

C&S SIG

APLICAÇÕES DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA EM ARQUEOLOGIA

Pedro José Leitão da Silva Santos

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica

Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação
da Universidade Nova de Lisboa

**APLICAÇÕES DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA EM
ARQUEOLOGIA**

Dissertação orientada por
Professor Doutor Marco Painho

com co-orientação de
Professora Doutora Helena Catarino

Setembro 2006

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Marco Painho pela sua orientação rigorosa que facilitou a elaboração desta dissertação e, apesar da distância, produziu debates com os quais muito aprendi.

À Professora Doutora Helena Catarino pela co-orientação e validação da componente científica do trabalho desenvolvido segundo o ponto de vista arqueológico; a ela igualmente o agradecimento pelos anos de ensinamento sobre uma “forma de estar” na Arqueologia.

Ao Instituto Geográfico Português pela cedência gratuita de cartografia digital, ao abrigo do programa FIGIEE, sem a qual não teria sido possível alcançar os objectivos que inicialmente me propus.

À ESRI® pela cedência, no âmbito deste Mestrado, de uma licença de utilização do *software* ArcGIS 8.3, bem como o acesso a formação complementar através do seu Virtual Campus.

À Professora Doutora Maria Helena Rua, que gentilmente cedeu uma cópia da sua tese de dissertação de doutoramento, possibilitando deste modo a sua consulta.

A meus pais por me haverem propiciado a cultura e educação que formaram as bases que permitiram atingir mais uma grande etapa do meu conhecimento científico.

Aos muitos amigos que acreditaram ser possível... e foi.

E os últimos são, diz o povo, sempre os primeiros: à Teresa e ao Tomás pelas incontáveis horas que me partilharam com pilhas de livros, apontamentos, rascunhos e o computador... mas principalmente pelas muitas palavras de incentivo (enfim, pelo menos de um deles).

Muito obrigado.

APLICAÇÕES DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA EM ARQUEOLOGIA

RESUMO

A Arqueologia utiliza, como base do seu conhecimento, dados que se definem segundo dois vectores: o tempo e o espaço. Se o primeiro se prende com a inerência histórica do seu estudo, o segundo reflecte a origem dos dados que trabalha. Qualquer que seja a proveniência do objecto arqueológico em estudo – grande monumento ou pequeno artefacto – o mesmo necessita de ser considerado não como um elemento individualizado mas como mais um componente da paisagem: todo o elemento arqueológico requer contextualização espacial para permitir traçar paralelos com outros tempos e espaços em estudo. A utilização de SIG tem já o seu lugar assegurado em ciências que assentam, também elas no vector espacial, como sejam a biologia ou o ambiente. Embora o mesmo seja uma realidade além fronteiras, o mesmo não se pode dizer da investigação arqueológica em Portugal. Este trabalho pretende abordar de forma simples, mas tão aprofundada quanto possível, diversos componentes que constituem o todo conhecido como Sistemas de Informação Geográfica e a sua utilização em Arqueologia: tipos de dados, bases de dados, cartografia, detecção remota e modelação.

GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEMS APPLICATIONS IN ARCHAEOLOGY

ABSTRACT

Archaeology uses data defined according to two distinct axes: time and space. The first of these vectors concerns the inherent historic concept of archaeological studies, being space the source of the data it deals with on a daily basis. No matter what the source of an archaeological finding is – either big monument or small artefact - it requires to be considered not as an individual but as a component in a larger context: every archaeological finding must be spatially referenced to be contextualized and enable its comparison with similar situations from different origins. GIS are being consistently used in several other sciences that require a representation of their phenomena according to a spatial axis, like biological or environmental studies. Although this is also a reality for Archaeology beyond the Portuguese borders, the same cannot be said about the archaeological investigation in Portugal. This thesis aims covering in a simple, but as complete as possible, way different components of the Geographical Information Systems: data types, databases, cartography, remote sensing and modelling.

PALAVRAS CHAVE

Análise Espacial
Arqueologia
Bases de Dados
Cartografia
Detecção Remota
Modelo Preditivo
Sistemas de Informação Geográfica

KEYWORDS

Spatial Analysis
Archaeology
Databases
Cartography
Remote Sensing
Predictive Model
Geographical Information Systems

ACRÓNIMOS

CAA	Computer Applications and Quantitative Methods for Archaeology
CAOP	Carta Administrativa Oficial de Portugal
CEE	Comunidade Económica Europeia
CMP	Carta Militar de Portugal
COS	Carta de Ocupação de Solos
CRM	Cultural Resource Management
CTS	Carta de Tipo de Solos
CWD	Cost Weighted Distance
GPS	Global Positioning System
HGDLx	Sistema de projecção Hayford-Gauss Datum de Lisboa
IAmb	Instituto do Ambiente
IDRHa	Instituto de Desenvolvimento Rural e Hidráulica
IGeoE	Instituto Geográfico do Exército
IGM/INETI	Instituto Geológico e Mineiro
IGP	Instituto Geográfico Português
IPA	Instituto Português de Arqueologia
IPM	Instituto Português de Museus
MDT	Modelo Digital de Terreno
MNA	Museu Nacional de Arqueologia
NVDI	Normalized Difference Vegetation Index
OGC	Open Geospatial Consortium
PDM	Plano Director Municipal
PNPOT	Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território
RGB	Red/Green/Blue
SCN	Série Cartográfica Nacional
SGBD	Sistema de Gestão de Base de Dados
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SLD	Straight Line Distance
SQL	Structured Query Language
UTM	Universal Transverse Mercator

ÍNDICE DO TEXTO

	Pág.
AGRADECIMENTOS.....	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT.....	v
PALAVRAS CHAVE.....	vi
KEYWORDS.....	vi
ACRÓNIMOS.....	vii
ÍNDICE DE TABELAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE EQUAÇÕES.....	xv
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1 – Enquadramento.....	1
1.2 – Objectivos.....	5
1.3 – Metodologia.....	6
1.4 – Estrutura da Dissertação.....	8
1.5 – Os Dados Utilizados.....	9
1.6 – Arqueologia: ciência espacial.....	10
1.7 – Evolução dos SIG em Arqueologia.....	12
2. TIPOS DE DADOS EM SIG.....	16
2.1 – Formato dos dados geográficos.....	19
2.1.1 - <i>Formato vectorial</i>	20
2.1.2 - <i>Formato raster</i>	23
2.1.3 - <i>Topologia</i>	27
2.2 – Operações sobre dados espaciais.....	28
2.2.1 - <i>Visualização</i>	28
2.2.2 - <i>Integração e manipulação de dados</i>	30
2.2.3 - <i>Cálculo de medidas</i>	32

2.2.4 - <i>Funções de vizinhança</i>	33
2.2.5 - <i>Análise de superfícies</i>	35
2.2.6 - <i>Análise de redes</i>	36
2.3 - Resumo.....	36
3. BASES DE DADOS	38
3.1 – A estrutura física.....	38
3.1.1 - <i>Ficheiros de dados</i>	39
3.1.2 - <i>Sistema de Gestão de Base de Dados</i>	41
3.2 – Standardização dos dados.....	43
3.3 – O suporte à componente espacial.....	47
3.4 – Prosparq: base de dados para prospecções arqueológicas	49
3.4.1 - <i>Enunciado e modelo conceptual</i>	50
3.4.2 - <i>Modelo lógico ou Diagrama de Entidades e Associações</i>	51
3.4.3 - <i>Modelo físico da Base de Dados</i>	55
3.5 – Resumo	59
4. CARTOGRAFIA E ARQUEOLOGIA.....	60
4.1 – Utilização de Cartografia em Arqueologia	60
4.2 – Características da cartografia “ideal”	67
4.2.1 - <i>Escala</i>	68
4.2.2 - <i>Precisão</i>	69
4.2.3 - <i>Níveis de informação</i>	70
4.2.4 - <i>Informação descritiva associada</i>	70
4.2.5 - <i>Técnicas de recolha dos dados</i>	71
4.2.6 - <i>Metadados</i>	71
4.3 – Resumo	73
5. DETECÇÃO REMOTA.....	74
5.1 – Detecção Remota e Arqueologia	76
5.1.1 - <i>Fotografia aérea</i>	77
5.1.2 - <i>Imagens de grande altitude</i>	86
5.2 – Exemplos de Aplicação de Detecção Remota em Arqueologia.....	91
5.2.1 - <i>Região de Homs</i>	91

5.2.2 - <i>Toscânia</i>	92
5.2.3 - <i>Planalto dos Jarros</i>	94
5.2.4 - <i>Sistema de Irrigação Pré-Colombiano em Newcombe</i>	95
5.2.5 - <i>Balsa Romana</i>	97
5.3 – Resumo	100
6. MODELAÇÃO DE SISTEMAS.....	101
6.1 – Metodologia.....	102
6.1.1 - <i>Os dados</i>	103
6.1.2 - <i>A área de estudo</i>	106
6.2 – O processo	106
6.2.1 - <i>Etapa 1 – Consolidação e preparação dos dados</i>	107
6.2.2 - <i>Etapa 2 – Classificação das variáveis independentes</i>	111
6.2.3 - <i>Etapa 3 – Teste às variáveis independentes</i>	119
6.3 – O resultado.....	124
6.4 – Resumo	130
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	131
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	140
ANEXO 1 – BIBLIOGRAFIA CONSULTADA NÃO REFERENCIADA.....	151
ANEXO 2 – TESTES ESTATÍSTICOS PARA CADA VARIÁVEL INDEPENDENTE..	157

ÍNDICE DE TABELAS

	Pág.
Tabela 1 - Evolução da aplicação de SIG em Arqueologia.....	15
Tabela 2 - Exemplo de dados arqueológicos do concelho de Alcoutim	16
Tabela 3 - Fontes de dados comuns dos formatos raster e vectorial	19
Tabela 4 - Sítios arqueológicos a menos de 1,5Km de minas.....	35
Tabela 5 - Prosparq: relações entre entidades e sua cardinalidade.....	54
Tabela 6 - Tabela de títulos bibliográficos.....	57
Tabela 7 - Tabela de nomes de autores	57
Tabela 8 - Tabela de relação entre títulos bibliográficos e autores	57
Tabela 9 - Relação entre escala de um mapa e suas resolução e área mínima representável. 69	
Tabela 10 - Valores de $D_{máx}$ para cada variável independente.....	121
Tabela 11 - Pesos das variáveis independentes.....	123
Tabela 12 - Resultado do teste ao modelo	125

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 - Fragmento da planta de Mértola, datada de 1877.....	1
Figura 2 - Planta da Necrópole da Corga das Oliveiras (Castro Marim)	2
Figura 3 - Pormenor da Carta Arqueológica de Serpa	17
Figura 4 - Esquema de camadas de informação	18
Figura 5 - Formato vectorial (sítios arqueológicos) combinado com formato raster (mapa base)	20
Figura 6 - Exemplo de utilização de primitivas vectoriais	22
Figura 7 - Exemplo de formato raster	23
Figura 8 - Modelo digital de terreno	25
Figura 9 - Comparação vectorial e raster	26
Figura 10 - Exemplo de selecção com base em atributos	29
Figura 11 - Exemplo de diferentes escalas.....	30
Figura 12 - Exemplo de junção, fusão e reclassificação	32
Figura 13 - Exemplo de utilização de buffer.....	33
Figura 14 - Sítios arqueológicos na proximidade de minas	34
Figura 15 - Exemplo de ficheiro de texto como suporte de dados	39
Figura 16 - Exemplo de folha de cálculo como suporte de dados.....	39
Figura 17 - Exemplo de dados armazenados em formato proprietário (shape file da ESRI®)	40
Figura 18 - Diagrama simplificado do Sistema Endovélico	45
Figura 19 - Definição simplificada de estrutura de dados num SGBD	48
Figura 20 - Redefinição da estrutura fazendo uso de tipos de dados espaciais.....	49
Figura 21 - Prosparq: Diagrama de Entidades e Associações	55
Figura 22 - Prosparq: exemplo de utilização de chaves primária e estrangeira	56
Figura 23 - Prosparq: modelo físico da base de dados.....	58
Figura 24 - Exemplo de utilização de Carta de Altimetria de pequena escala (1:1 000 000) 64	
Figura 25 - Exemplo de utilização da Carta de Tipos de Solo de pequena escala (1:1 000 000).....	65
Figura 26 - Exemplo de utilização de cartas com escalas distintas (a vermelho 1:25 000 e a azul 1:1 000 000).....	66

Figura 27 - Fotografia aérea do Stonehenge (Inglaterra), datada de 1906	74
Figura 28 - Ruína de fortaleza octogonal na planície Guchi (Irão).....	75
Figura 29 - Sombras, como evidências arqueológicas	78
Figura 30 - Marcas na vegetação, como evidências arqueológicas.....	79
Figura 31 - Marcas no solo, como evidências arqueológicas.....	80
Figura 32 - Manchas subaquáticas, como evidências arqueológicas	81
Figura 33 - Fotografia aérea muito oblíqua.....	81
Figura 34 - Fotografia aérea pouco oblíqua	82
Figura 35 - Fotografia aérea vertical	83
Figura 36 - Fotografia aérea oblíqua revelando marcas de vegetação	84
Figura 37 - Representação vectorial de marcas de vegetação	85
Figura 38 - Imagem de falsa cor RGB432 Ikonos revelando um complexo sistema de estruturas	88
Figura 39 - Diferença na cor do solo detectada numa zona arada.....	89
Figura 40 - Comparação dos diferentes tipos de imagem utilizada no projecto da região de Homs	90
Figura 41 - Análise de componente principal de imagem RGB 432.....	93
Figura 42 - Cálculo de índices de vegetação (NVDI) e aplicação de filtros de imagem	93
Figura 43 - Cartografia de zonas bombardeadas, tendo por base uma imagem Ikonos, à escala 1:5 000	95
Figura 44 - Fotografia aérea do sistema de Newcomb, datada de 1934.....	96
Figura 45 - Mapa do sistema de irrigação pré-colombiano de Newcomb, resultado do SIG criado.....	97
Figura 46 - Teatro romano de Balsa.....	98
Figura 47 - Porto romano de Balsa	98
Figura 48 - Porto romano de Balsa e linha de costa.....	99
Figura 49 - Carta de restituições topográficas de Balsa	99
Figura 50 - Diagrama Causal provisório do Modelo Preditivo	106
Figura 51 - Diagrama de etapas do processo de criação do modelo, e dos passos que as compõem	107
Figura 52 - Fluxograma: consolidação do sistema de projecção.....	108
Figura 53 - Fluxograma: cartografia derivada.....	109

Figura 54 - Fluxograma: corte à área de estudo	110
Figura 55 - Fluxograma: cálculo de distâncias	111
Figura 56 - Fluxograma: classificação das variáveis independentes.....	112
Figura 57 - Sítios medievais islâmicos sobre COS	113
Figura 58 - Sítios medievais islâmicos sobre Carta de Tipo de Solos	113
Figura 59 - Sítios medievais islâmicos sobre carta de declives	114
Figura 60 - Sítios medievais islâmicos sobre carta de distância a minas baseada em custos	115
Figura 61 - Sítios medievais islâmicos sobre carta de distância a poços baseada em custos	115
Figura 62 - Sítios medievais islâmicos sobre carta de distância a rios baseada em custos ..	116
Figura 63 - Sítios medievais islâmicos sobre carta de distância em linha recta a topónimos relevantes.....	116
Figura 64 - Sítios medievais islâmicos sobre carta de orientação de encostas.....	117
Figura 65 - Fluxograma: conversão em raster dos temas vectoriais	118
Figura 66 - Fluxograma: recolha de estatísticas.....	119
Figura 67 - Diagrama Causal do Modelo Preditivo	121
Figura 68 - Mapa de potencialidade de existência de sítios arqueológicos no concelho de Alcoutim.....	124
Figura 69 - Conjunto de sítios de teste sobrepostos ao resultado do modelo.....	125
Figura 70 - Conjunto de sítios de teste sobrepostos ao resultado classificado do modelo...	126

ÍNDICE DE EQUAÇÕES

	Pág.
Equação 1 - Variável dependente como função das variáveis independentes.....	102
Equação 2 - Função de determinação do modelo.....	122
Equação 3 - Equação da regra de pesos	122
Equação 4 - Cálculo da potencialidade de existência de sítios arqueológicos	123

APLICAÇÕES DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA EM ARQUEOLOGIA

ERRATA

Página	Onde se lê	Deve ler-se
10	folhas 46D, 50A, 50B e 50B	folhas 46D, 50A, 50B e 50D
14	realizada no anterior	realizada no ano anterior
26	sem ser possível determinar o valor exacto	sem ser possível visualizar facilmente o valor exacto
42	adequados manutenção	adequados à manutenção
51	etapa do projecto	etapa do processo
72	Precisão – 1m	Precisão – 2,5m
75	Persópolis	Persépolis
77	sobre sítios já cuja localização era já conhecida	sobre sítios cuja localização era já conhecida
100	seja de proveniente de	seja ela proveniente de
107 (fig.51)	Conversão dos temas raster em vectorial	Conversão em raster dos temas vectoriais
124	antes de sobre ser	antes de sobre ele ser
128	trajecto regularmente feito regularmente	trajecto feito regularmente
129	criação de um modelo criativo	criação de um modelo preditivo

1. INTRODUÇÃO

1.1 – Enquadramento

A Arqueologia tem necessidade de apresentar os dados ou resultados da sua investigação segundo uma perspectiva espacial. Os mapas de distribuição, seja à escala nacional seja à escala de uma pequena escavação arqueológica, sempre foram uma forma de registo essencial da actividade do arqueólogo (GAMBLE, 2001: p. 139). Mapas muito precisos de escavações datam do início da actividade arqueológica, no século XVIII, sendo a localização dos artefactos encontrados meticulosamente registada (WHEATLEY *et al.*, 2002: p. 3). Exemplos desta utilização cartográfica em contexto nacional, datados de finais do séc. XIX, são a planta de Mértola publicada nos resultados da investigação levada a cabo por um dos pioneiros da arqueologia portuguesa, Estácio da Veiga, após as cheias do Inverno de 1876 (VEIGA, 1880), onde foram assinaladas várias sepulturas de período romano e tardo-romano postas a descoberto pelo efeito das cheias (Figura 1);

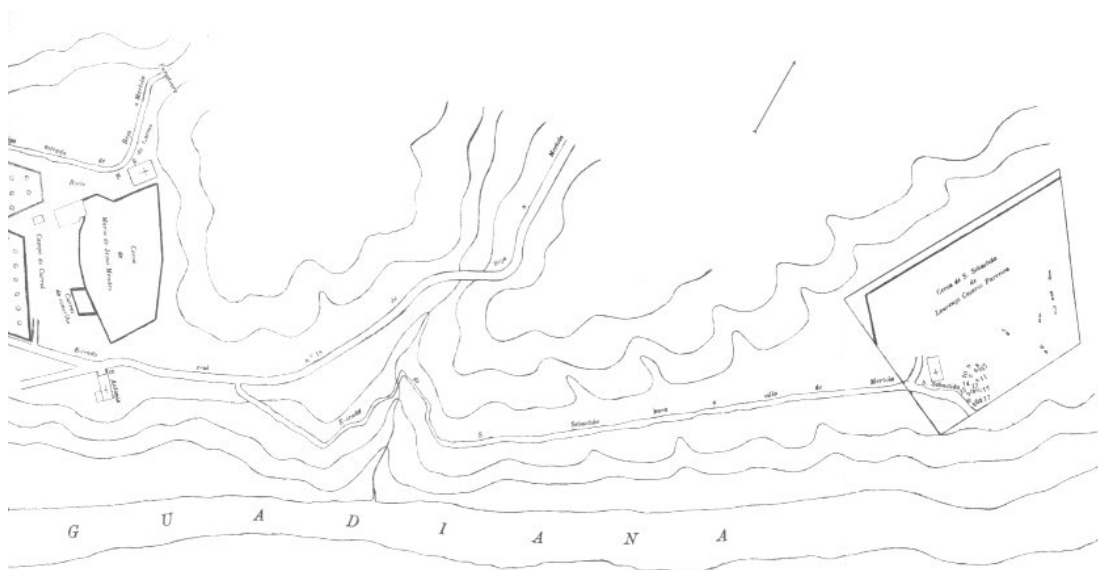


Figura 1 - Fragmento da planta de Mértola, datada de 1877

Fonte: (VEIGA, 1880)

ou a compilação realizada por outro pioneiro da arqueologia nacional, Leite de Vasconcelos, igualmente no fim do séc. XIX, onde inclui plantas realizadas por Estácio da Veiga, de necrópoles de cistas de período proto-histórico localizadas perto de Castro Marim

(VASCONCELOS, 1897: p. 413), mostrando a sua organização e distribuição no espaço da necrópole que constituíam (Figura 2).

