nós e arcos). O ARC/INFO NETWORK inclui as seguintes capacidades operacionais:

- *route* - permite determinar o melhor caminho entre dois pontos de uma rede destinada ao transporte de um dado recurso, entrando em consideração com eventuais barreiras e paragens obrigatórias;
- *allocate* - para identificar a extensão da influência dum centro colector ou distribuidor de determinado recurso, tendo em consideração as necessidades de cada troço da rede, a capacidade do centro e a distância máxima admissível entre o centro e um elemento da rede por este servido;
- *address matching* ou *geocoding* - para relacionar endereços com a sua localização geográfica;

ARC/INFO TIN

O ARC/INFO TIN (Triangulated Irregular Network) permite construir, armazenar, gerir e analisar superfícies tridimensionais [ESR91o]. Trabalha com dados digitais de relevo, sob a forma de curvas de nível ou de pontos cotados, regular ou irregularmente distribuídos, e como a estrutura de dados inclui as relações topológicas entre os pontos que definem cada triângulo e os triângulos adjacentes, é possível produzir cartas de declive, exposição e altitude, gerar perfis do terreno, calcular volumes, áreas e comprimentos, efectuar estudos de modelação e de visibilidade. As capacidades de visualização apoiam a visualização tridimensional do terreno, de diferentes ângulos, orientações e resoluções, com a possibilidade de poder sobrepôr elementos cartográficos bidimensionais. Cada vista deve ser previamente gravada para que possa ser usada no ARCPLOT.

ARC/INFO COGO

A extensão ARC/INFO COGO (Coordinate Geometry) destina-se a apoiar a execução de tarefas relacionadas com a geometria, incluindo o cálculo de coordenadas, azimutes, ângulos, definição e ajuste de curvas, intersecção de linhas, transformação de coordenadas, etc [ESR91e].

ARC/INFO GRID

O ARC/INFO GRID é o subsistema ARC/INFO destinado ao geoprocessamento de imagens *raster*. Dispõe da funcionalidade de um SIG mas, lida com informação em formato *raster*.

[ESR91d]. Os formatos ARC/INFO GRID são convertíveis nos outros formatos ARC/INFO e vice-versa.

O ARC/INFO GRID opera num conjunto de dados baseados em células, designado por grelha. Uma célula é uma entidade espacial da grelha e o valor associado à célula representa o tema ou o valor do nível. Para efectuar a visualização das grelhas, o ARC/INFO GRID utiliza o ambiente gráfico do ARCPLOT e do ARCEDIT.

Todas as capacidades de interrogação do ARCPLOT estão também disponíveis no ARC/INFO GRID. O resultado de uma interrogação só é apresentada graficamente, isto é, não é criada uma nova grelha. Para o obter, é necessário utilizar funções apropriadas do ARC/INFO GRID.

Os comandos do ARC/INFO GRID permitem gerir as grelhas e o ambiente em que estas são processadas. Os seus operadores realizam transformações matemáticas sobre as grelhas, tabelas, escalas e combinações válidas entre si. As suas funções são ferramentas de modelação de cartografia desenvolvidas especificamente para a análise de dados baseados em células.

Todas as comunicações com o interpretador do ARC/INFO GRID são feitas usando a Map-Algebra Language (MAL). Trata-se de uma linguagem de alto-nível desenvolvida especificamente para sistemas geográficos baseados em células. Esta linguagem estabelece, para o controlo do processamento dos dados, um conjunto de convenções que descrevem como é que os operadores são especificados, sobre que dados é que operam, e por que ordem é que as operações são processadas.

A.3 Modelos de Dados

O modelo de dados do ARC/INFO é um modelo georelacional híbrido suportado numa base de dados cartográfica. Os dados são armazenados num conjunto de coberturas com estrutura topológica. As coberturas são as unidades base de armazenamento de dados em formato *vector*, suportando diversos tipos de entidades geográficas. O modelo de dados base do ARC/INFO é um modelo genérico que descreve entidades geográficas abstratas - pontos, linhas e áreas - em que a informação descritiva está guardada em tabelas relacionais.

Cada subsistema ARC/INFO constroi um modelo de dados específico com base no modelo de dados genérico, como por exemplo, o modelo grelha para os dados *raster* e o modelo *tin* e *lattice* para a representação de superfícies. Cada modelo é caracterizado pelas entidades que

suporta, os seus métodos de representação da localização e a sua estrutura de dados; cada um tem as suas próprias vantagens e limitações, e suporta operações geográficas próprias.