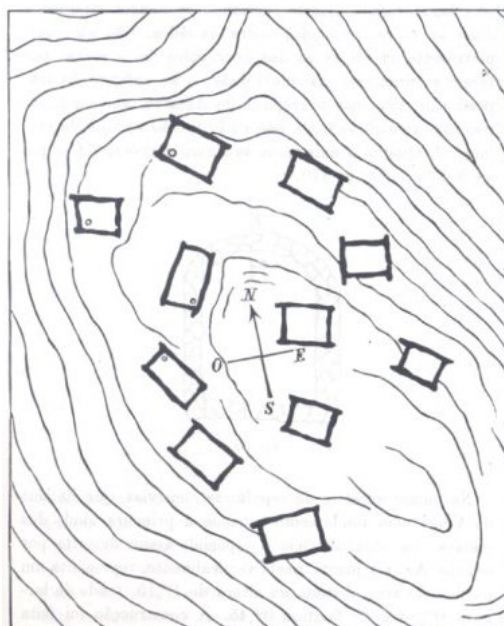


Figura 2 - Planta da Necrópole da Corga das Oliveiras (Castro Marim)

Fonte: (VASCONCELOS, 1897: p.413)

Quando os arqueólogos começaram a utilizar os SIG para proveito da investigação arqueológica, a sua aplicação era, tal como no caso dos primeiros arqueólogos, no contexto de coligir informação dispersa por vários mapas e integrar essa mesma informação espacial com as suas bases de dados. Os SIG (Sistemas de Informação Geográfica) tinham, na altura, uma utilização essencialmente de interface cartográfico.

Em 1976, dois arqueólogos britânicos (Ian Hodder e Clive Orton) publicam uma obra dedicada à análise espacial em arqueologia, cobrindo vários aspectos e potencialidades que a análise espacial, com o auxílio de cálculo e representação computacional, trariam para a investigação arqueológica. Na introdução, os autores dão uma ideia clara do que pretendem, a meio da década de 70, referindo que têm “como objetivo principal recordar a los arqueólogos las grandes posibilidades de un estudio más detallado y sistemático de la estructuración espacial de la información arqueológica” (HODDER *et al.*, 1990: p. 11). Os temas principais abordados por estes autores, que indiciavam já as principais aplicações dos SIG em contextos arqueológicos, incluem: mapas de distribuição espacial de dados

arqueológicos, quer de artefactos quer de povoamento; análise de distribuição de pontos, com a aplicação directa da análise do vizinho mais próximo sobre locais históricos; modelos de interpretação de distribuição de povoados e as relações entre eles.

Nas últimas duas décadas e meia houve uma evolução que fez eco dos temas apresentados nessa obra, e presentemente os casos mais típicos da aplicação de SIG à arqueologia são ao nível da análise e visualização espacial dos contextos arqueológicos, gestão desses mesmos contextos e construção de modelos preditivos de localização de sítios arqueológicos (CHURCH *et al.*, 2000: p. 135).

No estudo da envolvimento do forte de Danebury¹, nas Ilhas Britânicas, várias técnicas foram utilizadas na aplicação de SIG desenvolvida para o efeito (HARRIS, 2002: pp. 132-136):

- estudo de proximidade de recursos – identificação de proximidade de solos férteis (uma vez que a neolitização se caracteriza pelo início da sedentarização dos povos e pela prática mais frequente da agricultura) e de cursos de água;
- estudo de impacte de actividades recentes – identificação de zonas que, embora com potencial de ocupação (por exemplo, localizados na proximidade de solos férteis), sofreram grandes alterações, seja devido à fixação de povoações ou intervenções em períodos mais recentes (por exemplo, a construção de estradas ou fases de agricultura muito intensiva), que tornam improvável a existência ou identificação de vestígios arqueológicos;
- estudo de evolução da paisagem – visualização da evolução da ocupação da paisagem com recurso a vários temas (ou camadas), cada um contendo informação relativa a vestígios arqueológicos de um determinado período histórico. Foi assim possível destacar o nascimento de novos povoados na proximidade de localidades de maior dimensão em períodos de reconhecida paz territorial (por exemplo, durante o período de ocupação romana) ou de que forma os locais tipicamente utilizados como zona de necrópoles foi “ocupado” por campos agrícolas com o crescimento da população num determinado local;

¹ A ocupação deste sítio arqueológico estende-se desde o Paleolítico ao período de ocupação romana das ilhas Britânicas, centrando-se o estudo apresentado especificamente sobre a transição da pré-história a períodos proto-históricos – desde aproximadamente 12 mil anos a.C. aos primeiros séculos a.C.

- estudo de visibilidade e de polígonos de Thiessen – identificação de fronteiras territoriais com base em duas técnicas distintas (visibilidade entre dois pontos e polígonos de Thiessen). Para o caso particular do período neolítico foi possível concluir da “territorialidade” demarcada pelas grandes construções funerárias, no sentido em que o território visível de cada uma destas edificações não se sobrepunha em caso algum com o território visível pelos monumentos vizinhos;
- estudo de acessibilidade – no caso específico da Idade do Ferro (que precede a romanização), período caracterizado por instabilidade territorial levando a uma concentração das povoações em locais protegidos, localizados tipicamente em sítios de altura com boa visibilidade da paisagem e de difícil acesso, o estudo utilizou factores como a inclinação das encostas, a distância a cursos de água e tipos de solo para mostrar que a acessibilidade para quem viajava a pé não era proporcional à distância percorrida. Este estudo permitiu assim identificar a área de influência do forte de Danebury e, desta forma, explicar a localização de um outro forte de características semelhantes a leste de Danebury, numa zona de difícil acesso a partir deste último.

Estas vertentes de estudo e aplicação de SIG são comuns a muitos outros trabalhos de que se enumeram alguns exemplos: a análise espacial de sítios característicos dos períodos pré e proto-históricos na região de Madrid (BAENA *et al.*, 1995); a construção de um modelo preditivo de localização de sítios arqueológicos na Prairie Peninsula (EUA), onde os resultados do modelo mostraram uma precisão de 73% nos locais indicados (WARREN *et al.*, 2000); um exemplo semelhante de um modelo preditivo, criado na Noruega com o objectivo de auxiliar na identificação de necrópoles da Idade do Bronze e do Ferro (FRY *et al.*, 2004). Um estudo preditivo norte-americano de sítios arqueológicos na Pensilvânia utiliza, além dos estudos citados para o caso de Danebury, uma outra variável na análise de potenciais localizações de sítios arqueológicos: a análise de exposição solar no dia mais curto do ano (22 de Dezembro) como factor de fixação populacional na estação mais fria (DUNCAN *et al.*, 2000: pp. 41-42).

De tal forma o conceito e utilização de SIG se difunde na investigação arqueológica, particularmente associada ao meio académico, que o Departamento de Arqueologia da Universidade de York edita, em 1998, através do seu site na internet, o *GIS Guide to Good Practice*, iniciativa de divulgação dos SIG orientada para arqueólogos (GILLINGS *et al.*, 1998).

Infelizmente, no caso português a situação tem sido bem distinta. Esta relação interdisciplinar não é ainda uma realidade consolidada em Portugal, onde os primeiros casos de desenvolvimento de aplicações de SIG específicas para a investigação arqueológica datam apenas da última década. Apesar de recente, os passos já dados por um número ainda reduzido de indivíduos, principalmente associados ao meio académico, são promissores. A atestar esta constatação está a participação em congressos e conferências internacionais para apresentação de resultados da sua investigação bem como, recentemente, a organização do congresso *CAA² 2005*, que teve lugar em Março de 2005, no Instituto Politécnico de Tomar. É, de resto, neste Instituto (com estreito relacionamento com a associação internacional CAA) e na Unidade de Arqueologia da Universidade do Minho (com projectos de investigação com o objectivo de criar um modelo de gestão de base de dados geo-referenciada para a utilização e divulgação da arqueologia em meio urbano) que mais investigação se tem feito sobre a aplicação de SIG à Arqueologia em Portugal, sempre intimamente ligada ao meio académico.

1.2 – Objectivos

A presente dissertação procura apresentar múltiplos tópicos que compõem os Sistemas de Informação Geográfica, segundo a perspectiva da sua utilização no contexto de investigação arqueológica.

Partindo de temas base, como os tipos de dados que constituem um Sistema de Informação Geográfica, e avançando para temas mais complexos, como os modelos preditivos, procurar-se-á cobrir variados componentes da disciplina SIG, exemplificando com casos práticos de utilização de dados reais.

Pretende-se, pois, que este trabalho seja mais um pequeno passo na colmatação da lacuna que separa Portugal de outros países no que toca à utilização de Sistemas de Informação Geográfica na investigação arqueológica. Não tendo pretensões a responder a todas as questões com que o arqueólogo se possa deparar no processo de análise e interpretação da sua área de estudo, procura fundamentar a contribuição que os SIG poderão dar à investigação arqueológica e, desta forma, contribuir igualmente para uma maior

² A organização *Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA)* é responsável pela realização, desde os anos 70, de congressos anuais a nível europeu onde são abordados temas que relacionam o uso da Informática na Arqueologia.

divulgação desta vertente interdisciplinar de duas ciências que no nosso país estão ainda de costas parcial e aparentemente voltadas.

Resumem-se, assim, a três os objectivos principais deste trabalho:

- a criação de um documento base onde se encontrem consolidados alguns dos temas chave de Sistemas de Informação Geográfica;
- desenvolver um estudo de caso ao longo desta dissertação que, utilizando exemplos práticos de dados arqueológicos reais, pretende ilustrar os temas abordados;
- contribuir para o aumento da divulgação em como os Sistemas de Informação Geográfica poderão auxiliar o arqueólogo na investigação e interpretação dos seus dados.

Para atingir estes objectivos, e partindo da premissa da quase total ausência de publicações produzidas em Portugal subordinadas ao tema Sistemas de Informação Geográfica e Arqueologia, compilou-se informação sobre tópicos relacionados com Ciência e Sistemas de Informação Geográfica, complementando a sua apresentação com exemplos de sua aplicação em contexto de investigação arqueológica, como forma de validação da seguinte hipótese de trabalho:

os Sistemas de Informação Geográfica, nas múltiplas vertentes que os compõem, constituem um suporte adequado à análise e interpretação de dados arqueológicos e podem ser um complemento importante no conjunto de ferramentas ao dispôr do Arqueólogo.

Pretende-se, com a validação desta hipótese de trabalho, fazer uma apresentação sucinta, mas tão completa quanto possível, de vários temas seleccionados como os de mais comum ou provável utilização pelo Arqueólogo no âmbito da sua actividade, não centrando as atenções apenas num único ponto de interacção entre Sistemas de Informação e Arqueologia.

1.3 – Metodologia

Os objectivos propostos para a realização desta dissertação de Mestrado procuram funcionar como uma introdução ao tema de Sistemas de Informação Geográfica segundo um enquadramento arqueológico, possibilitando a sua fácil leitura e assimilação por todo aquele que deseje abordar a investigação arqueológica com a utilização de Sistemas de Informação Geográfica.

Como tal, a metodologia que utilizada neste trabalho consta de uma introdução teórica a temas de relevo no contexto de Sistemas de Informação Geográfica, indo dos conceitos base de dados espaciais até análises mais complexas de territórios, passando por formas de aquisição de dados e seu armazenamento. Para fundamentar esta informação de carácter mais teórico apresentam-se, sempre que possível, casos práticos com a aplicação de situações e dados reais.

Os dados arqueológicos utilizados na criação dos exemplos práticos dizem respeito a informação recolhida no campo durante a actividade de prospecção arqueológica, no território hoje identificado como concelho de Alcouthim³. A utilização desta noção de “*território hoje identificado como*” prende-se com o facto de se reconhecer à partida que os limites geográficos da área em estudo são artificiais e muito recentes quando comparados com a cronologia dos sítios arqueológicos em análise. Muito embora esta possa ser uma condicionante neste tipo de estudo, é igualmente reconhecido que algumas das fronteiras do actual concelho de Alcouthim, pelas suas características geográficas, tê-lo-ão sido provavelmente de outros territórios do passado.

Os temas abordados ao longo deste trabalho fundamentam-se nos conhecimentos adquiridos durante a componente curricular do Mestrado, pelo que tópicos como Cartografia, Detecção Remota ou Bases de Dados são elementos presentes nesta dissertação. Estes tópicos, bem como todo o conteúdo deste trabalho, encontram-se fundamentados com uma recolha bibliográfica que se pretendeu tão exaustiva quanto possível.

Os exemplos práticos foram criados utilizando o software ArcGIS 8.3 da ESRI®⁴, cuja licença de utilização foi obtida gratuitamente no âmbito de realização deste curso de Mestrado. As referências a linguagens ou funções de análise espacial utilizadas nos exemplos têm por base este software e os seus principais componentes. A escolha deste software baseou-se nos conhecimentos obtidos durante a componente curricular deste Mestrado e nos cursos realizados *online*, pertencentes ao Virtual Campus da ESRI®⁵ (*Learning ArcGIS 8, Part I e Part II, 3D Analyst e Spatial Analyst*).

Não se pretende, no entanto, criar um manual de utilizador de qualquer software usado. Procurou-se minimizar a inclusão de instruções ou fragmentos de código, tendo tal

³ Uma mais completa descrição do tipo e fonte de dados é apresentada numa outra secção deste capítulo.

⁴ <http://www.esri.com>, consultado múltiplas vezes ao longo deste curso de Mestrado, entre Setembro de 2004 e Julho de 2006.

⁵ <http://campus.esri.com>, consultado em Abril de 2005.

acontecido apenas em casos em que se julgou essencial à melhor interpretação dos exemplos criados.

1.4 – Estrutura da Dissertação

Na continuação deste capítulo introdutório são apresentados os dados que se utilizaram nos casos práticos dos capítulos seguintes. Será feita igualmente uma apresentação das duas disciplinas que influenciaram directamente a realização desta dissertação – Sistemas de Informação Geográfica e Arqueologia –, nomeadamente fazendo uma breve apresentação da evolução histórica dos SIG e a sua aplicação à Arqueologia.

Os tipos de dados utilizados em SIG e algumas das operações espaciais que sobre eles é possível realizar são os temas principais do capítulo 2, apresentando exemplos baseados nos casos práticos que se pretendem evoluir ao longo desta dissertação.

No terceiro capítulo, intitulado Bases de Dados, pretende-se abordar a componente de dados da perspectiva do seu armazenamento físico. Apresenta-se igualmente um exemplo de criação de um protótipo de base de dados para gestão de bases de dados de prospecções arqueológicas e de que forma esta pode ser integrada com um SIG.

A cartografia utilizada em Arqueologia é abordada no quarto capítulo. Procuram-se igualmente identificar as principais fontes e tipos de cartografia digital em Portugal que poderão ser de utilidade a projectos de Arqueologia. Apresenta-se um caso prático de definição de propriedades da cartografia a utilizar em prospecções arqueológicas.

O quinto capítulo desta dissertação trata-se de uma introdução ao tema Detecção Remota nas suas características mais vocacionadas à aplicação em Arqueologia, apresentando igualmente de forma sucinta um conjunto de projectos que fizeram uso desta componente de SIG.

A modelação de sistemas, exemplificada pela criação de um modelo preditivo para identificação de locais com maior probabilidade de existência de sítios arqueológicos de determinada cronologia, é apresentada no capítulo sexto.

No último capítulo traça-se um conjunto de considerações finais que pretendem sumarizar o trabalho desenvolvido e apresentam-se algumas orientações futuras.

1.5 – Os Dados Utilizados

Os dados alfanuméricos utilizados nos exemplos apresentados foram compilados de CATARINO (1997/98). Os sítios arqueológicos inventariados são essencialmente caracterizados pela cronologia da sua ocupação, tipologia do sítio, elementos ou vestígios encontrados e as coordenadas do ponto central da dispersão de vestígios que permitiu identificar o sítio. A projecção cartográfica destes dados é:

Datum: Europeu de 1950

Projecção: Transversa de Mercator

Elipsóide: Hayford

Coordenadas: UTM, zona 29 N

Escala: 1:25 000

Os elementos de cartografia digital utilizados na realização do trabalho tratam-se da Carta Administrativa Oficial de Portugal (CAOP) e Carta de Ocupação de Solos (COS) do IGP⁶, com as seguintes características:

Datum: Datum de Lisboa

Projecção: Gauss

Elipsóide: Hayford

Coordenadas: militares

Escala: 1:25 000

Modelo de dados: vectorial

e a Carta de Tipo de Solos (CTS) do IDHRA⁷, de características idênticas às cartas anteriores.

⁶ Nota de direitos autorais: “A informação [...] é propriedade do IGP e goza da protecção dos direitos de autor, sendo apenas cedido o direito à sua utilização para a finalidade indicada na licença de utilização respectiva. A utilização da informação para fins diversos daqueles para que é licenciada, bem assim como a sua reprodução, comercialização ou cedência a terceiros, mesmo que a título gratuito, sem autorização expressa do IGP, é interdita nos termos do art.º 14º do Decreto-Lei n.º 193/95, de 28 de Julho, e art.º 18º do Decreto-Lei n.º 74/94, de 5 de Março. A violação do disposto nestes preceitos legais é punível nos termos do art.º 17º do Decreto-Lei n.º 193/95 e do art.º 195º e seguintes do Código do Direito de Autor e dos Direitos Conexos. Copyright IGP, 2004”

Foram igualmente utilizadas as folhas 46D, 50A, 50B e 50B da Série Cartográfica Nacional (SCN) à escala 1:50 000, em formato raster com resolução de 5 metros, e o MDT, em formato raster com resolução de 25 metros, ambos igualmente do IGP⁸.