A descrição dos modelos de dados do ARC/INFO pode ser dividida nas seguintes áreas específicas [ESR92][ESR91c]:

Base de Dados Cartográfica

O software ARC/INFO é um sistema de base de dados cartográficos construído em torno de um modelo híbrido de dados. Os dados geográficos são organizados segundo os modelos georelacional e topológico. Estes modelos pretendem assegurar o eficiente tratamento de duas classes genéricas de dados espaciais: os dados de localização, que descrevem graficamente a posição e a topologia das entidades ponto, linha e área; e os atributos, que representam a informação descritiva referente às características dessas entidades.

Modelo Georelacional

A abordagem georelacional envolve a abstração da informação geográfica numa série de níveis ou coberturas independentes, cada uma representando um certo conjunto de entidades geográficas estritamente relacionadas entre si (por exemplo, estradas, rios, parcelas, etc). Esta abordagem facilita bastante a combinação com o SGBDR associado a este software.

Estrutura Topológica

A topologia representa as relações espaciais de conectividade ou adjacência entre as entidades da cobertura. Por exemplo, a topologia de um arco inclui o seu *from-node*, o *to-node* (início do arco e o fim do arco) e os seus polígonos esquerdo e direito. As relações topológicas são construídas partindo dos elementos mais simples para os elementos mais complexos: pontos (entidade mais simples) arcos (conjunto de pontos ligados) e áreas (conjunto de arcos ligados). Com este processo, eliminam-se dados redundantes (coordenadas) uma vez que um arco pode representar tanto uma entidade linear (ou parte de uma entidade linear) como parte da fronteira de um polígono.

O ARC/INFO representa explicitamente todas as entidades mapa por conjuntos de arcos e pontos e as relações topológicas entre pontos e linhas. Por exemplo, um polígono é definido pelo conjunto dos arcos que formam a sua fronteira. Neste caso, um arco é o limite entre dois polígonos. Um arco pode também fazer parte de um caminho com ligação a outros arcos.

Cobertura

No ARC/INFO, a unidade base de gestão de dados é a cobertura, a qual define atributos de posição e temáticos para as entidades mapa existentes numa determinada área. Uma cobertura é a versão digital de um nível de informação de uma carta e geralmente descreve um tipo de entidade mapa. O conceito de cobertura baseia-se no modelo topológico com diversos tipos de informação geográfica agrupados na forma de Classes Entidade. Numa cobertura, as entidades mapa são armazenadas como pontos, arcos ou polígonos. Os dados relativos à posição dessas entidades são representados explicitamente (como uma série de coordenadas (x, y)) ou então topologicamente (como combinação de outras entidades).

Numa cobertura as entidades estão estruturadas logicamente em níveis ou temas de informação. A gestão e utilização dos dados espaciais como uma base de dados contínua, (ligação entre coberturas adjacentes) é realizada através da criação de mapotecas (Map Libraries).

A cobertura pode conter várias Classes Entidade que são usadas na representação duma vista sobre os objectos existentes no mundo real (tipicamente classificados como pontos, linhas, áreas ou superfícies). Para a maior parte das Classes Entidade pode construir-se Feature Attribute Tables (FAT). Estas tabelas contêm alguns atributos primários, tais como, AREA para os polígonos e LENGTH para os arcos. É vulgar acrescentar mais itens para permitir associar ou relacionar estas entidades com outros dados tabulares.

Classes Entidade

Uma Classe Entidade (CE) representa um tipo específico de dados geográficos e é uma unidade fundamental da base de dados geográfica do ARC/INFO. Cada CE pode ter associado tabelas de atributos designadas genericamente por Feature Attribute Tables (FAT). Cada tabela define os atributos, designados aqui por items, para todas as entidades da classe existente na cobertura. Cada entidade possui individualmente um registo na sua respectiva tabela de atributos. As FAT são parte integrante da cobertura e são processadas pelo ARC para todos os comandos ARC/INFO que afectam a cobertura. A seguir, apresentam-se as Classe Entidade utilizadas no ARC/INFO e o tipo específico de informação geográfica que representam:

- arco (*arc*): simbolizam as entidades lineares e as fronteiras das entidades área. Trata-se de um conjunto contínuo de pares de coordenadas (x, y) com início numa determinada posição e fim noutra. Possui comprimento e não possui área. Um arco é a forma digital duma linha. Topologicamente, os arcos estão ligados às suas

extremidades (nós) e às áreas que delimitam (polígonos). A informação topológica, de cada arco que exista numa cobertura, é armazenada na Arc Attribute Table (AAT);