1.6 – Arqueologia: ciência espacial

“El material que encuentra el arqueólogo no nos dice de forma directa qué debemos pensar. (...) Somos nosotros, en el presente, los que debemos darles sentido. Desde este punto de vista, la práctica de la arqueología es bastante similar a la del científico. (...) El científico recoge datos (evidencias), realiza experimentos, formula una hipótesis (una proposición para explicar los datos), contrasta la hipótesis con más datos y, como conclusión, elabora un modelo (una descripción que parece idónea para resumir el patrón observado en la evidencia). La arqueología es similar en muchos aspectos. El arqueólogo tiene que desarrollar una imagen del pasado, del mismo modo que el científico ha de elaborar una visión coherente del mundo natural.” (RENFREW *et al.*, 1993: p. 10)

Esta citação apresenta o processo do pensamento arqueológico enquanto pensamento científico, comparando-o nos seus passos às etapas percorridas por um cientista desde a recolha dos dados às conclusões, passando pela formulação de hipóteses e elaboração de um modelo científico que ajude a corroborar ou contradizer essas mesmas hipóteses. Segundo o mesmo princípio, CHILDE (1977: pp. 13-15) apelida a Arqueologia de ciência classificadora, “como a botânica ou a geologia”, na medida em que o arqueólogo começa por classificar os dados por si recolhidos segundo tipologias (já conhecidas ou segundo novos critérios de classificação) e, apenas após essa classificação, os interpreta para lhes “extrair a história”. Esta classificação feita pelo arqueólogo é uma abstração do elemento em estudo à tipologia usada, reduzindo o universo em estudo a “proporções ajustáveis ao tratamento científico”.

⁷ Nota de direitos autorais: “A carta de solos e a carta de capacidade de uso (em formato digital e analógico) informação é propriedade do IDRHa e goza da protecção dos direitos de autor. A sua reprodução, comercialização ou cedência a terceiros, mesmo que a título gratuito, sem autorização expressa do IDRHa, é interdita nos termos do art.º 14º do Decreto-Lei n.º 193/95, de 28 de Julho, e art.º 18º do Decreto-Lei n.º 74/94, de 5 de Março. A violação do disposto nestes preceitos legais é punível nos termos do art.º 17º do Decreto-Lei n.º 193/95 e do art.º 195º e seguintes do Código do Direito de Autor e dos Direitos Conexos.”

⁸ <http://www.igeo.pt>, site oficial do Instituto Geográfico Português, consultado em Março 2005. A cartografia do IGP utilizada foi gentilmente cedida por este instituto, ao abrigo do protocolo FIGIEE estabelecido no âmbito de realização desta dissertação de Mestrado entre esta entidade e o ISEGI.

Neste processo de classificação dos elementos em estudo, o arqueólogo contempla igualmente o enquadramento geográfico/espacial desses elementos. Numa análise feita por ALARCÃO (1996: pp. 30-31) às várias formas de pensar e fazer a Arqueologia, é clara esta influência do contexto espacial, independentemente da forma de estar na Arqueologia:

- “Arqueologia processual” é aquela que reconstitui o modo como o homem organizava o espaço em que vivia, através da disposição espacial dos artefactos;
- a “Arqueologia contextual” não se limita a ver a disposição espacial dos artefactos como a forma segundo a qual o homem organizava o seu espaço, mas vai mais longe ao indicar que essa mesma disposição espacial pode revelar a percepção que o homem tinha do mundo e a sua forma de pensar o ambiente no qual está inserido: “a disposição espacial dos objectos não é apenas o reflexo de como o homem actua, mas também do que o homem pensa e de como se relaciona com outros homens”.

De igual forma baseado na evolução das várias correntes do pensamento arqueológico, PIMENTA (1996: pp. 113-116) define o que intitula de “exemplares geográficos” do modelo de evolução paradigmática do pensamento arqueológico:

- o exemplar distribucional, que “não é propriamente um exemplar geográfico, na medida em que não participa da (...) dependência ambientalista do meio natural ou do meio social por parte dos grupos humanos”;
- o exemplar regional, em que “os grupos humanos apresentam uma capacidade limitada (ou pelo menos condicionada) de existência que lhe é imposta pelas condições naturais do lugar que habitam”;
- o exemplar territorial, que “representa a transição entre um ambientalismo natural e um ambientalismo propriamente social”;
- o exemplar espacial, que “reflecte (...) o modo como” a autonomia do comportamento humano “implica a desnaturalização das relações entre os grupos humanos e o espaço que habitam”.

Não obstante a forma usada pelo arqueólogo para interpretar os dados por si recolhidos, o vector espacial encontra-se sempre presente no pensamento arqueológico.

Os elementos arqueológicos, quando são primeiramente identificados no local da sua deposição, são de imediato coordenados no espaço da sua localização. Assim, independentemente da sua identificação ser feita durante um processo de escavação ou no processo de identificação de novos sítios arqueológicos durante uma prospecção de campo, o

achado arqueológico é sempre acompanhado de dados acerca da sua localização para permitir a contextualização espacial do mesmo e posteriormente permitir relacionar espacialmente esse elemento com outros. Um objecto arqueológico desprovido de contexto espacial mais não é que um curioso objecto sem mais valor que o do material de que é feito ou do trabalho artesanal que possibilitou a sua criação: pouca ou quase nenhuma informação histórica é possível extrair de um objecto descontextualizado.

A referência espacial atribuída pela actividade arqueológica aos contextos que estuda pode ser feita segundo coordenadas reais, baseadas na Rede Geodésica Nacional ou nos sistemas de projecção usados em contexto militar (com base nas Cartas Militares de Portugal), ou usar coordenadas artificiais segundo eixos ou pontos de referência criados pelo próprio arqueólogo como base do trabalho que conduz. Em prospecção, os dados são geralmente identificados segundo coordenadas reais, fazendo uso na maior parte dos casos das folhas da Carta Militar de Portugal ou, em projectos mais recentes, de aparelhos GPS. Já em contexto de escavação, as coordenadas utilizadas são regra geral artificiais, apoiadas numa rede de quadrículas definidas no início dos trabalhos. Esta rede de quadrículas é sempre orientada a Norte e um “ponto zero” é marcado, geo-referenciado a partir da Rede Geodésica Nacional (ou, mais recentemente, fazendo uso de aparelhos de estação total). No entanto, regra geral, em contexto de escavação, os dados sobre a localização do achado não vão além da referência da quadrícula no qual foi encontrado. Em casos particulares pode o arqueólogo efectuar medições para coordenar com precisão a localização do achado, mesmo dentro da quadrícula onde o mesmo se encontra.

1.7 – Evolução dos SIG em Arqueologia

Na base do nascimento dos SIG esteve a utilização manual de mapas de uma mesma área e à mesma escala, cada um deles focando características específicas, e a sua sobreposição com o objectivo de identificar locais que reuniam um determinado número de critérios objectivos (HEYWOOD *et al.*, 2002: p. 176).

A evolução tecnológica e os desenvolvimentos na área das Tecnologias da Informação permitiram a redução do custo do *hardware* e do *software* e um aumento na sua disponibilidade. A generalização do uso das novas tecnologias teve como resultado que esta

noção de sobreposição de mapas focando diferentes características desse origem ao que hoje se conhece por Sistemas de Informação Geográfica.

De acordo com vários autores (muito embora nem sempre colocando as fronteiras de cada etapa exactamente no mesmo instante temporal), as últimas 4 décadas do séc. XX correspondem, no período evolutivo dos SIG, a cada uma das etapas na sua história. A classificação temporal da utilização de SIG em contextos de investigação arqueológica que seguidamente se apresenta (Tabela 1) utiliza a denominação atribuída a cada uma das décadas em (MATOS, 2001: p. 9), na abordagem histórica global que o autor fez destes sistemas.

1960s Pioneiros	- surgem as primeiras aplicações com características SIG, sendo o próprio termo cunhado nesta década, não havendo conhecimento de utilização em contextos arqueológicos
1970s Consolidação	- são realizados os primeiros trabalhos aplicando SIG à Arqueologia (usando SYMAP) para calcular e visualizar <i>trend surfaces</i> realizados a partir da observação de dados arqueológicos de sítios conhecidos; - em 1978 são publicados resultados da investigação realizada sobre um sítio arqueológico no Sul da Grécia onde várias camadas temáticas contendo dados arqueológicos de prospecções são analisadas a par da geomorfologia e hidrografia do local (WHEATLEY <i>et al.</i> , 2002: p. 18)
1980s Desenvolvimento/ Divulgação	- no continente americano (EUA e Canadá) testemunham-se os primeiros casos de aplicação generalizada de SIG à investigação arqueológica com a criação de modelos preditivos na gestão de recursos. Projectos semelhantes seguem-se no Reino Unido e na Holanda; - reconhecimento geral da utilidade da nova relação interdisciplinar SIG-Arqueologia que resultou na grande utilização de SIG na gestão deste tipo de recursos culturais (WHEATLEY <i>et al.</i> , 2002: pp. 18-19)

1990s ao presente ⁹ Reconversão/ Aquisição de Dados e Vulgarização da Aplicação/Ciência	<ul style="list-style-type: none">- na Holanda, verifica-se a larga utilização de modelos preditivos sobre áreas em (re-)desenvolvimento;- em 1992 realiza-se em Sta. Bárbara (EUA) o primeiro congresso internacional subordinado exclusivamente ao tema da aplicação de SIG à Arqueologia;- em 1993 realiza-se uma conferência em Ravello (Itália), em moldes semelhantes à realizada no anterior nos EUA, cujos resultados foram publicados em (LOCK <i>et al.</i>, 1995), resultando numa maior divulgação no meio arqueológico do largo âmbito de aplicação de SIG à Arqueologia (WHEATLEY <i>et al.</i>, 2002: pp. 19-20).- igualmente em 1993, nas V Jornadas Arqueológicas da Associação dos Arqueólogos Portugueses, é apresentada uma comunicação que pretende “resumir algumas das mais importantes funções e capacidades dos SIG” (PEREIRA <i>et al.</i>, 1994a: p. 9). Numa revista de âmbito histórico-arqueológico publicada em 1994, os mesmos autores apresentam noções de SIG (PEREIRA <i>et al.</i>, 1994b);- em 1998, Carlos Dantas Giestal defende, na Universidade do Minho, a sua tese de Mestrado intitulada <i>Sistema de Informação Geográfica para a Arqueologia: o caso de Bracara Augusta</i>, representando a primeira dissertação inteiramente dedicada ao assunto no nosso país;- em Setembro de 1999 realiza-se, incluído no 3º Congresso de Arqueologia Peninsular que teve lugar em Vila Real, um <i>workshop</i> subordinado ao tema “SIG’s aplicados à Arqueologia da Península Ibérica” (JORGE, 2000);- a 4 de Abril de 2003 tem lugar no Instituto Politécnico de Tomar o 1º Congresso do CAA Portugal, onde investigadores nacionais
---	--

⁹ A última década do séc. XX é dividida por João de Matos em duas fases distintas, os primeiros cinco anos sendo de **Reconversão/Aquisição de Dados** e os restantes dedicados à **Vulgarização da aplicação/Ciência**, sendo que a distinção feita pelo autor se resume à abertura das aplicações SIG ao cidadão comum através da internet a partir de 1995 (MATOS, 2001: p. 9).

apresentam resultados da utilização de SIG nos seus projectos de investigação arqueológica;

- ainda em Abril de 2003, Gonçalo Velho, do Instituto Politécnico de Tomar, participa no congresso CAA'03 (Áustria) apresentando resultados da sua aplicação de data mining geo-espacial em contexto arqueológico;
- em 2004, Maria Helena Rua defende, no Instituto Superior Técnico, a sua tese de dissertação de Doutoramento cujo tema é a aplicação de modelos preditivos no auxílio à identificação de *villae* romanas no território português (RUA, 2004);
- igualmente em 2004, Natália Botica, da Universidade do Minho, defende a sua tese de mestrado subordinada ao tema de utilização de data mining com dados arqueológicos georreferenciados, como auxílio à construção de um modelo preditivo de apoio à prospecção arqueológica.

Tabela 1 - Evolução da aplicação de SIG em Arqueologia

2. TIPOS DE DADOS EM SIG

A construção de um SIG passa pela representação de uma realidade que se pretende analisar, com o intuito de resolver um problema de índole geográfica. Esta representação simplificada da realidade, ou modelo, criada a uma escala e com um nível de complexidade suficiente que permita a sua utilização, é construída através da combinação de dados que permitam atingir o objectivo proposto. Os dados utilizados num SIG são constituídos por duas componentes (GILLINGS *et al.*, 1998)(Tabela 2):

- a componente espacial da informação, ou de localização, que permite relacionar espacialmente os diferentes componentes do modelo (coordenadas, topologia);

- a componente complementar, ou descritiva, que permite classificar ou enriquecer os dados em análise (designação, tipo de sítio, cronologia, desenhos, etc).

DESIGNAÇÃO	TIPOLOGIA	CRONOLOGIA	COORD_X	COORD_Y
Achada Do Mocho	Alcaria	Medieval Islâmico	608800	4145800
Cerca Das Alcarias Do Laborato	Alcaria	Medieval Islâmico	609100	4146600
Palheirinhos Do Cavalo	Casal Rústico	Romano	608400	4146300
Cerro Do Lírio	Povoado	Romano	609800	4145900

Tabela 2 - Exemplo de dados arqueológicos do concelho de Alcoutim

tendo uma componente geográfica (coord_x e coord_y) e

componente descritiva (designação, tipologia e cronologia do sítio)

Fonte: (CATARINO, 1997/98)

Os dados que se utilizam em qualquer sistema de informação, e disso os SIG não são excepção, deverão ser apenas os necessários e suficientes para atingir o objectivo proposto. Ao representar a realidade a analisar, o analista passa por uma série de simplificações, abstraindo-se dos detalhes do mundo real que não influenciam a busca da solução ao seu problema, tornando o universo em análise mais facilmente manipulável. No caso de um SIG que se destina a gerir os dados recolhidos em propeccões arqueológicas num determinado concelho do país, permitindo não apenas registar novos sítios identificados como acrescentar nova informação a sítios arqueológicos já conhecidos e revisitados, não haverá lugar, por exemplo, à localização dos restaurantes ou postos de abastecimento de combustível dessa região: por muito que isso possa facilitar a vida à equipa de Arqueologia que se encontra no terreno a desenvolver o trabalho, são dados que em nada contribuem para o objectivo final

do sistema. No entanto, esses mesmo dados provavelmente coexistirão num SIG a par da localização de sítios arqueológicos se o sistema em questão integrar o sistema de informação do posto de turismo da região.

Ao contrário de um mapa tradicional que tipicamente contém numa única camada (ou “folha”) vários tipos de informação (Figura 3) – hidrografia, topografia, vias de comunicação, sítios arqueológicos, etc. –, num SIG os dados estão organizados de uma forma temática: cada um dos tipos distintos de informação está contido na sua própria camada de informação (Figura 4).

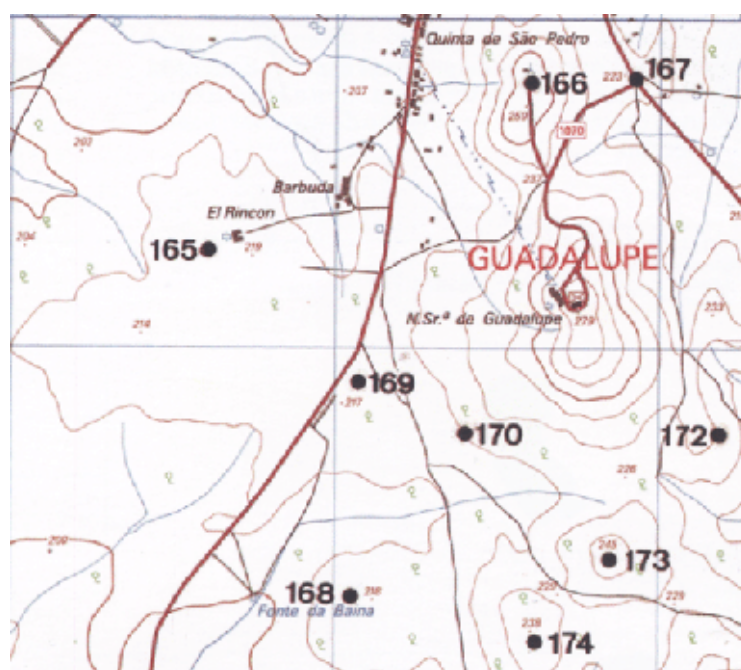


Figura 3 - Pormenor da Carta Arqueológica de Serpa

tendo por base a Carta Militar de Portugal, série M888, folha 532

Fonte: (LOPES *et al.*, 1997)

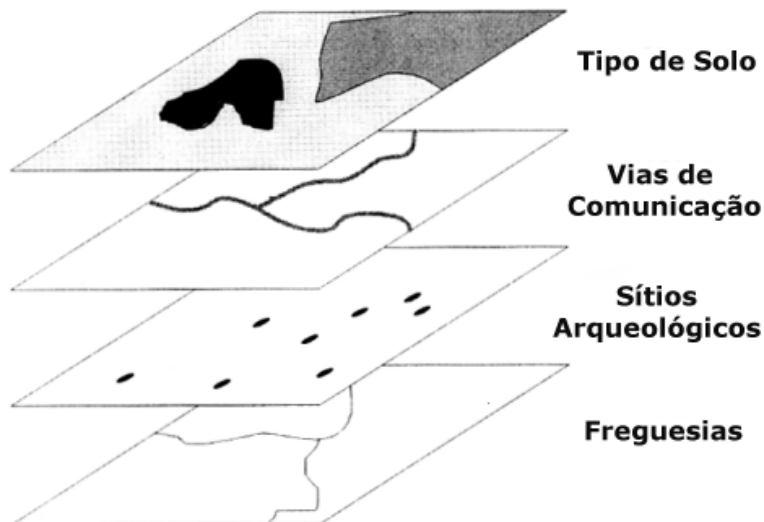


Figura 4 - Esquema de camadas de informação

Fonte: adaptado de (WHEATLEY *et al.*, 2002)

Esta segmentação da informação torna possível, durante uma análise num SIG, utilizar apenas as camadas de informação que são relevantes, simplificando a visualização das etapas intermédias e dos resultados dessa análise.

Muito embora os níveis de informação contidos no mapa tradicional e no SIG possam ser exactamente os mesmos, a estrutura que suporta essa informação é distinta: a um único conjunto complexo de dados contidos no mapa tradicional contrapõe-se um conjunto de camadas individuais simplificadas de temas específicos no SIG.

A característica que garante que as diferentes camadas de dados se relacionam de forma consistente é a sua georreferenciação, ou seja, a localização da informação através de coordenadas baseadas num sistema de projecção de referência global ou nacional. É a georreferenciação que garante que a posição relativa entre quaisquer entidades representadas em camadas do SIG (por exemplo, um rio e um sítio arqueológico) é coincidente com o mundo real, bem como que a distância entre essas entidades é proporcional à sua distância real. O factor dessa proporcionalidade é a escala de representação da informação.

2.1 – Formato dos dados geográficos

Os dados geográficos podem ser incorporados num SIG em camadas utilizando dois formatos que se distinguem pela forma como armazenam e representam os dados geográficos:

- formato vectorial
- formato raster, ou matricial

Na tabela seguinte indicam-se alguns exemplos de fontes de dados para cada um dos formatos de dados.

Raster	Vectorial
Imagens de satélite	Coordenadas de GPS
Fotografias aéreas	Dados de prospeções
Mapas ou fotografias “rasterizados”	Mapas topográficos
Modelos digitais de terreno (MDT)	Bases de dados toponímicas

Tabela 3 - Fontes de dados comuns dos formatos raster e vectorial

Fonte: adaptado de (LONGLEY *et al.*, 2001: p. 206)

Muito embora se possam combinar para visualização camadas de dados que à partida têm formatos distintos, nomeadamente utilizando um mapa em formato raster sob uma camada vectorial (Figura 5), é comum a análise espacial passar por uma fase de conversão de dados de um formato no outro, acabando o formato em que se realiza a análise por designar “o modelo espacial do SIG” (WHEATLEY *et al.*, 2002: p. 32). Há mesmo software vocacionado para operações sobre um formato específico – casos do GRASS e do Idrisi mais orientados para o formato raster (WHEATLEY *et al.*, 2002: p. 56; LOCK, 2003: pp. 53-54).

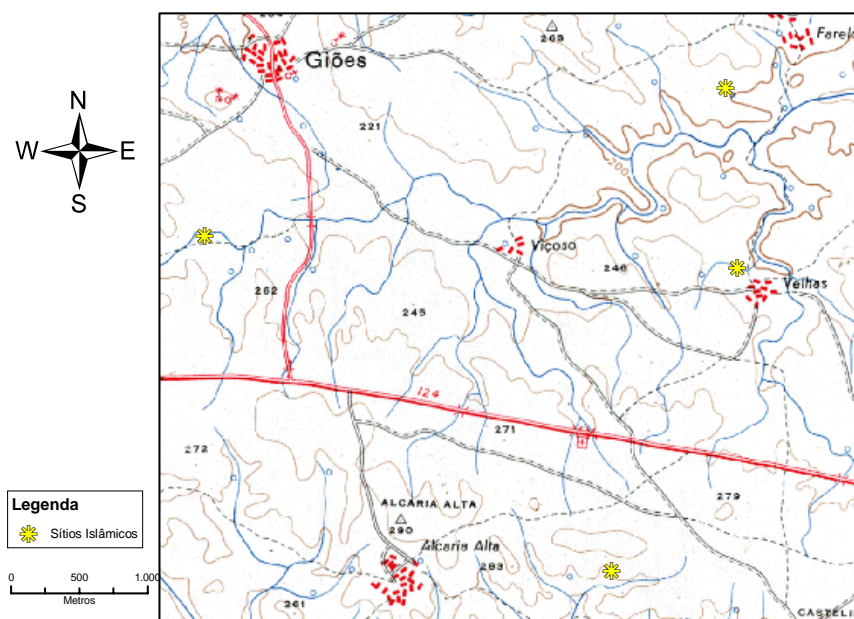


Figura 5 - Formato vectorial (sítios arqueológicos) combinado com formato raster (mapa base)

Fonte: mapa de autor, sobre dados alfanuméricos de (CATARINO, 1997/98)
e folha 50A da Série Cartográfica Nacional (1:50.000) do IGP.

2.1.1 - Formato vectorial

O formato vectorial serve para representar dados discretos. Neste formato, os dados adquirem uma representação gráfica baseada em três formas primitivas, sendo que cada camada contém apenas um dos três tipos:

- o ponto – representação de objectos sem dimensão (por exemplo, o centro da dispersão de vestígios arqueológicos cuja área é difícil de determinar) definidos por um único par de coordenadas (x, y), ou cuja área não seja suficientemente significativa na escala de estudo para serem representados como polígonos (e desta forma de área irrelevante para a análise que se pretende realizar);

- a linha – representação de dados que, à escala de estudo, não são suficientemente largos para serem representados como polígonos. Tratam-se de dados lineares, formados por um ou mais pares de pontos coordenados que se encontram unidos por um segmento de recta, como uma via de comunicação ou um rio. Poderá, independentemente da escala de representação, optar-se por criar uma representação linear de dados quando se pretende

modelar os mesmos enquanto rede, como a rede viária ou a rede hidrográfica de uma determinada região;

- o polígono – representação de dados em área, que mais não são que um caso particular de linha fechada, delimitando um espaço interior – a que se referem os dados – e um outro exterior. Um polígono pode representar a área de dispersão de vestígios arqueológicos ou a zona ocupada por um tipo específico de coberto vegetal.

Conforme mencionado, a representação de um sítio arqueológico num mapa pode ser alcançado pela utilização de um ponto ou de um polígono. A maioria das cartas arqueológicas publicadas faz uso do ponto em detrimento do polígono para assinalar o sítio arqueológico, representando as coordenadas do centro aproximado da área de dispersão dos vestígios arqueológicos. Três razões se prendem com este facto:

- 1) a escala da maioria das cartas produzidas (1:25 000) leva a que sítios arqueológicos identificadas a partir de pequenas áreas de dispersão ou mesmo achados isolados mais não sejam de facto que “pontos num mapa”;
- 2) a área de dispersão de vestígios à superfície, sendo um indicador relevante da potencial extensão do sítio arqueológico, não é de forma alguma indicadora da real dimensão dos vestígios no subsolo, podendo ser afectada quer por acções de lavoura intensiva, quer por escorrimento de materiais em zonas de declive, pelo que a verdadeira área de interesse arqueológico é, em larga medida, desconhecida;
- 3) a forma como as coordenadas do sítio arqueológico são obtidas, geralmente por georreferenciação baseada em CMPs ou em aparelhos de GPS, leva a que na maioria dos casos apenas um ponto de referência seja obtido para localização do sítio.

Na Figura 6 representaram-se os sítios arqueológicos apresentados anteriormente na Tabela 2, com base nas suas coordenadas geográficas, em conjunção com o limite do concelho de Alcoutim e duas das suas povoações. Ainda que aparecendo sobrepostas numa única imagem, o exemplo apresenta múltiplas camadas, de que se destacam uma camada de polígonos (contendo as povoações do concelho) e duas camadas de pontos (cada uma contendo sítios arqueológicos de cronologias distintas).

A componente descritiva dos sítios arqueológicos apresentada na tabela, associada à sua componente geográfica, foi igualmente utilizada na criação da imagem com o intuito de classificar os dados (cronologia – Islâmico e Romano) e para facilitar a sua interpretação (a designação do sítio).

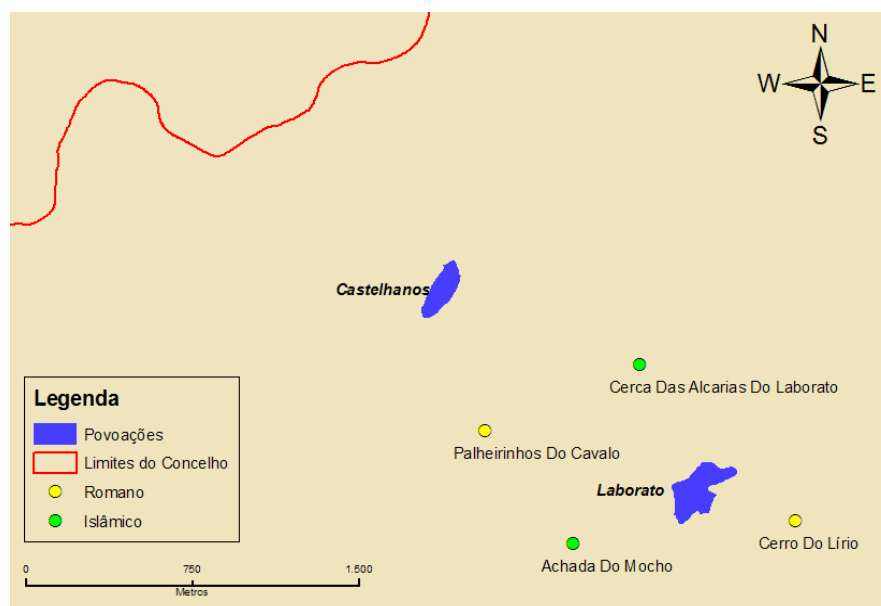


Figura 6 - Exemplo de utilização de primitivas vectoriais

Fonte: mapa de autor, sobre dados alfanuméricos de (CATARINO, 1997/98)
COS e CAOP do IGP.

A utilização de polígonos na representação de sítios ou dados arqueológicos revela-se possível e/ou imprescindível quando:

- se trata de um sítio arqueológico escavado cuja área total é conhecida;
- a sua georreferenciação é feita logo à partida com base na delimitação da área de vestígios arqueológicos (seja através de uma mais cuidada recolha de dados utilizando um GPS, seja fazendo uso de fotografia aérea ou imagens de satélite de resolução espacial suficiente para a sua detecção¹⁰);
- a escala de representação é suficiente para que seja significativa a sua representação enquanto polígono¹¹ e não apenas como ponto.

Considerando o objectivo de um SIG aplicado à Arqueologia, que pretende não apenas ser um mapa de dispersão de sítios arqueológicos mas auxiliar na gestão e preservação desses recursos, protegendo-os de actividades que neles poderão ter impacto em projectos à

¹⁰ A utilização de fotografia aérea e imagens de satélite, bem como o conceito de resolução espacial, serão abordados no capítulo 5. Detecção Remota.

¹¹ O tópico “escala” e o seu significado na representação de dados e criação de mapas é abordado no capítulo 4. Cartografia e Arqueologia.

mais variada escala (construção de novas vias de comunicação, implantação de infraestruturas como linhas de energia ou condutas de água, plantação de novas culturas em terrenos previamente incultos, ...) a representação tão próxima quanto possível da realidade (ou seja, fazendo uso de polígonos) tornar-se-á mais útil do que a mera utilização do ponto central da área de dispersão de vestígios.

2.1.2 - Formato raster

O formato raster mais não é que uma representação matricial de uma área ou região geográfica, representando a variação de determinada característica ao longo dessa região. Por esta razão, o formato raster, sendo discreto, é utilizado, regra geral, para a representação de dados contínuos no espaço em análise¹².

A imagem raster define-se por um determinado número de linhas e colunas compostas por células de informação de dimensão constante. Cada célula corresponde, geralmente, a um quadrado de terreno com n metros de lado – esta medida a que corresponde no espaço o lado da célula é o que se designa por resolução do raster. A Figura 7 representa três imagens raster com os mesmos dados, cobrindo a mesma área, mas com resoluções distintas: a imagem da direita tem uma resolução que é o dobro da imagem da central e o quádruplo da imagem da esquerda, sendo menos fina a granularidade da representação.

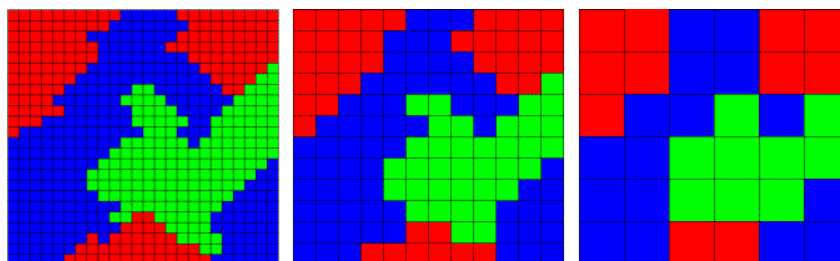


Figura 7 - Exemplo de formato raster

No exemplo é claro o maior nível de detalhe da imagem da esquerda, em que as células representam uma parcela de terreno de n metros de lado. Ao passarmos para uma resolução de $2n$ metros, na imagem central, nota-se que se perde algum detalhe nos dados

¹² Excepção a esta regra são os casos em que o formato raster é suporte de imagens de mapas digitalizados, como o da Figura 5, fotografias aéreas ou imagens de satélite.

apresentados. Esta perda é ainda mais significativa quando passamos a uma resolução de $4n$ metros, na imagem da direita, em que é clara a perda de detalhe quando comparada com a imagem central, sendo quase impossível comparar com a imagem da esquerda. Se este fosse um caso de um raster real, em que a imagem da esquerda tivesse uma resolução de 25m, seria em muitos casos certamente incomportável considerar a utilização da imagem da direita com uma resolução de 100m, tendo em conta a perda de informação que isso poderia representar para o modelo a implementar. Mais relevante será, de facto, se considerarmos que se um sítio arqueológico ocupar uma área de cerca de $600m^2$ numa carta de prospecções, este seria possível de visualizar, de forma mais ou menos fiel, no raster da esquerda como uma célula (25 x 25m), sendo que o mesmo seria diluído e impossível de representar com a resolução do raster de 100m. Ao usar-se o raster da direita, teria que se optar por representar o sítio como uma célula que ocupa uma área de $10.000m^2$ potencialmente sobrevalorizando a área ocupada pelo sítio (atribuindo-lhe uma área aproximadamente 16 vezes maior) ou optar por não o representar, dada a sua dimensão “insignificante” no modelo que estaria a ser usado. A resolução do formato raster é, sem dúvida, um factor de grande importância quando utilizando dados neste formato: a granularidade da matriz deverá aproximar-se tanto quanto possível da realidade que se pretende representar e modelar, de forma a beneficiar os resultados da análise.

Se no formato vectorial existem elementos precisos (pontos, linhas e polígonos) aos quais estão associados pares de coordenadas (x, y), no caso do formato raster a georreferenciação é garantida pelas coordenadas que definem os limites da imagem. Porque têm uma medida uniforme em todo o raster, cada célula é inequivocamente localizada através da sua indexação (posição) dentro da imagem. Para além da sua localização no raster, a célula contém um valor que lhe está associado. É este valor que, dependendo do tipo de informação que está representada nessa camada, define os dados contidos na imagem. No exemplo da imagem da esquerda da Figura 7 encontra-se representada uma área de 24×24 células, na qual se encontram representadas 3 classes de valores (representadas pelas cores vermelho, azul e verde). Cada célula contém o valor da ocorrência verificada por uma classe nesse ponto da área em análise. Este raster, fictício, poderia representar os tipos de coberto vegetal de uma determinada área ou o registo de concentração de elementos arqueológicos (materiais cerâmicos, por exemplo) encontrados em determinada zona prospectada (vermelho – nenhum; azul – até 10; verde – mais de 10).

Os dados representados no raster podem referir-se a classes de valores que se pretendem representar, como no exemplo da figura anterior, ou a grandezas físicas. Neste segundo caso encontra-se um modelo digital do terreno (MDT) que contém em cada célula o valor referente à altimetria do quadrado de terreno por ela representado (Figura 8).

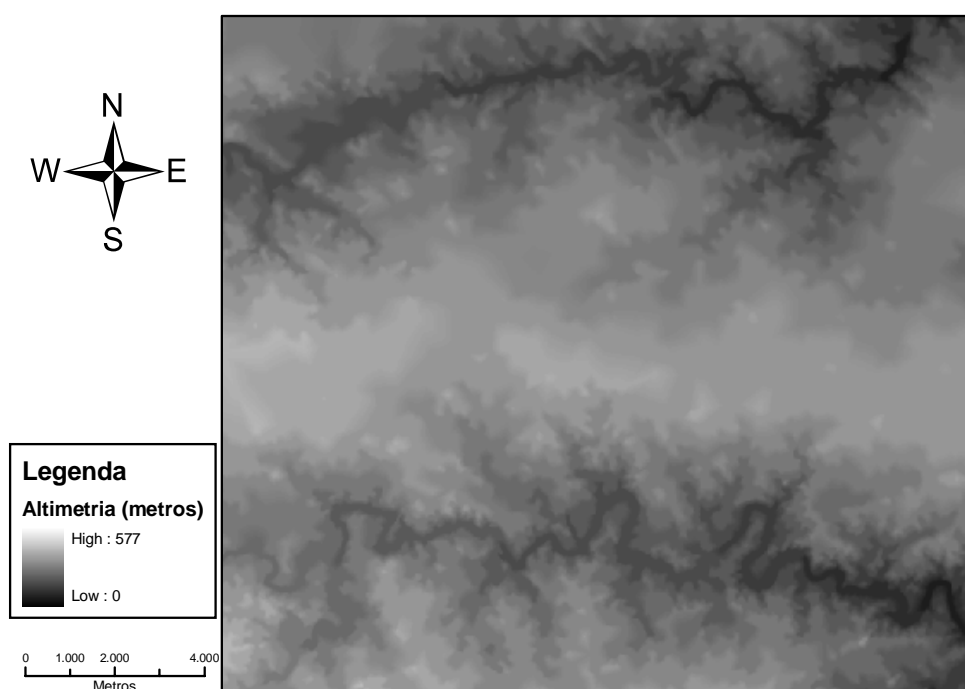


Figura 8 - Modelo digital de terreno

representando a zona planáltica do centro do concelho de Alcoutim,
em que se destacam os vales das ribeiras do Vascão, a Norte, e da Foupana, a Sul.

Fonte: mapa de autor, sobre MDT (25m) do IGP

Se o formato vectorial utiliza elementos individualizados para representar a realidade, é certo que o modelo raster traz vantagens de interpretação e análise sempre que os dados são contínuos. Esta comparação torna-se perceptível na Figura 9 representando um troço do vale da Ribeira da Foupana no concelho de Alcoutim. Na imagem da esquerda, encontra-se uma representação vectorial com curvas de nível com intervalos de 25m e, na imagem da direita, um raster (MDT) cobrindo exactamente da mesma área. No caso do formato vectorial existem abstrações de representação em cada intervalo entre duas curvas de nível. É apenas possível ler que entre duas curvas de nível consecutivas há uma área que se situa a uma

altitude nesse intervalo, mas sem ser possível determinar o valor exacto em cada ponto. A capacidade do raster de representar essa evolução como valores contínuos de dados ao longo de todo o espaço geográfico em análise permite eliminar essas abstrações (ou pelo menos reduzi-las, dependendo uma vez mais da resolução do mesmo).