- *nó (node)*: representam as extremidades das entidades arco e a intersecção das entidades lineares. Topologicamente, os nós estão ligados aos arcos de que constituem extremidades;
- *polígono (polygon)*: definem as entidades área. Topologicamente, os polígonos estão ligados aos arcos que o delimitam e a um ponto (*label point*) colocado no seu interior. A informação topológica associada aos polígonos é armazenada na Polygon Attribute Table (PAT);
- *ponto (point ou label point)*: representam as entidades pontuais ou são associados topologicamente aos polígonos que os contêm;
- *anotação (annotation)*: constituem cadeias de caracteres destinadas à descrição das entidades da cobertura e não dependem topologicamente de qualquer outra entidade;
- *mira (tics)*: pontos de registo e controlo geográfico. Permitem associar às entidades de uma cobertura um sistema de coordenadas comum;
- *route*: entidade linear à qual são associados atributos ou referenciados acontecimentos. *Routes* são criadas ao longo dos arcos por combinação de secções;
- *secção (section)*: representa a totalidade ou parte de um arco;
- *ligação (link)*: segmento tipo dois-pontos que representam as posições de e para no ajuste de coordenadas;
- *dimensão da cobertura (coverage extent)*: representa os limites reais da cobertura. O ficheiro BND contém as coordenadas (min x, min y, máx x, máx y) do menor rectângulo que contempla todas as entidades duma cobertura.

Grelha

No ARC/INFO, o equivalente à cobertura mas baseado em células é a *grelha (grid)*. Esta estrutura de dados é usada pelo subsistema ARC/INFO GRID no tratamento de informação em formato *raster*. Numa *grelha* a célula é a entidade espacial primária e os seus valores

representam os valores do tema. Cada célula é quadrada e numa grelha todas as células possuem a mesma dimensão. No entanto, podem existir na base de dados grelhas com resoluções diferentes. Quando as operações ou as funções necessitam de cruzar grelhas de diferentes resoluções, é feita previamente uma amostragem automática às resoluções das grelhas de entrada seguida de uma normalização das mesmas. Tal como a cobertura, cada grelha representa uma variável espacial, um tema ou um nível. Enquanto na cobertura as entidades são armazenadas como uma série de coordenadas (x, y) e relações topológicas, na grelha as células são armazenadas na forma matricial com linhas e colunas.

O sistema de coordenadas da grelha é o mesmo que para os restantes dados geográficos. As linhas e colunas são paralelas aos eixos x e y do sistema de coordenadas. Como todas as células possuem a mesma dimensão, a localização e a área coberta por qualquer célula é facilmente determinada pela sua linha e coluna. Assim, o sistema de coordenadas da grelha pode ser definido sabendo a dimensão de cada célula, o número total de linhas e colunas e a coordenada (x, y) do extremo superior esquerdo da grelha.

Uma grelha tem sempre associada uma Value Attribute Table (VAT) que armazena informação descritiva para o conjunto das células nela existente.

No ARC/INFO, as grelhas de grande dimensão são automaticamente subdivididas em blocos rectangulares menores, tornando assim ilimitado o número de linhas e colunas. O processo de subdivisão usado pelo ARC/INFO GRID otimiza os acessos sequenciais e aleatórios às células de cada bloco. Para cada bloco, o ARC/INFO GRID aplica técnicas de compressão adaptativas, sensíveis aos valores das células de cada bloco. Estes processos reduzem as necessidades de armazenamento e aumentam a velocidade de acesso.

As coberturas e as grelhas são duas estruturas de dados espaciais georelacionais. Esta possibilidade de associar atributos é fundamental para a representação e modelação exacta das entidades geográficas.

Tabelas de Atributos

Uma forma de unificar as diversas estruturas de dados das BD geográficas é através das tabelas de atributos que possuam informação descritiva acerca das entidades geográficas. Os atributos são armazenados em tabelas e relacionados com as entidades geográficas através de um identificador, designado genericamente por ID.

O ARC/INFO está apto a gerir três tipos de tabelas de atributos: Feature Attribute Table (FAT), ficheiros de dados INFO e tabelas de atributos que residam em SGBDR externos (por exemplo, INFORMIX, INGRES, ORACLE, SYBASE).

Alguma terminologia usada para os ficheiros de dados INFO difere da usada habitualmente para as tabelas dos SGBDR. Os ficheiros INFO contêm registos e itens enquanto que as tabelas SGBDR contêm linhas e colunas. Existe uma equivalência directa entre linha/registo e coluna/item.

A associação dos dados residentes em tabelas de SGBDR externos e as tabelas INFO associadas às coberturas e às grelhas, é feita via DATABASE INTEGRATOR.

No caso das coberturas, parte da informação a elas associadas é armazenada num conjunto especial de tabelas que são administradas pelo ARC/INFO. Estas tabelas existem para algumas das Classes Entidade e são designadas por Feature Attribute Tables (FAT). Uma cobertura pode possuir várias FAT, cada uma associada a uma Classe Entidade em particular. O nome atribuído às FAT deriva da concatenação entre o nome da cobertura e um sufixo de três letras indicativo do tipo de FAT. Por exemplo, uma cobertura chamada SOLOS, contendo polígonos, possui uma Polygon Attribute Table chamada SOLOS.PAT.