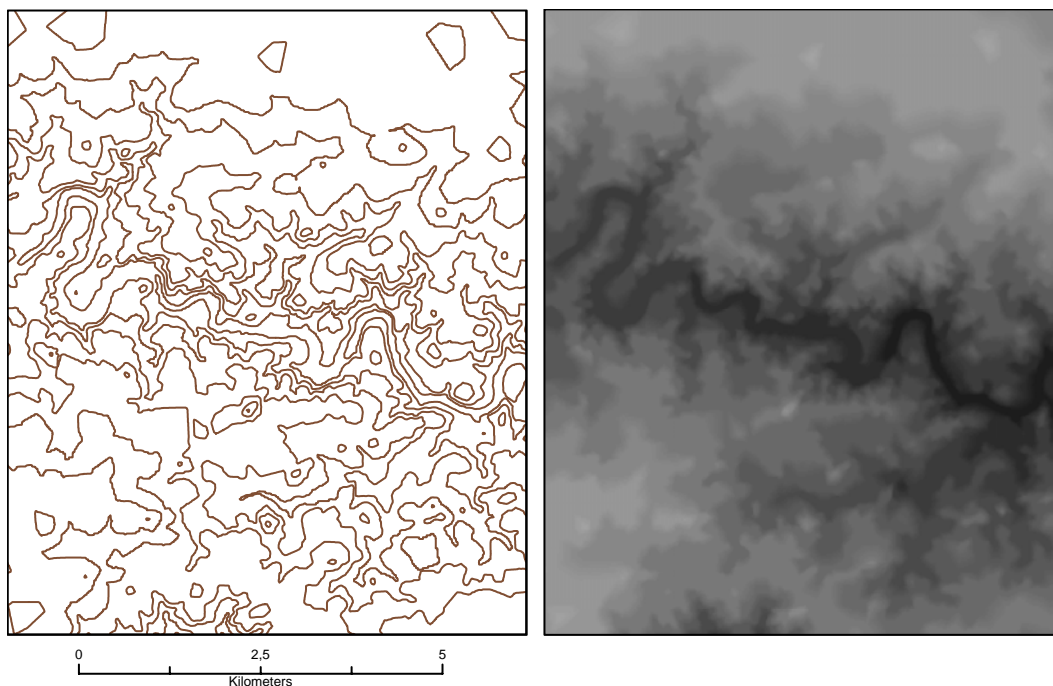


Figura 9 - Comparação vectorial e raster

Fonte: imagem de autor, sobre MDT (25m) do IGP

A principal vantagem do formato vectorial sobre o formato raster prende-se com o armazenamento dos dados: tendo a necessidade de armazenar todas as células da imagem¹³, o formato raster quando utilizando uma resolução espacial que possibilite a sua utilização em contextos de arqueologia, ocupa consideravelmente mais espaço em disco que o formato vectorial¹⁴. De igual forma, por conter objectos individualizados, o formato vectorial possibilita o armazenamento de dados em bases de dados relacionais (tema que será

¹³ Se considerarmos um raster com resolução de 25m cobrindo uma área semelhante à do concelho de Alcoutim (aprox. 576Km²) estaremos a trabalhar com informação contida em aproximadamente 900.000 células.

¹⁴ A evolução de métodos de compressão de imagens tem reduzido consideravelmente este inconveniente à utilização de imagens raster.

abordado no capítulo seguinte) sendo que os raster são normalmente ficheiros de imagem (de que o melhor exemplo é uma fotografia aérea).

2.1.3 - Topologia

A topologia de um sistema é a informação que, utilizada pelo SIG, permite definir a forma dos dados e as relações espaciais em análise.

Sendo representado por um conjunto uniforme de células de uma matriz sem individualização de cada elemento da realidade representada, o formato raster não faz uso de topologia (WHEATLEY *et al.*, 2002: p. 52; GILLINGS *et al.*, 1998). No entanto ela está implicitamente presente, dado que o raster efectua uma partição regular do território ou área que representa.

O formato vectorial, contendo na camada de dados cada elemento relevante da realidade que pretende representar, utiliza informação topológica para definir relações espaciais entre eles. O elemento mais simples do formato vectorial, o ponto, para se considerar que mantém a integridade de desse tipo de elemento – ou que está topologicamente correcto (HEYWOOD *et al.*, 2002: p. 59) –, necessita apenas de ter a ele associado um único par de coordenadas (x, y).

Uma linha, que é constituída por um conjunto de 2 ou mais pontos, necessita que nesse conjunto seja identificado um ponto de início e outro de fim da linha. Ao ser identificado um início e um fim, está implicitamente a associar-se uma direcção associada à linha que pode, por exemplo, definir a direcção do fluxo de um rio por ela representado. Se for possível determinar que duas linhas partilham um mesmo ponto, então está implicitamente a definir-se a conectividade entre elas. Um exemplo disso é uma linha que define um rio e cujo ponto final pertence a uma outra linha definindo um segundo rio: facilmente se deduz que o primeiro é um afluente do segundo.

No que toca à primitiva de polígono, esta pode-se definir como sendo composta por uma fronteira e um interior: a fronteira sendo uma linha cujo ponto inicial é igualmente o ponto final, fechando um “ciclo”; o interior estando associado ao lado da linha (à esquerda ou à direita desta, segundo a sua direcção) que forma o conteúdo do polígono.

Tendo definidas as linhas de fronteira de dois polígonos, a relação espacial entre eles, se existe, pode ser facilmente determinada:

- se as linhas de fronteira partilham um ou mais pontos, então pode-se dizer que os elementos espaciais (áreas) definidos por esses polígonos são adjacentes;

- sendo os polígonos adjacentes, e conhecendo de que lado da sua fronteira está o espaço que lhe é exterior, é possível determinar a posição relativa entre eles: qual está em cima, qual em baixo; qual se encontra à esquerda e qual à direita.

Ainda que sendo relevante e, de facto, imprescindível para as operações que se efectuam durante a análise espacial, na realidade e na generalidade dos casos o analista não necessita de se preocupar com a topologia dos dados que está a utilizar (a menos que tenha explicitamente que a definir¹⁵) uma vez que a mesma é tratada transparentemente pelo software de SIG que utiliza.

2.2 – Operações sobre dados espaciais

Para que seja possível alcançar a solução de um problema, a generalidade dos pacotes de software SIG disponibilizam um conjunto de funcionalidades ou operações espaciais. Estas operações, mais ou menos comuns a todos os SIG, vão da simplicidade da selecção com base em atributos ou a sobreposição de camadas de informação (operações já apresentadas nas Figura 5 e Figura 6) até operações de análise espacial mais complexa, como por exemplo, a análise de intervisibilidade ou a análise de redes.

Nem sempre agrupando estas operações de forma idêntica num mesmo conjunto de classes, vários autores (HEYWOOD *et al.*, 2002; LONGLEY *et al.*, 2001; MATOS, 2001; WHEATLEY *et al.*, 2002; PEREIRA *et al.*, 1994a) não deixam de identificar as seguintes como algumas das principais operações utilizáveis num SIG¹⁶.

2.2.1 - Visualização

Seleccção: com base nos dados de uma camada, seleccionar apenas aqueles que têm um determinado valor para um atributo. Por exemplo, dada a camada de sítios

¹⁵ Esta situação depende, em grande medida, da forma como os dados foram adquiridos/criados e do software que esteja a utilizar.

¹⁶ As imagens que se apresentam ao longo desta secção são apenas exemplificativas, sendo que os temas análise e modelação espacial serão abordados no capítulo 6 desta dissertação, onde será feito uso aprofundado de grande parte das funcionalidades agora apresentadas.

arqueológicos identificados no concelho de Alcoutim, destacar apenas os que têm cronologia medieval islâmica (Figura 10).

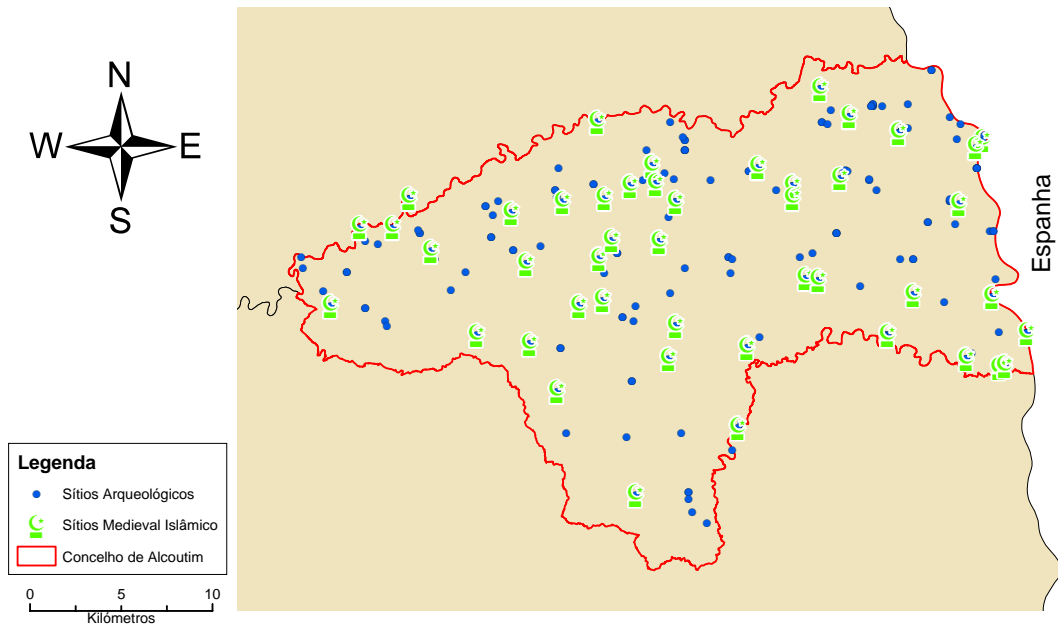


Figura 10 - Exemplo de selecção com base em atributos

Fonte: mapa de autor, sobre dados alfanuméricos de (CATARINO, 1997/98)
e CAOP do IGP.

Alteração de escala: visualização dos dados do espaço em análise de forma a possibilitar ver todos os sítios arqueológicos do concelho ou a ter presente um maior nível de detalhe, por exemplo, apresentando unicamente os sítios arqueológicos na vizinhança da povoação de Santa Justa (Figura 11).

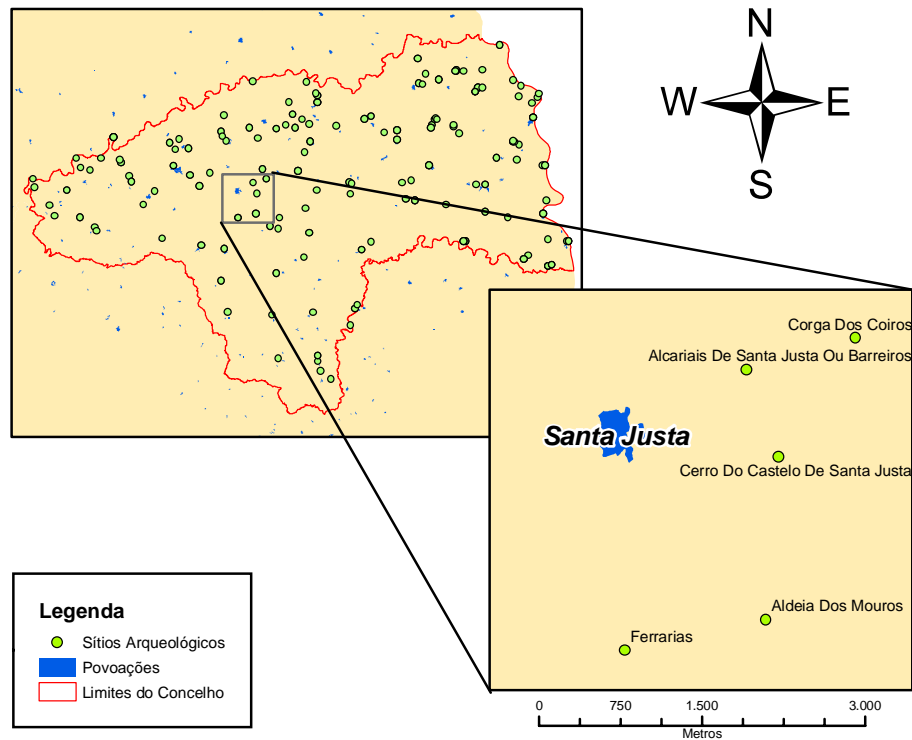


Figura 11 - Exemplo de diferentes escalas

Fonte: mapa de autor, sobre dados alfanuméricos de (CATARINO, 1997/98),
COS e CAOP do IGP.

2.2.2 - Integração e manipulação de dados

Sobreposição: visualizar, para uma mesma área ou região, dados espaciais constantes em distintas camadas, permitindo interrelacioná-los. Nomeadamente, em qualquer das figuras apresentadas neste capítulo se fez uso desta funcionalidade que será, eventualmente, a mais usada das que compõem um SIG.

Redefinição de sistema de projecção: possibilidade de incluir no mesmo SIG dados provenientes de fontes diversas e definidos segundo sistemas de projecção distintos. Esta pode considerar-se como uma das primeiras etapas de utilização de dados espaciais em SIG. Considerando que uma aplicação utiliza frequentemente dados de variadas proveniências, há que garantir que a sobreposição desses dados obedece ao

mesmo sistema de projecção, ou seja, que dados com as mesmas coordenadas serão apresentados no mesmo ponto no espaço.

Junção de mapas: permite juntar mapas ou camadas georreferenciados correspondentes a áreas adjacentes que se pretendem analisar como um todo.

Fusão¹⁷: simplificação de mapas por agrupamento de polígonos com valores iguais para determinado atributo.

Reclassificação: redução do número de polígonos por agrupamento de intervalos de valores de determinado atributo.

A figura seguinte (Figura 12) procura exemplificar estas três últimas funcionalidades. A figura foi obtida através da junção das 9 folhas da COS (1:25 000) que compõem o território do concelho de Alcoutim. De seguida fez-se uso da fusão uma vez que havia que transformar num só, os polígonos adjacentes com o mesmo tipo de ocupação de solo existentes na fronteira entre cada duas folhas. Finalmente, para simplificar a leitura, os valores dos polígonos representados foram reclassificados segundo as designações de grupos mais genéricos dessa mesma carta (Meios Semi-Naturais, Áreas Agrícolas, Áreas Artificiais, Floresta e Superfícies com Água).

¹⁷ Tradução do termo *Merge* em Inglês.

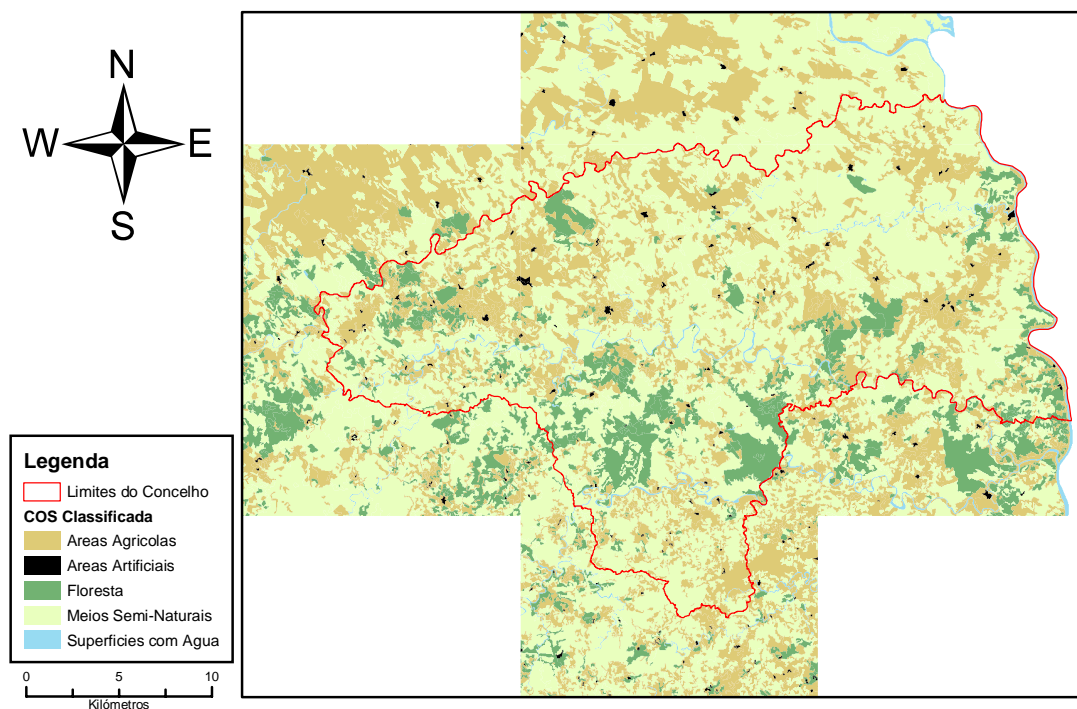


Figura 12 - Exemplo de junção, fusão e reclassificação

Fonte: mapa de autor, a partir de dados alfanuméricos com classes da COS, COS e CAOP do IGP.

2.2.3 - Cálculo de medidas

Áreas ou perímetros: determinação de valores de áreas ou perímetros de polígonos, ou comprimentos de linhas, no sistema em análise.

Distâncias¹⁸: determinação de distância e do caminho a percorrer entre objectos do espaço em análise, fazendo uso de algoritmos de cálculo variado (distância euclidiana, distância de custo ponderado).

¹⁸ A funcionalidade de cálculo de distâncias será abordada no capítulo 6 desta dissertação.

2.2.4 - Funções de vizinhança

Buffers ou áreas de influência: identificação de uma área tampão em redor de pontos, linhas, ou da fronteira de um polígono¹⁹. A utilização de buffers, ou áreas de influência, permite destacar áreas ou corredores (por exemplo, de afectação da construção de uma nova via de comunicação) que se encontram a determinada distância de um objecto. A título de exemplo, apresenta-se na Figura 13 um corredor de 3 faixas de 150m para cada lado da Ribeira da Foupana, identificando-se alguns sítios dentro desse corredor.

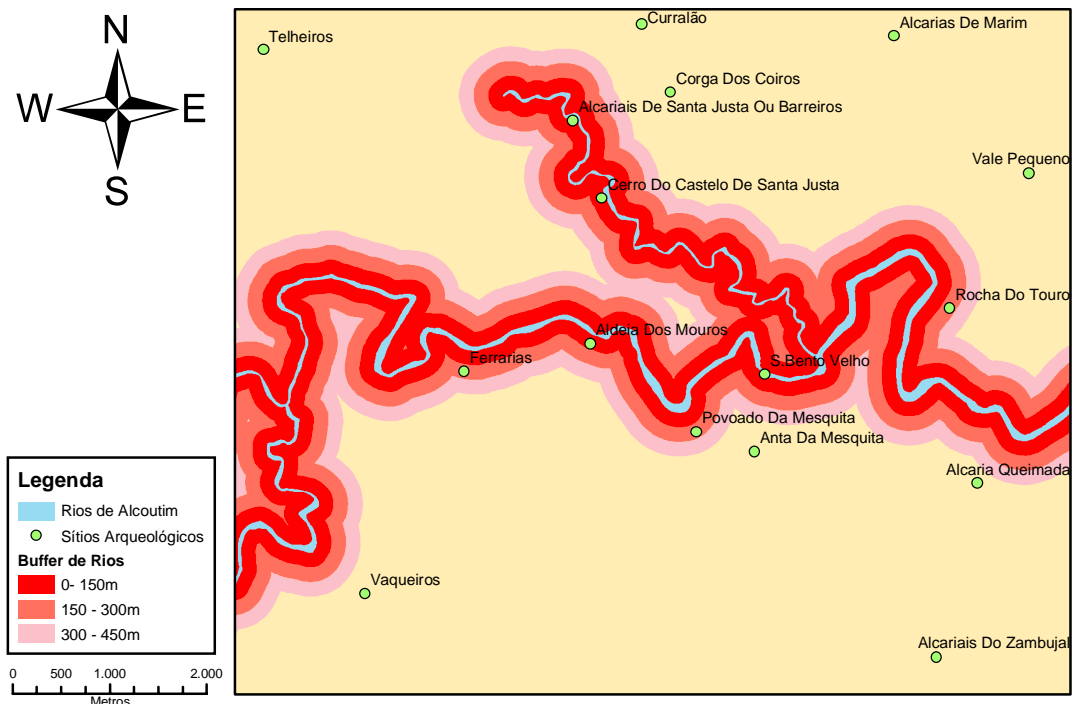


Figura 13 - Exemplo de utilização de buffer

Fonte: mapa de autor, a partir de dados alfanuméricos de (CATARINO, 1997/98),
COS e CAOP do IGP.

¹⁹ No caso específico de buffers criados sobre fronteiras de polígonos é ainda possível definir um buffer unicamente interior ao polígono, unicamente exterior a este, ou ambos.

Proximidade: determinação dos objectos de determinada camada que se encontram num raio específico de um outro objecto, fazendo uso da selecção por localização (esta operação mais não é que a conjugação das operações buffer e sobreposição anteriormente apresentadas). Por exemplo, utilizando esta funcionalidade é possível destacar os sítios arqueológicos que se encontram num raio de 1,5Km de minas do concelho de Alcoutim (Figura 14 e Tabela 4).

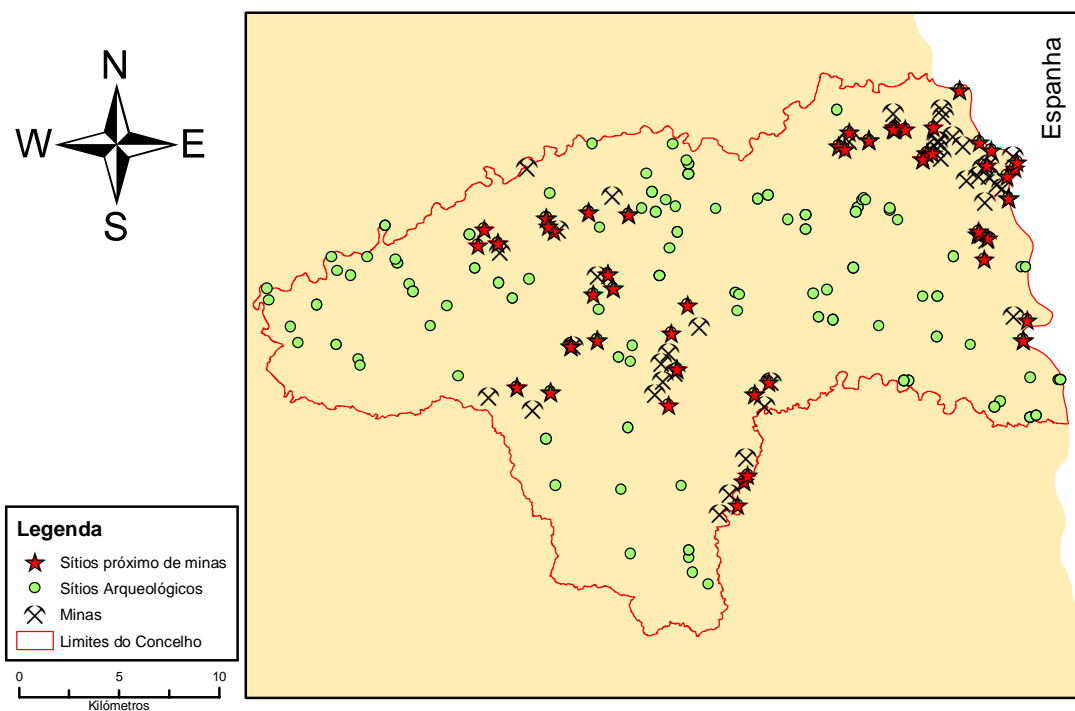


Figura 14 - Sítios arqueológicos na proximidade de minas

Fonte: mapa de autor, a partir de dados alfanuméricos de (CATARINO, 1997/98) e CAOP do IGP.

SÍTIO	
Achada do Mocho	Cerro das Casinhas
Alcaria Queimada	Cerro do Castelo de Sta. Marta
Alcarias de Pão Duro	Cerro do Lírio
Alcarias de Santa Justa ou Barreiros	Cerro dos Carriços
Alcarias de Soude	Corga dos Coiros
Alcarias do Zambujal	Curralão
Aldeia dos Mouros	Eironas
Anta do Lavajo	Enxoval
Barranco da Lapa	Estela-Menir do Lavajo
Cacela	Ferrarias
Calvário	Lourinhã 1
Capela de S.Martinho de Cortes Pereiras	Lourinhã 2
Casa Velha do Marmeleiro	Malhada
Castelinho dos Mouros	Malhanito
Castelo de Alcoutim	Menir do Lavajo
Castelo de Soudes	Montinho das Laranjeiras
Castelo Velho de Alcoutim	Montinho de Corte da Seda 1
Cerca das Alcarias do Laborato	Montinho de Corte da Seda 2
Cerca das Oliveiras de S.Martinho Velho	Montinho de Corte da Seda 3
Cerca das Oliveiras do Cerro do Lobo	Pedrinhas de S. Brás
Cerca das Oliveiras do Lotão	Poço do Povo de S.Martinho de Cortes Pereiras
Cerca das Partilhas ou Bilhalva	Rocha do Touro
Cercado da Ferrugem	Santa Marta
Cerro da Horta do Brejo	Vale Pequeno
Cerro da Picota	Vaqueiros
Cerro das Córias	

Tabela 4 - Sítios arqueológicos a menos de 1,5Km de minas

Fonte: baseado em dados de (CATARINO, 1997/98)

Polígonos de Thiessen: determinação de espaço de influência de um ponto, ou seja, toda a área que está mais perto desse ponto que de qualquer outro pertencente à mesma classe (camada) de dados. Os polígonos de Thiessen são usados frequentemente na determinação do espaço teórico relacionado com um sítio arqueológico, apenas baseado no pressuposto de que o espaço teria maior probabilidade de “pertencer” ao povoado que ficasse mais próximo.

2.2.5 - Análise de superfícies

Declives: criação de camada de valores de declives baseada em valores altimétricos, nomeadamente num MDT. A utilização de mapas de declives permite, por exemplo,

determinar o caminho de menor custo entre dois pontos, que poderá não ser o caminho mais curto.

Orientação de encostas: determinação de orientação de encostas permitindo identificar a maior ou menor exposição solar. Com base em declives reduzidos e boa exposição solar, combinados com solos férteis, é possível através de uma análise simplificada determinar as áreas de maior potencial agrícola, que poderá ter contribuído para a fixação de determinado povoado.

Cálculo de intervisibilidade: identificar zonas de visibilidade a partir de um ponto de observação (ou vários), com base no relevo de uma área ou região. Estas áreas de visibilidade poderão auxiliar na determinação de territórios teóricos de defesa de um determinado povoado de altura ou atalaia.

2.2.6 - Análise de redes

Determinação de conectividade: identificar, com base numa rede de caminhos, se os mesmos se cruzam.

Distâncias em rede: determinar, com base numa rede de caminhos, a distância entre dois pontos com o intuito, por exemplo, de identificar o caminho mais curto entre eles.

2.3 - Resumo

Ao longo deste segundo capítulo foram apresentados os tipos de dados utilizados em SIG e as suas principais componentes: espacial e descritiva. Se a primeira é a pedra basilar da informação geográfica, uma vez que permite estabelecer as posições relativas dos objectos no espaço em análise, a componente descritiva não é menos importantes, permitindo classificar, comparar, relacionar, ..., os objectos com base nos seus atributos não geográficos. Apresentou-se igualmente a forma como os dados espaciais se analisam através da sua inclusão em camadas de informação.

Foram neste capítulo igualmente abordados os principais formatos de dados geográficos utilizados em SIG: formato vectorial, baseado em primitivas (ponto, linha e polígono), e formato raster, que representa o espaço em análise segundo uma forma matricial. Apresentou-se igualmente o conceito de topologia, que mais não é que um conjunto de propriedades ou regras que permitem estabelecer relações espaciais entre os objectos.

Finalmente, foram sucintamente apresentadas as principais operações ou funcionalidades que o software SIG comunmente disponibiliza: visualização, integração e manipulação de dados, cálculo de medidas, funções de vizinhança, análise de superfícies e análise de redes. Através da combinação de sequências destas operações sobre os dados, define-se o processo de análise que vai conduzir à solução do problema espacial que se pretende resolver.

3. BASES DE DADOS

Uma base de dados é, numa definição simplista, um conjunto de dados de um mesmo tema estruturados de forma a que a sua leitura ou pesquisa seja possível. Esta visão, focada no ponto de vista do utilizador dos dados, abstrai-se da forma como os mesmos se encontram armazenados, não sendo tidas em conta a eficiência e a eficácia da sua utilização. No entanto, num mundo real, frequentemente os volumes de dados a serem manipulados são suficientemente elevados para tais considerações terem especial relevo na definição e na criação de uma base de dados. Essencial à sua definição pode ser a forma como os dados se encontram armazenados: esta pode ir de um simples ficheiro (ou conjunto de ficheiros) a um complexo software de gestão de dados, vulgarmente designado por Sistema de Gestão de Base de Dados (SGBD).

3.1 – A estrutura física

Conforme mencionado, o suporte físico de dados que se encontra num projecto de investigação arqueológica pode assentar sobre ficheiros individualizados ou sobre um SGDB. A opção por utilização de um ou outro método de armazenamento pode prender-se com considerações como:

- limites do software que se está a utilizar, restringindo-nos a utilizar apenas dados armazenados em ficheiros;
- dimensão do projecto e do universo de dados, que poderá ser indicativo de uma maior simplicidade – traduzida na utilização de ficheiros –, ou por um grau de complexidade relativo – que poderá aconselhar a utilização de um SGBD, por questões de optimização de pesquisa, gestão e armazenamento dos dados;
- a prévia existência de um universo de dados que se pretende aumentar e que poderá aconselhar a tirar partido da forma de armazenamento já existente, se a mesma suportar o aumento de volume de dados e o tipo de análise que novas etapas do projecto se propõem realizar.

3.1.1 - Ficheiros de dados

No caso da utilização de ficheiros, e dependendo da forma como o investigador optou por tratar os seus dados, podemos encontrar as seguintes formas:

- vulgares ficheiros de texto (Figura 15), onde a estrutura dos dados é definida pelos cabeçalhos na primeira linha do ficheiro. Cada linha do ficheiro representa uma ocorrência dos factos retratados no ficheiro (no exemplo, sítios arqueológicos), estando os valores referentes a cada campo separados por vírgulas;

```
ID_SITIO,SITIO,TIPO_SITIO,CRONOLOGIA,COORD_X,COORD_Y,ALTIMETRIA
1,Achada Do Ouro,Alcaria,Medieval Islâmico,610600,4143100,223
2,Achada Do Mocho,Alcaria,Medieval Islâmico,608800,4145800,300
5,Alcaria Chã,Alcaria,Medieval Islâmico,612400,4148400,215
9,Alcaria Queimada,Alcaria,Medieval Islâmico,618800,4139700,168
10,Alcaria De Vila Longa,Alcaria,Medieval Islâmico,603300,4145100,216
13,Alcarias De Galaxos,Alcaria,Medieval Islâmico,619100,4133800,104
15,Alcarias De Monte Argil,Alcaria,Medieval Islâmico,607900,4139200,255
19,Alcarias De Soude,Alcaria,Medieval Islâmico,622700,4138500,190
21,Alcarias Das Velhas,Alcaria,Medieval Islâmico,618800,4146500,225
```

Figura 15 - Exemplo de ficheiro de texto como suporte de dados

Fonte: ficheiro de autor, sobre dados de (CATARINO, 1997/98)

- folhas de cálculo (Figura 16), com uma estrutura inerente de colunas e linhas adequada aos dados tabulares;

	A	B	C	D	E	F	G
1	ID_SITIO	SITIO	TIPO_SITIO	CRONOLOGIA	COORD_X	COORD_Y	ALTIMETRIA
2	1	Achada Do Ouro	Alcaria	Medieval Islâmico	610600	4143100	223
3	2	Achada Do Mocho	Alcaria	Medieval Islâmico	608800	4145800	300
4	5	Alcaria Chã	Alcaria	Medieval Islâmico	612400	4148400	215
5	9	Alcaria Queimada	Alcaria	Medieval Islâmico	618800	4139700	168
6	10	Alcaria De Vila Longa	Alcaria	Medieval Islâmico	603300	4145100	216
7	13	Alcarias De Galaxos	Alcaria	Medieval Islâmico	619100	4133800	104
8	15	Alcarias De Monte Argil	Alcaria	Medieval Islâmico	607900	4139200	255
9	19	Alcarias De Soude	Alcaria	Medieval Islâmico	622700	4138500	190
10	21	Alcarias Das Velhas	Alcaria	Medieval Islâmico	618800	4146500	225

Figura 16 - Exemplo de folha de cálculo como suporte de dados

Fonte: ficheiro de autor, sobre dados de (CATARINO, 1997/98)

- formato proprietário do software SIG que se usa. Na Figura 17, os mesmos dados dos exemplos anteriores apresentam-se armazenados no formato shapefile (.shp) da ESRI®, onde se destacam dois campos adicionais: FID (identificador de objecto) e Shape (primitiva vectorial associada ao objecto).

FID	Shape*	ID_SITIO	SITIO	COORD_X	COORD_Y	ALTIMETRIA
0	Point	1	Achada Do Ouro	610600	4143100	223
1	Point	2	Achada Do Mocho	608800	4145800	300
4	Point	5	Alcaria Chã	612400	4148400	215
8	Point	9	Alcaria Queimada	618800	4139700	168
9	Point	10	Alcaria De Vila Longa	603300	4145100	216
12	Point	13	Alcarias De Galaxos	619100	4133800	104
14	Point	15	Alcarias De Monte Argil	607900	4139200	255
15	Point	19	Alcarias De Soude	622700	4138500	190
17	Point	21	Alcarias Das Velhas	618800	4146500	225

Figura 17 - Exemplo de dados armazenados em formato proprietário (shape file da ESRI®)

Fonte: ficheiro de autor, sobre dados de (CATARINO, 1997/98)

Em qualquer dos casos, a componente de localização dos dados²⁰ está presente e associada à componente descritiva alfanumérica de cada um dos sítios arqueológicos representados.

A utilização de ficheiros para suporte aos dados tem, no entanto, algumas desvantagens. No primeiro caso, ficheiro de texto estruturado, muito embora seja um formato simples que, por essa razão, se torna fácil manipular e importar em diversos pacotes de software de análise de dados, é no entanto de difícil leitura e manutenção, principalmente quando o universo de dados é extenso. Este é um formato que se propicia a ser facilmente transformado noutra tipo de ficheiro que se deseja para a análise, mas por si só é um formato “bruto”.

Em relação ao segundo caso, é possível na generalidade do software de folhas de cálculo a utilização de fórmulas matemáticas e estatísticas mais ou menos complexas, tornando-se

²⁰ No caso da informação armazenada em ficheiros de formato proprietário, a componente espacial poderá nem sempre ser “visível” – como no exemplo que se apresenta na Figura 17 – sendo colocada em ficheiros auxiliares do software que se usa. A relação entre a componente espacial e a componente descritiva é então conseguida através do identificador do objecto (na figura, o campo FID).

um formato simples de manipular e utilizar. De igual forma, é possível manter os dados num formato compatível com formatos de importação de software SIG. Assim, ainda que alterações ou correções sejam necessárias sobre os dados, a folha de cálculo mantém-se como fonte única dos dados, minimizando a duplicação dos mesmos para ficheiros de formatos distintos compatíveis com os múltiplos pacotes de software que se utilizam.

No terceiro caso – armazenamento dos dados exclusivamente num formato proprietário do software SIG que se pretende utilizar para análise espacial – ainda que aconselhável se o projecto em que está a ser utilizado é exclusivamente um SIG, pode dificultar a análise dos mesmos dados sobre outro software (por exemplo, de análise estatística ou data mining) que se pretenda utilizar. Esta situação obrigaria inevitavelmente à duplicação dos dados em múltiplos suportes físicos, que se traduziria para o projecto em mais custos de manutenção dos dados (vários ficheiros a manter) sempre que houvesse necessidade de uma alteração aos mesmos.

Este é, de resto, um dos principais inconvenientes da utilização de ficheiros de dados: o custo associado à manutenção de vários ficheiros (ou versões) dos mesmos dados disseminados por diversas aplicações ou mesmo postos de trabalho de vários utilizadores.

3.1.2 - Sistema de Gestão de Base de Dados

Um Sistema de Gestão de Base de Dados trata-se de um pacote de software que permite criar e administrar uma base de dados (INMON, 1996: p. 371; MARCO, 2000: p. 367), suportada por ficheiros de dados de formato proprietário do produtor desse software. O SGBD permite ao utilizador dos dados um certo distanciamento em relação à forma como os dados estão fisicamente armazenados (ou seja, onde se encontra a última versão dos dados que necessita), permitindo-lhe focar todas as suas atenções nos dados propriamente ditos.

Um SGBD permite consolidar e centralizar os dados numa fonte única de informação arqueológica, baseado nas características que estes sistema vulgarmente disponibilizam:

- uma base de dados multi-utilizador, com diferentes níveis de acesso à informação por uma comunidade numerosa de utilizadores;
- garantia de integridade, consistência e protecção dos dados;
- suporte a grandes volumes de dados, geralmente apenas limitado pelo hardware sobre o qual o sistema foi implementado;

- possibilidade de desenvolvimento de aplicações de consulta e gestão dos dados, sobre múltiplas plataformas, nomeadamente disponibilizando os mesmo através da internet;

- partilha de dados entre múltiplas aplicações, como sejam, SIG, análise estatística, data mining, entre outros.

Estes sistemas, quando comparados com o método de ficheiros de dados, destacam-se pela facilidade de manutenção dos dados, unicidade de versão dos mesmos e garantia de segurança face a um universo virtualmente ilimitado de utilizadores. A sua principal desvantagem é o custo que a utilização de um SGBD impõe num projecto, custo este que se divide em:

- preço de aquisição do software, se bem que começam a aparecer no mercado SGBDs de baixo custo, mantendo as principais funcionalidades deste tipo de sistemas;

- preço do hardware com características que permitam tirar partido das funcionalidades do software. A evolução do custo de aquisição de computadores tem sido claramente positiva face às características que estes hoje disponibilizam, pelo que esta desvantagem se vem minimizando nas últimas décadas;

- despesas com recursos humanos com conhecimentos adequados manutenção destes sistemas.

No entanto, face a estas desvantagens, sempre que se coloca a situação de gerir um grande conjunto de tipos de informação²¹, uma base de dados consolidada e otimizada para a sua gestão só poderá traduzir-se numa mais valia para o projecto, quando comparada com o esforço que seria gerir o mesmo conjunto de dados dispersos por vários discos em múltiplos sistemas e formatos. Se há, sem dúvida, que considerar um esforço inicial no desenho e implementação da base de dados, este esforço ver-se-á certamente recompensado a juzante quando houver necessidade de traduzir os dados recolhidos em informação útil para o projecto e para a investigação arqueológica.