A tabela A.1 apresenta uma descrição das Classes Entidade e correspondentes FAT. Note-se que a Point Attribute Table possui o mesmo sufixo e contem os mesmos itens que a Polygon Attribute Table.

Classe Entidade	Nome da FAT	Descrição
ponto	PAT	Point Attribute Table
arco	AAT	Arc Attribute Table
nó	NAT	Node Attribute Table
polígono	PAT	Polygon Attribute Table
anotação	TAT.subclass	Text Attribute Table
route	RAT.subclass	Route Attribute Table
secção	SEC.subclass	Section Attribute Table

Tab. A.1 - Classes Entidade e respectivas Feature Attribute Tables

Cada FAT possui sempre, e por omissão, um conjunto mínimo de itens. Por exemplo, cada Polygon Attribute Table possui, pelo menos, estes quatro itens: AREA, PERIMETER, COVER# e COVER-ID. Itens posteriormente introduzidos na FAT podem ser usados como atributos chave para relacionar as entidades da cobertura com outros atributos. Assim, pode dizer-se que a FAT funciona como tabela chave entre as entidades da cobertura e os atributos suplementares que possam existir. Através dos registos das FAT é possível gerir relações do tipo um-para-muitos e muitos-para-muitos e manter correspondência unária com as

entidades da cobertura. Na FAT, existe sempre um registo correspondente a cada entidade da cobertura.

No caso das grelhas, os dados respeitantes aos valores das células residem nas Value Attribute Tables (VAT). Estas tabelas são bastante semelhantes às FAT. Contêm, pelo menos, dois items: VALUE e COUNT, sendo, respectivamente, o valor da célula e o número de ocorrências desse valor na grelha. Assim, um determinado registo da VAT pode estar associado a inúmeras células da grelha, isto é, a todas as células que possuam o mesmo valor para o item VALUE.

Podem ser acrescentados mais items à tabela VAT para relacionar as células com atributos armazenados noutras tabelas. As tabelas VAT são geridas como parte do modelo georelacional do ARC/INFO e da mesma forma que o são as FAT para as coberturas. Deste modo, todos os operadores relacionais disponíveis para as coberturas também se encontram nas grelhas.

Tin

Existem dois métodos de representação de superfícies num SIG: *tins* e *lattices* [ESR91o]. TIN é a sigla para Triangulated Irregular Network.

Analisando uma superfície, pode verificar-se que qualquer ponto nela existente pode ser usado na sua representação. A existência de um número ilimitado de pontos candidatos à representação, torna necessário a determinação de um conjunto mínimo de pontos, ditos essenciais, que permitam uma representação da superfície tão próxima da realidade quanto possível. Este conjunto de pontos é o usado na construção de um modelo teórico da superfície, a partir do qual se pode calcular, por interpolação, o valor *z* para qualquer outro ponto.

Um *tin* recorre às entidades triângulo, nó e aresta para interligar um conjunto de posições (*x*, *y*, *z*) espaçadas irregularmente. Os nós representam as posições (*x*, *y*, *z*) que servem de base à construção do *tin*. A ligação de cada nó aos seus vizinhos dá origem a triângulos. As arestas são os lados dos triângulos. A estrutura exacta de um *tin* (nós interligados formando triângulos) baseia-se em determinadas regras de triangulação que controlam o processo da sua criação.

No ARC/INFO, a representação de superfícies pode basear-se tanto em grelhas como em *tins*. As maiores vantagens da estrutura *tin* advêm da sua capacidade para criar superfícies a partir de uma enorme variedade de origens, da facilidade em definir *breaklines* (uma *breakline* é uma entidade linear com posições (*x*, *y*, *z*) bem conhecidas; durante a

triangulação as *breaklines* pertencem sempre a arestas de triângulos), da capacidade para tratamento de superfícies descontínuas e áreas com valores desconhecidos (*no-data*) [ESR91c].

Lattice

Um *lattice* é constituído pelo conjunto dos pontos mais representativos duma superfície, regularmente amostrados e espaçados. Cada ponto representa uma posição (x, y, z) da superfície. No ARC/INFO, os *lattices* utilizam a mesma estrutura de dados das grelhas. Por outras palavras, no ARC/INFO um *lattice* é uma grelha. A diferença está na forma como os vários operadores interpretam os dados contidos na grelha. No *lattice*, os pontos centrais de cada célula são os usados como pontos da malha *lattice*. Os valores dos pontos fora da malha são determinados por interpolação a partir de pontos vizinhos [ESR91o].

Imagem

Dentro do ARC/INFO o subsistema IMAGE INTEGRATOR possui todas as ferramentas necessárias à gestão e visualização de imagens.

Uma imagem é uma pintura em formato digital formada por células espaçadas regularmente, habitualmente designadas por *pixels*. Os *pixels* são células organizadas de forma matricial, de todo semelhante à estrutura existente nas grelhas [ESR91c]. As imagens podem ser usadas, quer como imagens mapa com georeferenciação, quer como atributos de entidades gráficas.

As imagens mapa representam uma área geográfica com uma determinada extensão geográfica. As proveniências mais comuns incluem as imagens de mapas em papel produzidas via *scanner*, imagens de satélite e de detecção remota, fotografia aérea e ortofotos. As imagens mapa são armazenadas no mesmo, ou noutro qualquer, sistema de coordenadas existente para a base de dados geográfica, sendo sempre necessário proceder à sua georeferenciação. A gestão das imagens mapa é feita recorrendo ao conceito de catálogo de imagens. Um catálogo de imagens não é mais do que ficheiro INFO especial que contém o nome das imagens, a sua extensão geográfica e informação descritiva suplementar.

No caso das imagens como atributos de entidades gráficas, existe dois processos de gestão: armazenar o caminho de acesso ao ficheiro da imagem como atributo da entidade ou armazenar a imagem como objecto de dados (referido muitas vezes como Binary Large Objects - BLOB) num SGBDR externo, por exemplo, INFORMIX, ORACLE ou INGRES [ESR91j].

Desenhos CAD

Os sistemas CAD têm sido utilizados ao longo dos anos na produção de mapas e desenhos diversos, muitos dos quais adequados à integração numa base de dados geográfica. Estes desenhos, uma vez na base de dados geográfica, utilizam os mesmos princípios das imagens. São uteis na caracterização de uma determinada área mas, inadequados para análise e modelação [ESR91c].

No ARC/INFO os desenhos CAD são suportados através da interface de visualização DXF ou através dos conversores de formatos. A interface de visualização DXF visualiza automaticamente ficheiros em DXF (ASCII ou binários) sem a necessidade de proceder à sua conversão [ESR91f].

Na tabela A.2 está sumariado o conjunto de Dados Geográficos existente no ARC/INFO.

Dados Geográficos	Estrutura de Dados	Objecto Espacial	Tabela de Atributos
cobertura	vector, arco-nó, topológica, georelacional	arcos nós polígonos pontos anotações miras routes secções	AAT NAT PAT PAT TAT TIC REC SEC
grelha	raster, georelacional	células	VAT
tin	superfície, triangulated irregular network	triângulos	nenhuma
lattice	superfície, grelha, raster	pontos xyz	nenhuma
imagem	raster	pixels bandas	nenhuma
desenhos	CAD	entidades níveis	nenhuma

Tab. A.2 - Modelos de dados do ARC/INFO. Resumo

A.4 Perspectiva Histórica

No ano da sua fundação (1969), o ESRI estabeleceu com o concelho de San Diego, na California, um contrato que visava o desenvolvimento do Polygon Information Overlay System (PIOS). Após uma década no desenvolvimento e suporte de software SIG customizado, o ESRI iniciou o desenvolvimento de um produto genérico com princípios de sistemas de gestão de base de dados, computação gráfica e cartografia, surgindo assim, em 1982, o que seria a primeira versão do software ARC/INFO. Esta primeira versão aparece com cerca de quatro dezenas de comandos e para plataformas de hardware designadas de minicomputadores.

As versões 2.0 e 2.1 surgem em 1983, com melhorias a vários níveis, passando a incluir capacidades de geração de *buffers* e avançadas técnicas de impressão (*plotting*).

Em 1984, surgem as versões 2.2 e 2.3, que incluem as funcionalidades do LABRARIAN e a extensão ARC/INFO NETWORK. Aumenta substancialmente o número possível de projecções de mapa e formatos para a entrada de dados.

Na versão 3.0, introduzida no mercado em 1985, o ARC/INFO inclui sofisticadas ferramentas de edição e aumenta a capacidade de interrogação espacial.

Os esforços de investigação e desenvolvimento iniciados em 1986, no estudo de estruturas de dados, capacidades de processamento e melhoria do desempenho, interfaces com o utilizador e integração de hardware e software, resultam nas versões 3.1 e 3.2. Passam a existir as extensões ARC/INFO COGO e ARC/INFO TIN, a suportar novos tipos de projecções de mapa e formatos de dados e a existir capacidades de *address matching* e *geocoding*.