²¹ Num projecto de arqueologia, os tipos de informação utilizados poderão ir da simples informação descritiva compilada durante uma prospecção de campo até ao detalhe da análise de materiais e sua compilação num relatório de escavação, passando por um sem número de imagens referentes a desenhos de materiais, mapas de dispersões ou plantas de escavações e fotografias aéreas.

3.2 – Standardização dos dados

Os projectos de Arqueologia, geradores de um volume relativamente elevado de dados, vêm-se tipicamente suportados por bases de dados criadas para o efeito do referido projecto, raramente havendo uma consolidação num suporte com estruturas de dados uniformizadas inter-projectos.

A standardização dos dados mais não é que o estabelecer de critérios com o objectivo de sistematizar e unificar os dados arqueológicos, de forma a tornar possível a sua comparação e integração numa análise mais global (ÁRBOL MORO, 2003: p. 3), nomeadamente, entre projectos ou mesmo a nível nacional. Apesar da utilização em larga escala de bases de dados²² em projectos de Arqueologia, não existe ainda uma definição uniformizada da arquitectura de dados arqueológicos nem uma sistematização dos mesmos (SCHLOEN, 1999: p. 299).

A preocupação relacionada com a normalização de dados prende-se com o facto da base de dados, podendo ser um ponto centralizador de informação e detentor da fonte única de “verdade” dos dados arqueológicos, se desejar tão genérica e abrangente quanto possível por forma a dar resposta, virtualmente, a todos os projectos que possam surgir no âmbito da investigação arqueológica; mas igualmente tão específica e concisa quanto necessário para unificar a informação arqueológica sob um mesmo conjunto de regras normalizadoras.

Se o arqueólogo responsável pelo projecto faz tradicionalmente uso das ferramentas que tem em mão (frequentemente desenvolvendo a sua própria base de dados em MsAccess® ou FileMaker® ou, quando o projecto e os conhecimentos o permitem, em MySQL® ou Oracle®), o facto de haver duas instituições governamentais com responsabilidades sobre a gestão de dados arqueológicos (o IPA²³, de forma genérica responsável pela gestão e fiscalização dos trabalhos arqueológicos, e o IPPAR²⁴, especificamente responsável pelo património classificado ou em vias de classificação) cada qual com a sua base de dados (BUGALHÃO *et al.*, 2002; MARQUES, 2001), não ajuda à harmonização da gestão de dados arqueológicos. Qualquer destas instituições detêm responsabilidade sobre sítios e trabalhos arqueológicos e, assim, a informação que se desejava consolidada numa única

²² No restante deste trabalho, o termo *base de dados* refere-se exclusivamente a sistemas compostos por estruturas de dados e SGBD.

²³ <http://www.ipa.min-cultura.pt>, site oficial do IPA, consultado em Junho de 2005

²⁴ <http://www.ippar.pt>, site oficial do IPPAR, consultado em Janeiro de 2006

fonte de “verdade” sobre a informação arqueológica em Portugal²⁵ vê-se dispersa e, eventualmente, duplicada em diferentes sistemas. Esta consolidação é um processo que, pela sua orientação globalizante, não pode ser atingida de modo individual, ao nível de um único projecto, correndo o risco de se tornar mais uma de muitas tentativas levadas a cabo por múltiplas entidades, de que se apresentam seguidamente alguns exemplos.

Num artigo publicado na revista do IPA (BUGALHÃO *et al.*, 2002), a Divisão de Inventário do Instituto apresenta o seu sistema de gestão de dados arqueológicos – o sistema Endovélico –, sem no entanto fazer referência às especificidades inerentes à normalização das estruturas de dados, nomeadamente o formato e o tipo de dados.

O diagrama simplificado do sistema apresentado no referido artigo (Figura 18) evidencia uma estrutura de dados orientada para o âmbito de responsabilidade do instituto: a “detecção, preservação e gestão de vestígios arqueológicos” (BUGALHÃO *et al.*, 2002: p. 279), contemplando os recursos humanos associados a esses trabalhos e os processos a eles inerentes.

É possível igualmente detectar no diagrama uma componente de dados arqueológicos (no que toca, por exemplo, a imagens provenientes dos trabalhos ou a localização dos sítios arqueológicos²⁶), mas não se identificam estruturas de suporte a uma granularidade mais elevada, por exemplo, ao nível do material arqueológico encontrado no processo de escavação ou prospecção²⁷. No entanto, ao definir e disponibilizar no seu site na internet (IPA, 2004) um Thesaurus de termos que deverão ser utilizados pelos arqueólogos na informação que fornecem sobre os trabalhos arqueológicos sob a sua responsabilidade, o IPA está a contribuir para a desejável standardização dos dados arqueológicos. A restrição do universo de possíveis cronologias ou tipos de sítios a um conjunto limitado de valores é, só por si, um princípio de sistematização dos dados tratados na investigação arqueológica.

²⁵ Estas linhas estão a ser escritas poucas horas após o anúncio de uma reestruturação governamental que passa pelo desaparecimento do IPA e do IPPAR e sua substituição pelo Instituto de Gestão do Património Arquitectónico e Arqueológico, que procurará abarcar as responsabilidades dos dois institutos hoje existentes (PÚBLICO, 2006: p. 8).

²⁶ No diagrama, como no artigo, destaca-se a existência de um interface SIG, que se pretende de consulta pública através da internet. No entanto, apesar de utilizado internamente por funcionários do IPA, tal interface não se encontra publicamente disponível, nem mesmo a funcionalidade de pesquisa de sítios arqueológicos por coordenadas.

²⁷ O facto de não se identificarem no diagrama estruturas de suporte a dados sobre materiais saídos de uma escavação arqueológica pode dever-se ao facto do mesmo ser, conforme referido, um diagrama simplificado do sistema.

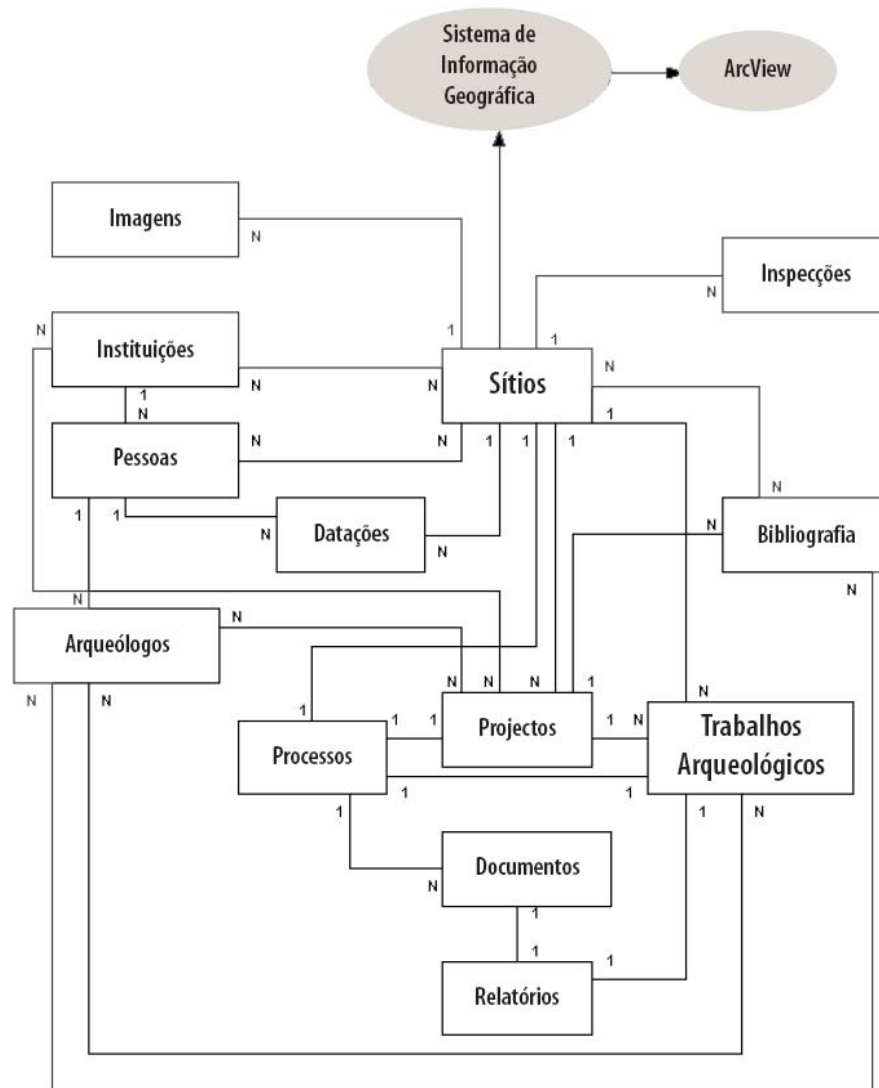


Figura 18 - Diagrama simplificado do Sistema Endovélico

Fonte: (BUGALHÃO *et al.*, 2002)

Na Universidade do Minho foram igualmente já efectuados trabalhos com o intuito de normalizar os dados com que o arqueólogo trabalha. Essa contribuição no sentido da criação de um conjunto de regras e definição de um modelo de dados que servisse as necessidades de um projecto de investigação arqueológica foram apresentadas no I Congresso da CAA Portugal (RIBEIRO *et al.*, 2003), apresentação essa que, infelizmente, não se encontra publicada.

O IPM publicou igualmente um conjunto de normas de inventário de dados arqueológicos (RAPOSO *et al.*, 2000) onde se definem regras de referência na sua

formatação, no contexto de colecções museográficas. Apesar do valor positivo que se traduz da preocupação que houve na produção destas regras, o contexto tão específico da sua utilização coloca dificuldades na sua aplicação a uma base de dados associada a um projecto de escavação ou prospecção arqueológica.

Mais aprofundada, e desta forma de maior valor na sua contribuição para a sistematização dos dados arqueológicos, é a apresentação e descrição da base de dados ArqSoft, desenvolvida por investigadores do Instituto Politécnico de Tomar para a gestão de dados no Parque Arqueológico e Ambiental do Alto Ribatejo (CRUZ *et al.*, 2000). O sistema, cujo projecto passa igualmente pela criação de um SIG, “pretende ser um sistema de organização, de gestão e inventário da informação recolhida em campo, quer pela realização de escavações, sondagens ou prospecções arqueológicas” (FIGUEIREDO *et al.*, 2004: p. 153). O nível de detalhe que os investigadores usaram no artigo pode traduzir-se numa boa contribuição para a criação de um sistema universal, nomeadamente descrevendo não apenas as entidades existentes na base de dados mas igualmente as suas relações e o formato dos dados nela contidos.

Todos estes trabalhos e informação actualmente existente, se por um lado comprovam a situação algo inconsistente que se verifica no tratamento e utilização de dados arqueológicos, não deixam de ser um conjunto de alicerces essenciais para partir para a desejada consolidação. A existência de um único Modelo de Dados Arqueológicos, contemplando a centralização ao maior nível de detalhe de todos os dados utilizados em investigação arqueológica, poderia contribuir para a melhor gestão da informação arqueológica. Ainda que sendo um projecto de grande dimensão²⁸, em qualquer das vertentes de recursos que utilizaria – técnicos, humanos, financeiros, etc –, este sistema poderia facilitar a partilha de dados e, desta forma, melhorar o conhecimento científico nesta disciplina. Dado o carácter global de um sistema com estas características, seria desejável que a sua definição e, eventualmente, implementação tivessem origem na entidade que gere a actividade arqueológica no nosso país, não descurando a contribuição que arqueólogos e técnicos de sistemas de informação poderiam dar a tal projecto – apesar das dificuldades de

²⁸ De referir que um projecto de definição de um modelo de dados, com a envergadura do aqui sugerido, é uma tarefa que raramente se pode dar por concluída. É um processo que se deseja dinâmico que tende a evoluir com o aparecimento de situações inicialmente não contempladas. Estas irão gerar interrogações e, possivelmente, dar origem à definição e inclusão de novas regras.

comunicação que existem por vezes entre estas duas comunidades por desconhecimento dos respectivos universos de actuação (FIGUEIREDO *et al.*, 2004: p. 154).

3.3 – O suporte à componente espacial

Quando uma base de dados é utilizada num projecto de SIG, o seu conteúdo pode dividir-se em dois grupos lógicos (PEREIRA *et al.*, 1994a p: 11), segundo o tipo de dados que armazena: a componente espacial (ou geométrica) e a descritiva.

No que toca à componente espacial, é possível definir campos específicos na base de dados para conter a informação geográfica, nomeadamente a definição dos pontos, linhas ou polígonos que compõem as múltiplas camadas de informação vectorial. Esta informação, armazenada num formato compatível e interpretável pelo software SIG, permite uma maior integração das vertentes gráfica e descritiva dos dados.

No entanto, os SGBDs, tipicamente orientados para outros mercados de dados não espaciais, nem sempre dispuseram de simples ou fácil integração com os SIG. As bases de dados relacionais²⁹ utilizam uma linguagem estruturada (SQL) que, apesar de especialmente desenvolvida com o objectivo de facilitar a consulta e manipulação dos dados, não dispõe tradicionalmente de operadores que obedeçam a conceitos espaciais, como “perto de”, “ligado a”, ... (HEYWOOD *et al.*, 2002: p. 77). Igualmente, o conjunto de tipos de dados que é comum encontrar num SGBD (texto, datas, valores numéricos e booleanos, ...) é relativamente reduzido e de uso limitado num contexto espacial. Na Figura 19 apresenta-se a definição simplificada de uma estrutura de dados (tabela) que armazena detalhes sobre sítios arqueológicos. De notar que não apenas a componente descritiva dos dados (no exemplo, a designação do sítio e a descrição) mas igualmente a espacial (as coordenadas do sítio arqueológico) faz uso dos tipos de dados tradicionalmente se encontram num SGDB.

²⁹ Ainda que existam outros tipos de bases de dados, o modelo relacional é o mais divulgado e, sem dúvida, o de maior utilização quer no campo da investigação arqueológica, quer de sistemas de informação de modo geral.

```
CREATE TABLE SITIOS
(
  ...,
  SITIO CHAR(60),
  COORD_X NUMBER,
  COORD_Y NUMBER,
  DESCRICAO CHAR(500),
  ...
)
```

Figura 19 - Definição simplificada de estrutura de dados num SGBD

Em 1997 foi publicado pelo Open Geospatial Consortium (OGC) um conjunto de formas conceptuais de como suportar dados espaciais em bases de dados relacionais (OGC, 1999), seguido anos depois pela norma ISO 19125 que especifica as características da linguagem SQL para dados geoespaciais (OGC, 2005). Seguindo esta norma, os produtores de software de bases de dados – alguns deles membros do OGC – passam então a disponibilizar extensões aos tipos de dados e às operações que sobre eles é possível realizar com o intuito de melhor acomodar os dados espaciais. Assim, as bases de dados que tradicionalmente acomodavam unicamente a componente descritiva dos dados, possibilitam agora a fácil integração igualmente da componente gráfica.

A título exemplificativo referem-se aqui dois SGBDs conhecidos do mercado, MySQL® e Oracle® Server³⁰, ambos disponibilizando um maior ou menor leque de funcionalidades desenvolvidas especificamente para a utilização em SIG. Nomeadamente, no caso do MySQL®, é possível encontrar tipos de dados geométricos simples (geometry, point, linestring e polygon) ou compostos (multipoint, multilinestring, multipolygon e geometry collection) (AXMARK *et al.*, 2005: p. 969) e igualmente algumas funções de manipulação destes dados (como sejam, cálculos de áreas, buffers e de centróides). Quanto ao Oracle® Server, a extensão Oracle® Spatial vai mais longe, disponibilizando igualmente funções mais específicas de SIG, nomeadamente a definição de sistemas de projecção, geocoding³¹ e redes (IHM *et al.*, 2005: p. 3-4). Ao contrário do MySQL®, onde o suporte à componente espacial é exclusivamente feito sobre dados vectoriais, a extensão Oracle® Spatial

³⁰ As características aqui mencionadas referem-se às versões MySQL® 5.1 e Oracle® Spatial 10g.

³¹ Geocoding é o processo de associar referências geográficas, como endereços ou códigos postais, com coordenadas (IHM *et al.*, 2005: p. 5).

disponibiliza igualmente a possibilidade de armazenar e trabalhar sobre imagens raster georreferenciadas.

A estrutura apresentada na figura anterior poderia então ser redefinida fazendo uso de tipos de dados de suporte a informação espacial (Figura 20) – os campos numéricos de armazenamento das coordenadas do ponto que definia a localização do sítio arqueológico foram substituídos por um único campo (shape) de tipo “polígono”. Esta nova definição permite não apenas uma melhor interacção com o interface SIG, mas principalmente elimina a restrição da representação do sítio arqueológico como um ponto, possibilitando que seja definido como qualquer das primitivas vectoriais (ponto, linha ou área). Consequência desta alteração é igualmente o aumento de operações espaciais que serão possíveis de utilizar na análise efectuada sobre os dados no interface SIG.

```
CREATE TABLE SITIOS
(
  ... ,
  SITIO CHAR(60) ,
  SHAPE POLYGON ,
  DESCRICAO CHAR(500) ,
  ...
)
```

Figura 20 - Redefinição da estrutura fazendo uso de tipos de dados espaciais

3.4 – Prosparq³²: base de dados para prospecções arqueológicas

O arqueólogo D. Harris, quando questionado acerca da importância dos dados na interpretação arqueológica, respondeu “No archaeological interpretation (...) is completely data-free. What matters is whether the data invoked are relevant to the interpretation and whether their sources are reliable” (PIA, 1994: p. 15). Esta relevância dos dados é vital na criação de uma base de dados, que deve ser desenhada com um determinado objectivo em vista, mas aberta o suficiente para permitir a sua evolução caso o seu âmbito se alargue. Uma base de dados deverá conter em cada momento os dados necessários e suficientes que permitam representar a realidade que se pretende analisar.

³² O exemplo aqui apresentado foi desenvolvido como projecto final da disciplina de Bases de Dados deste curso de Mestrado, abordando não apenas a definição das estruturas da base de dados que aqui se apresenta, mas igualmente o interface gráfico de introdução e manutenção dos dados, bem como a sua apresentação num interface SIG.

Apresenta-se, a título de exemplo, o processo de criação de uma base de dados relacional para recolha de dados georreferenciados obtidos durante a actividade de prospecção arqueológica. Não se pretende, com este exemplo, definir mais uma forma de normalizar os dados arqueológicos mas tão somente ilustrar a criação de uma base de dados com potencial utilização em investigação arqueológica. Este é igualmente um caso simplista, uma vez que foram assumidas algumas abstrações que num caso real deveriam ser tidas em conta.

Partiu-se, na definição deste exemplo, dos dados compilados de (CATARINO, 1997/98), conforme mencionado no capítulo de Introdução. Fez-se igualmente consulta a diversas cartas arqueológicas de vários concelhos do território nacional publicadas durante a última década – nomeadamente dos concelhos de Serpa (LOPES *et al.*, 1997) e Tomar (BATATA, 1997) –, bem como da base de dados do IPA (IPA, 2004), com o intuito de identificar os campos mais relevantes para o caso em estudo e uniformizar os tipos de dados desses campos.