Em 1987 aparece a versão 4.0 que inclui a Arc Macro Language (AML), extensão do ARC/INFO COGO para o ARCEDIT, desenvolvimento para o ambiente UNIX, indexação espacial usando *quad-trees*, suporte de PostScript, ligação ao SGBD ORACLE, inclusão do parâmetro impedância em duplo sentido no ARC/INFO NETWORK, topologia automática no ARCEDIT e análises de visibilidade no ARC/INFO TIN.

Em 1988, surge a versão 4.0.1, suportando quatro novas estações de trabalho (*workstations*) em ambiente UNIX, com facilidades para a realização de rotações e escalamentos das entidades ponto e com novas extensões para a linguagem AML.

A versão 5.0 surge em 1989, com programação em C, coordenadas em dupla precisão, indexação por atributos usando B-trees, integração de imagens *raster*, suporte de SQL,

interface Scitex, 15 novos modos de projecção de mapa e inclusão de operadores espaciais complexos no ARC/PLOT. Surge também a versão 3.4D do PC ARC/INFO, caracterizada por uma ligação directa ao dBASE 3+ ou 4. Em 1990 aparece a versão 5.0.1.

O ESRI concretiza a versão 6.0 do ARC/INFO em 1991. Este produto é virtualmente um completo redesenvolvimento do produto base: nova interface com o utilizador, mais extensões para bases de dados comerciais, mais ferramentas de análise (tais como, segmentação dinâmica e intervalo de endereços), enriquecimento do COGOEDIT e aparecimento das *breaklines* nas superfícies TIN. O ESRI também introduz as extensões ARC/INFO GRID, um subsistema de geoprocessamento para imagens em formato *raster*.

A versão 6.1.1, disponível no mercado em 1992, é a mais recente versão do software ARC/INFO. Dá ênfase às análises espaciais e inclui novas funções para a extensão ARC/INFO NETWORK destinadas a *pathfind*, *allocate*, *clustering* e interacção espacial; modelação hidrológica, modelação de superfícies e funções estatísticas para o ARC/INFO GRID; melhoria do desempenho do ARC/INFO TIN; introdução do FormEdit, um ambiente gráfico interactivo para a criação e edição de menus AML com a finalidade de, cada vez mais, apoiar o desenvolvimento de aplicações.

O ESRI já anunciou o lançamento da versão 7.0, para o segundo semestre de 1994, com melhorias ao nível da arquitectura do sistema, modelos de dados e funcionalidades. Passa a admitir mesas digitalizadoras que operem em *stream mode* e a incluir duas novas extensões: ARCScan que possibilita a construção de bases de dados pela vectorização de imagens *raster* e o ARCStorm (ARC Storage Manager) que apoia a gestão de bases de dados geográficas recorrendo ao modelo cliente/servidor.

Os futuros desenvolvimentos deste sistema passam pela introdução de um maior número de funções de análise multicritério que agrupem diferentes tipos e modelos de dados. A sua evolução vai também no sentido da integração de um número cada vez maior de informação de diferentes tipos e origens, numa perspectiva de SIG multimédia, e na inclusão de conceitos de realidade virtual para permitir a representação do mundo real de forma mais natural e concreta.

Apêndice B

Abreviaturas

AAT	Arc Attribute Table
ADS	Arc Digitizing System
AML	Arc Macro Language
ANSI	American National Standard Institute
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
BD	Base de Dados
BLOB	Binary Large Object
CAD	Computer Aided Design
CAD	Computer Aided Drafting
CADD	Computer Aided Design and Drafting
CASE	Computer Aided Software Engineering
CPL	Command Procedure Language
CPU	Central Processing Unit
DBI	Database Integrator
DBMS	Database Management System
DDL	Data Definition Language
DEEC	Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores
DEMGI	Departamento de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial
DGA	Direcção Geral do Ambiente
DLG	Digital Line Graph
DML	Data Manipulation Language
DG	Dados Geográficos
DXF	Drawing Interchange Format
EA	Entidade-Associação (em Inglês é ER)
EDP	Electricidade de Portugal
ER	Energias Renováveis
ER	Entity-Relationship
ESRI	Environmental System Research Institute
FAT	Feature Attribute Table
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
GIS	Geographical Information System
INE	Instituto Nacional de Estatística
INEGI	Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial
INESC	Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores
INMG	Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica
LDD	Linguagem de Definição de Dados (em Inglês é DDL)
LI	Linguagem de Interrogação (em Inglês é QL)
LMD	Linguagem de Manipulação de Dados (em Inglês é DML)

MAL	Map Algebra Language
MBD	Modelo de Base de Dados
Mbps	Million bits per second
MIPS	Million Instructions Per Second
NAT	Node Attribute Table
PAT	Polygon Attribute Table
PC	Personal Computer
PF	Processamento de Ficheiros
PIOS	Polygon Information Overlay System
RAT	Route Attribute Table
RLE	Run-Length Encoding
RTI	Rede de Triângulos Irregulares (em Inglês é TIN)
SBD	Sistema de Base de Dados
SEC	Section Attribute Table
SGBD	Sistema de Gestão de Base de Dados (em Inglês é DBMS)
SGBDR	Sistema de Gestão de Base de Dados Relacional
SI	Sistema de Informação
SIF	Standard Interchange Format
SIG	Sistema de Informação Geográfica (em Inglês é GIS)
SQL	Structured Query Language
TAT	Text Attribute Table
TIN	Triangulated Irregular Network
UPC	Unidade Processamento Central (em Inglês é CPU)
UTM	Universal Transverse Mercator
VAT	Value Attribute Table

Apêndice C

Glossário

American National Standards Institute (ANSI) - organização que aprovou o SQL como linguagem de acesso e comunicação entre bases de dados.

associação - relação entre objectos de duas ou mais classes que descreve um grupo de ligações com estrutura e semântica comuns.

arco (*arc*) - Classe Entidade do ARC/INFO, associada às coberturas e destinada à representação de entidades lineares ou fronteiras de polígonos. Os atributos primários dos arcos são armazenados na Arc Attribute Table.

Arc Attribute Table (AAT) - tabela de atributos que contem no mínimo os seguintes items: FNODE#, TNODE#, LPOLY#, RPOLY#, LENGHT, Cover#, Cover-ID.

atributo - propriedade de uma classe, identificada por um nome que descreve os valores que essa propriedade pode ter para os vários objectos dessa classe.

barra menu - barra horizontal, geralmente no topo de um ecrã gráfico, contendo o nome de todos os *pull-down menus* disponíveis.

base de dados - depósito de dados permanente que é gerido por um sistema de gestão de base de dados.

característica - pode ser um atributo ou uma operação de uma classe.

célula (*cell*) - elemento base de informação espacial. As células são sempre de dimensão quadrada e um grupo de células formam uma grelha.

chave candidata - conjunto mínimo de atributos que define uma só instância de uma associação ou ligação.

classe - descrição de um grupo de objectos com propriedades semelhantes, relações, comportamentos e semântica comuns.

classe entidade - tipo de entidade geográfica ou de cobertura existente num mapa ou numa cobertura. As classes entidade referentes a mapas ou dados geográficos incluem os pontos, linhas, áreas e superfícies. No caso de uma cobertura ARC/INFO, as classes entidade incluem os arcos, nós, pontos, polígonos, anotações, miras, ligações, *routes* e secções.

cobertura (*coverage*) - unidade base de armazenamento de dados no ARC/INFO. Numa cobertura as entidades mapa são armazenadas usando entidades primárias, tais como,

arcos, nós, polígonos e pontos, ou usando entidades secundárias, miras, extensão, ligações a anotações. Os atributos primários das entidades mapa são descritos e armazenados de forma independente nas Feature Attribute Tables.

conectividade - identificação topológica dos arcos que se ligam a cada nó. A conectividade em termos de rede linear é definida pelo número do *from-node* e do *to-node* para cada arco. Assim, arcos que partilhem o mesmo nó estão ligados.

coordenada - um dos três elementos que determinam a posição de um ponto relativamente ao eixo X, Y ou Z de um sistema de coordenadas.

Computer Aided Design (CAD) - uso de programas de software gráfico para apoiar as actividades de concepção, projecto e desenho gráfico.

Drawing Interchange Format (DXF) - formato de ficheiro do domínio público usado para produzir uma descrição ASCII dos ficheiros de desenho AutoCAD.

entidade ID - número atribuído pelo utilizador a cada entidade ARC/INFO. É usado como chave candidata para relacionar uma entidade com o seu correspondente registo na Feature Attribute Table.

entidade linear - entidade geográfica que pode ser representada por uma linha ou conjunto de linhas. No caso do ARC/INFO, as entidades lineares são representadas pelo modelo de dados do sistema *route*.

espaço de trabalho (*workspace*) - no ARC/INFO, um espaço de trabalho é um directório que possui um conjunto de coberturas e o subdirectório INFO.

Feature Attribute Table (FAT) - ficheiros de dados INFO usados para armazenar os atributos primários das entidades. No ARC/INFO existem tabelas para os polígonos ou pontos (PAT), arcos (AAT), nós (NAT), anotações (TAT), *routes* (RAT) ou secções (SEC).

Geographical Information System (GIS) - o mesmo que Sistema de Informação Geográfica.

grelha - modelo de dados geográficos para representação de informação na forma de matriz com células de igual dimensão. No caso de ARC/INFO, os atributos primários das células são armazenados na Value Attribute Table (VAT).

implementação - fase do ciclo de vida do software, na qual a concepção é transformada numa forma executável, com uma linguagem de programação ou hardware.

interface interactiva - subsistema que gere as interacções entre um sistema e o exterior (pessoas, dispositivos de hardware, programas de software).

lattice - método de representação de superfícies. Consiste numa matriz rectangular de pontos amostrados e espaçados de intervalo constante, relativamente a uma origem comum e segundo as direcções x e y .

latitude - distância angular em graus norte ou sul do equador. As linhas de latitude são também conhecidas por paralelos.

longitude - distância angular em graus este ou oeste do Meridiano de Greenwich.

menu - lista dos comandos disponíveis para selecção. Geralmente estão acessíveis numa mesa digitalizadora ou num ecrã gráfico.

mesa digitalizadora - dispositivo de hardware usado em processos de digitalização para a entrada de coordenadas.

modelo - abstracção de algo com o propósito de compreender antes de implementar.

modelo de dados - método formal de adaptação de dados com o objectivo de os aproximar ao comportamento tido pelas entidades do mundo real que representam.

módulo - subconjunto lógico de um sistema.

nó (node) - Classe Entidade do ARC/INFO que representa a localização do início e do fim de um arco. Os atributos primários associados aos nós são armazenados na Node Attribute Table (NAT).

Node Attribute Table (NAT) - tabela de atributos que contem no mínimo os seguintes items: ARC#, Cover# e Cover-ID.

Point Attribute Table ou Polygon Attribute Table (PAT) - tabela de atributos que contem no mínimo os seguintes items: AREA, PERIMETER, cover#, cover-ID. No caso das entidades ponto, os items AREA e PERIMETER são colocados a zero.

programa externo - programa de software, aplicação ou comando do sistema operativo, que pode ser executado dentro de determinado programa.

pulldown menu - lista de comandos disponíveis num menu descendente, acessível a partir de uma barra menu.

relação - conjunto de pares ordenados, constituídos por valores de domínios específicos. Numa base de dados relacional é uma tabela.

robustez - propriedade do software segundo a qual ele não falha catastroficamente quando alguns dos seus pressupostos são violados.

route - Classe Entidade do ARC/INFO para representação de entidades lineares. Um *route* é um conjunto ordenado de secções.

Route Attribute Table (RAT) - tabela de atributos que contem no mínimo os seguintes items: <subclass_name># e <subclass_name>-ID.

secção (section) - Classe Entidade do ARC/INFO, componente do modelo de dados do sistema *route*, usado na representação de entidades lineares ou de *routes*.

Section Attribute Table (SEC) - tabela de atributos que contem no mínimo os seguintes items: ROUTELINK#, ARCLINK#, F-POS, T-POS, F-MEAS, T-MEAS, <subclass_name># e <subclass_name>-ID.

segmentação dinâmica - capacidade de tratar posições de acontecimentos, em entidades lineares de forma dinâmica. Os pontos de segmentação em vez de estarem armazenados na geometria da cobertura, são derivados quando necessário.

sistema de coordenadas - sistema fixo composto por origem e eixos, utilizado na definição da posição no espaço de entidades gráficas.

sistema de coordenadas Cartesiano - sistema de coordenadas com três eixos (X, Y e Z) para especificar posições no espaço tridimensional.

Sistema de Gestão de Base de Dados (SGBD) - programa de computador que gere um depósito de dados permanente.

Sistema de Informação Geográfica (SIG) - sistema informático composto basicamente por hardware, software e dados geográficos que tem por objectivo a eficiente captura, armazenamento, actualização, manipulação, análise e visualização de informação geográfica bem como de toda a informação susceptível de referenciação geográfica.

Structured Query Language (SQL) - linguagem proposta para uniformizar o acesso e a comunicação com as bases de dados.

subclasse (*subclass*) - tipo específico de Classe Entidade existente numa cobertura ARC/INFO.

Text Attribute Table (TAT) - tabela de atributos que contem no mínimo os seguintes items: subclass# e subclass-ID.

tin - representação de superfícies a partir de séries de pontos amostrados e espaçados irregularmente. Cada ponto amostrado possui coordenadas x, y e um valor de superfície, z.

topologia - conjunto de relações espaciais de adjacência e conectividade entre entidades gráficas.

traçador gráfico (*plotter*) - dispositivo de hardware controlado por computador, adequado à impressão de texto, gráficos e imagens em papel ou acetato por meios electrostaticos, térmicos ou mecânicos.

Value Attribute Table (VAT) - tabela de atributos que contem no mínimo os seguintes items: VALUE e COUNT.

zoom - processo de reduzir ou incrementar de forma aparente a amplitude de informação gráfica num ecrã.