3.4.1 - Enunciado e modelo conceptual

O primeiro passo na criação de um sistema de informação (e uma base de dados não é disso excepção) passa pela definição do problema que se pretende resolver e os objectivos que se torna necessário alcançar.

Conforme referido, o objectivo deste exemplo é a definição de uma base de dados que satisfaça as necessidades de recolha e pesquisa de informação com que um arqueólogo poderá deparar durante os trabalhos de prospecção³³. Nomeadamente, através da utilização desta base de dados, o arqueólogo poderá introduzir novos dados encontrados durante os seus trabalhos e consultar a base de dados sobre sítios já existentes, por exemplo, na área da Carta Militar de Portugal sobre a qual esteja a trabalhar ou referentes ao período cronológico que estiver a analisar. Todos os dados que o arqueólogo necessita para gerir a informação sobre os sítios arqueológicos, respeitante por exemplo a bibliografia, materiais, períodos cronológicos, etc., podem igualmente ser mantidos a partir da aplicação que seria desenvolvida sobre a base de dados.

³³ Algumas das abstrações anteriormente referidas dizem respeito precisamente à quantidade de informação que seria necessário incluir numa base de dados como a que aqui se apresenta. Por exemplo, neste caso prático não foram consideradas tipologias para os materiais arqueológicos encontrados. Outras abstrações semelhantes serão referidas no decorrer do exemplo.

Para efeitos do presente exemplo, define-se a prospecção arqueológica na sua forma tradicional de caminhar pelo campo com o objectivo de identificar potenciais sítios arqueológicos com base nos vestígios (por exemplo cerâmicos ou líticos) encontrados à superfície³⁴. Estes novos sítios arqueológicos identificados são georreferenciados – geralmente tendo por base as Cartas Militares de Portugal, à escala 1:25 000 (MARQUES *et al.*, 1995; BATATA, 1997; CATARINO, 1997/98), ou mais recentemente fazendo uso de aparelhos de GPS (CALADO, 2003) – e classificados segundo as características dos elementos encontrados à superfície.

O tipo de classificação atribuído a um sítio arqueológico baseia-se em vários factores, como sejam as estruturas visíveis (por exemplo, uma anta ou um aqueduto) ou o tipo de material encontrado (por exemplo, tipos de cerâmica, materiais líticos ou materiais de construção).

Uma breve descrição do local é igualmente necessária, definindo a envolvência do sítio em termos de vegetação ou visibilidade do terreno (que poderão ter reflexo nos vestígios encontrados durante a prospecção), ou mesmo o tipo de acesso ao sítio arqueológico. Também importantes para uma completa caracterização dos sítios arqueológicos são as referências bibliográficas sobre eles já existentes.

3.4.2 - Modelo lógico ou Diagrama de Entidades e Associações

Uma vez definido o modelo conceptual e identificados os objectivos a atingir, passa-se à segunda etapa do projecto que diz respeito à identificação dos requisitos necessários à caracterização e gestão da informação que se pretende armazenar. Com base nas fontes consultadas (MARQUES *et al.*, 1995; BATATA, 1997; LOPES *et al.*, 1997; CATARINO, 1997/98; FIGUEIREDO *et al.*, 2004; IPA, 2004) foi possível elaborar a seguinte lista dos principais requisitos do sistema, em termos de dados:

Identificação do sítio

Localização

³⁴ A prospecção arqueológica abarca igualmente, quando o orçamento do projecto o permite, a utilização de meios não intrusivos para detecção de vestígios no subsolo. Estes meios são tipicamente a medição da resistividade ou do campo magnético no subsolo e posterior análise das anomalias verificadas nas medições. Devido aos meios técnicos envolvidos, o tipo e volume de dados que são tratados são bastante distintos dos mencionados no exemplo que aqui se apresenta.

Cronologia

Materiais (ou elementos datantes)

Descrição

Bibliografia

A partir desta lista é possível definir as principais entidades que tomarão forma na base de dados e elaborar o Diagrama de Entidades e Associações. Este diagrama pretende ser um esboço do que irão ser as estruturas físicas da base de dados e quais as relações que regem a definição dos dados. Na tradução da lista de requisitos em entidades houve que ter em conta determinados factores que originaram o desdobramento de um requisito em várias entidades:

- a localização de um sítio pretende-se que permita identificar o sítio em termos absolutos – com base nas suas coordenadas – mas também em termos administrativos – qual a freguesia, concelho e distrito a que determinado sítio pertence³⁵. Igualmente útil em termos de definição da localização é a CMP em que o sítio se encontra localizado. Por estes 3 tipos de informação de localização não estarem directamente relacionados, foram definidas as seguintes entidades³⁶ e respectivos atributos:

CMP (número, ano, descrição ou topónimo principal)

CAOP (nome da freguesia, nome do concelho, nome do distrito)

- no que toca à bibliografia houve que considerar o título, ano de publicação e autoria³⁷. Como um título bibliográfico pode ter vários autores e, de igual forma, um autor pode sê-lo de várias obras, houve que separar esta informação em duas entidades distintas para eliminar repetição de dados. Assim, as entidades relativas à informação bibliográfica são:

³⁵ Esta informação, relevante para a identificação do espaço administrativo em que se localiza o sítio arqueológico, deverá ser obtida através da relação com a componente gráfica do sistema, nomeadamente a partir da Carta Administrativa Oficial de Portugal.

³⁶ Por haver uma correspondência biunívoca entre sítio e coordenadas, estas não foram consideradas como uma entidade separada mas apenas atributos da entidade Sítio.

³⁷ Ao nível da bibliografia, houve lugar à abstracção que um título pode ser um artigo de uma compilação ou revista, sendo que haveria que considerar o título não apenas do artigo mas igualmente da obra em que o mesmo está inserido, bem como o nome dos editores da compilação ou revista. A paginação da referência bibliográfica ou o facto da publicação se poder encontrar disponível unicamente em versão electrónica, requerendo menção ao seu suporte, foram igualmente descartados deste exercício.

BIBLIOGRAFIA (título, ano de publicação)

AUTOR (nome do autor)

- relativamente aos demais requisitos da lista, foram criadas entidades correspondentes, sendo que a componente de localização absoluta de um sítio arqueológico foi constituída como atributo de cada sítio. As entidades resultantes foram:

ELEMENTO (elemento ou material)

CRONOLOGIA (período cronológico)

TIPOLOGIA (tipo de sítio)

SÍTIO (sítio, coordenada X, coordenada Y, altimetria, descrição)

Para completar o modelo lógico há que identificar as relações entre as entidades, bem como a sua cardinalidade³⁸ (Tabela 5). Também aqui houve que assumir determinadas premissas, nomeadamente:

- um sítio arqueológico, estando localizado em termos absolutos apenas por um ponto, pode encontrar-se em uma única freguesia. Caso se considerassem os sítios arqueológicos em termos de áreas, havia que ressaltar esta situação, podendo um único sítio localizar-se simultaneamente em diversas unidades administrativas. A título de exemplo refere-se o caso do sítio de S. Bento Velho, no concelho de Alcoutim, localizado nas duas margens da Ribeira da Foupana que estabelece a fronteira entre as freguesias de Giões e Vaqueiros (CATARINO, 1997/98: p. 203);

- situação idêntica se coloca em relação à cardinalidade entre SÍTIO e CMP;

- a cardinalidade da relação entre SÍTIO e TIPOLOGIA está implicitamente associada à designação do sítio arqueológico. Muito embora numa mesma área se possam entender sítios arqueológicos de cronologia idêntica, os mesmos podem receber designação distinta para os diferenciar igualmente no tipo: exemplos disto são, distando poucos metros entre si, o Menir do Lavajo, a Anta do Lavajo e a Estela-menir do Lavajo (concelho de Alcoutim). Comum é igualmente designarem-se sítios arqueológicos próximos baseados no mesmo topónimo,

³⁸ Cardinalidade de uma relação refere-se ao número de ocorrências numa entidade correspondentes a ocorrências na segunda entidade dessa relação (MARCO, 2000: p. 364). Esta deve sempre ser lida nos dois sentidos da relação. Por exemplo, no caso da relação entre as entidades SÍTIO e CMP, esta deve ser lida como 1 sítio localiza-se em 1 CMP e em 1 CMP podem localizar-se N sítios. Da combinação das duas direcções da relação resulta a sua cardinalidade – SÍTIO (N : 1) CMP.

ainda que com tipologias e cronologias distintas: Lourinhã 1 e Lourinhã 2 (concelho de Alcoutim) são disso exemplo. No entanto, este é um caso em que a cardinalidade da relação poderia facilmente ser considerada (M : N)³⁹, caso num mesmo sítio se considerassem diversas tipologias – por exemplo, se os 3 monumentos do Lavajo anteriormente citados fossem referidos como um único sítio arqueológico constituído por 3 componentes tipológicas distintas.

Entidade 1	Cardinalidade	Entidade 2
SÍTIO	(N : 1)	CMP
SÍTIO	(M : N)	ELEMENTO
SÍTIO	(M : N)	CRONOLOGIA
SÍTIO	(N : 1)	TIPOLOGIA
SÍTIO	(N : 1)	CAOP
SÍTIO	(M : N)	BIBLIOGRAFIA
BIBLIOGRAFIA	(M : N)	AUTOR

Tabela 5 - Prosparq: relações entre entidades e sua cardinalidade

O Diagrama de Entidades e Associações resultante (Figura 21) ilustra o resultado final do modelo lógico da base de dados.

³⁹ No caso do exemplo, 1 sítio poderia ter N tipos, mas igualmente 1 tipo poderia ser atribuído a M sítios, daí resultando a cardinalidade relação (M : N).

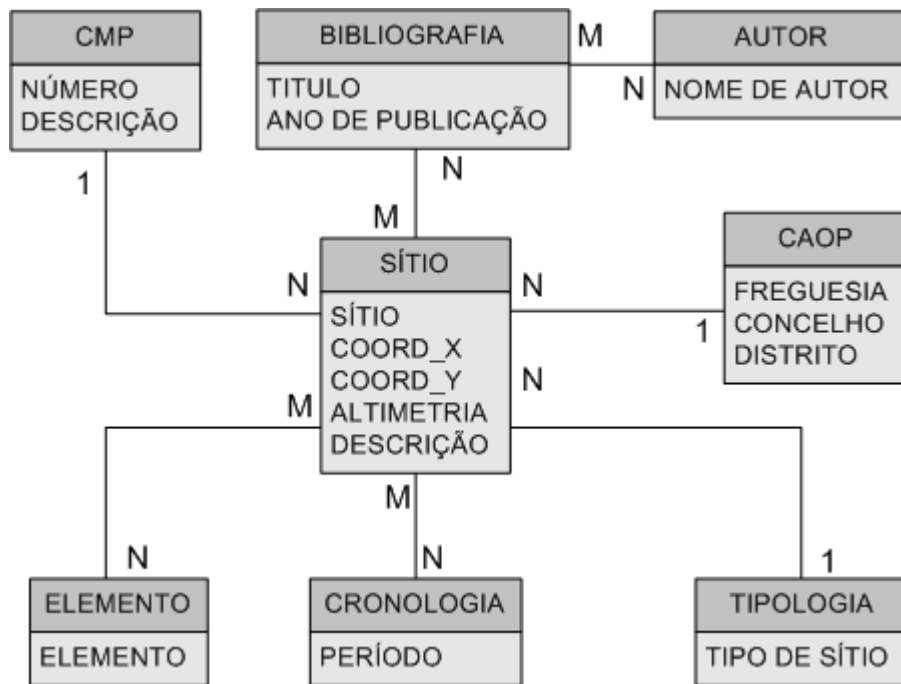


Figura 21 - Prosparq: Diagrama de Entidades e Associações

3.4.3 - Modelo físico da Base de Dados

Uma vez definido o modelo lógico da base de dados, parte-se para a última etapa da criação da base de dados: a elaboração do modelo físico. Nesta fase entram em consideração as especificidades do software (SGDB) que se pretende utilizar. Não sendo objectivo deste trabalho abordar aprofundadamente as características de um modelo relacional, referem-se sucintamente apenas algumas das mais significativas, nomeadamente:

- as entidades identificadas são traduzidas em tabelas na base de dados, sendo os seus atributos convertidos em campos (ou colunas) dessas tabelas;
- identificação do tipo de dados (incluindo, se necessário, a sua dimensão e precisão) adequado à informação a ser contida por cada campo, sendo este numérico, texto, ou de tipo espacial, data, entre outros;
- introdução de campos-chave – igualmente denominados chave primária –, identificadores únicos sem significado, por exemplo valores numéricos sequenciais;

- as relações entre entidades são implementadas através da utilização dos campos-chave e de restrições de integridade⁴⁰. A integridade é mantida através da correspondência entre os valores da chave primária da tabela do lado unitário da relação (1) e da chave estrangeira da tabela no outro extremo (N), que mais não é que uma coluna com uma cópia dos valores da primeira. No exemplo da Figura 22 apresentam-se as tabelas SÍTIOS e CMPs (N : 1). A tabela do lado unitário (1) da relação é CMPs, pelo que far-se-á uso da sua chave primária (Id_CMP), copiando os valores dessa coluna que permitem estabelecer a relação para a tabela no outro extremo (N), SÍTIOS, criando uma chave estrangeira nesta (Id_CMP);

CMP	
Id_CMP	Numero
1	573
2	574
3	575

SITIO		
Id_Sitio	Sitio	Id_CMP
1	Santa Marta	3
2	Malhanito	2
3	Degracias	3
4	Vale de Condes	3
5	Alcaria Chã	2
6	Finca Rodilha	2

Figura 22 - Prosparq: exemplo de utilização de chaves primária e estrangeira

Fonte: dados de (CATARINO, 1997/98)

- todas as relações (M : N) deverão ser desdobradas e traduzidas em duas relações (M : 1) e (1 : N) e uma tabela adicional contendo as ocorrências dos atributos da relação inicialmente definida. Nomeadamente, no caso da relação

BIBLIOGRAFIA (M : N) AUTOR

esta poderia ser traduzida em 3 tabelas e 2 relações, segundo o seguinte critério:

BIBLIOGRAFIA (M : 1) BIBLIOAUTOR

BIBLIOAUTOR (1 : N) AUTOR

⁴⁰ Tradução livre do termo em inglês *integrity constraints*. Tratam-se de objectos da base de dados que mantêm a referência entre as duas tabelas que relacionam, restringindo a manipulação indiscriminada dos dados e desta forma garantindo a integridade dos mesmos.

sendo que a tabela BIBLIOAUTOR iria conter referências (uma vez que nela deveriam estar contidos os campos-chave e não os dados factuais) a todos os pares de valores (título, nome_autor) necessários à completa citação bibliográfica das obras, podendo definir-se da seguinte forma:

BIBLIOAUTOR (Id_Título, Id_Autor, Ordem⁴¹)

Assim, tendo os seguintes títulos e nome de autores nas tabelas BIBLIOGRAFIA (Tabela 6) e AUTOR (Tabela 7), o conteúdo da tabela BIBLIOAUTOR que traduziria a relação entre estes dois conjuntos por forma a suportar as referências bibliográficas correctas seria o representado na Tabela 8.

Título	Id_Biblio
Archaeology and Geographical Information Systems	1
Computing Archaeology for Understanding the Past	2
Using Computers in Archaeology	3

Tabela 6 - Tabela de títulos bibliográficos

Nome	Id_Autor
Gary Lock	1
Zoran Stancic	2
Tatjana Veljanovski	3

Tabela 7 - Tabela de nomes de autores

Id_Título	Id_Autor	Ordem
1	1	1
1	2	2
2	2	1
2	3	2
3	1	1

Tabela 8 - Tabela de relação entre títulos bibliográficos e autores

⁴¹ Adicionalmente, para manter a ordem dos vários autores de um título por aquela em que os mesmos figuram na obra, houve que introduzir um novo campo adicional (ordem) na tabela BIBLIOAUTOR que seria numerado sequencialmente por forma a permitir a reconstituição da referência bibliográfica.

O modelo físico da base de dados resultante, abstraindo uma vez mais este exercício de características particulares de cada SGDB, poderia ser o apresentado na Figura 23.

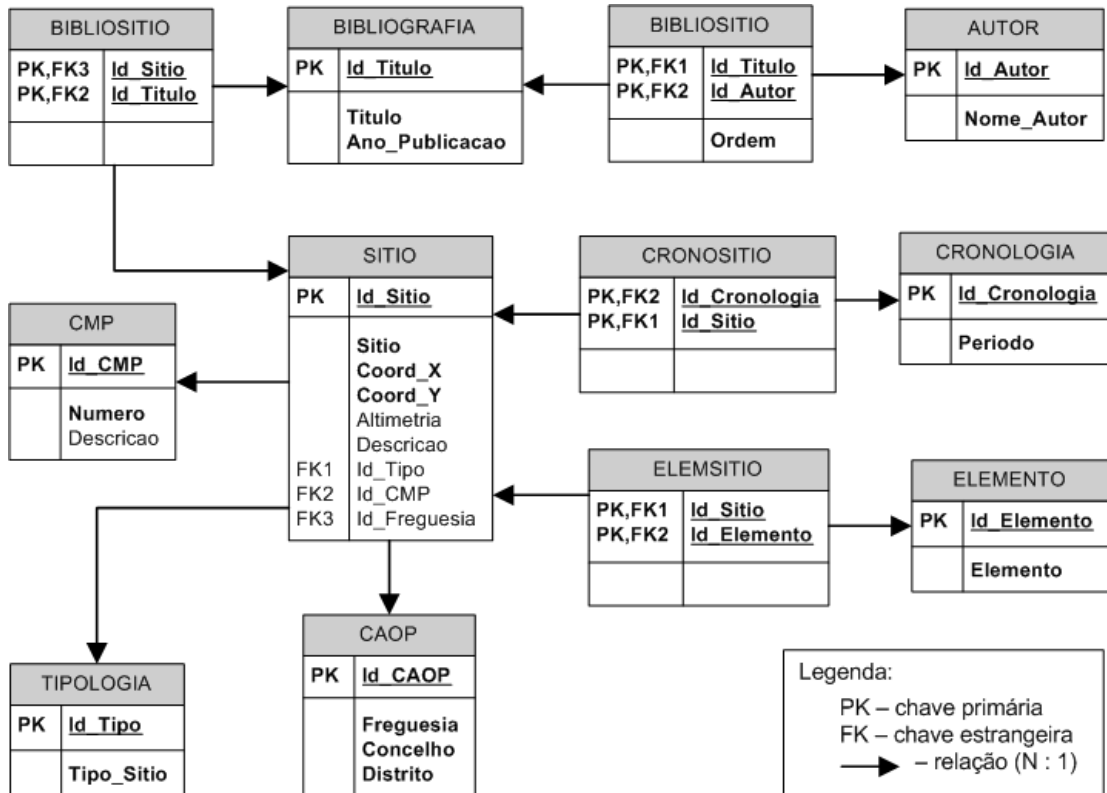


Figura 23 - Prosparq: modelo físico da base de dados

De realçar que a tabela CAOP deverá ser definida fazendo uso de características de suporte a dados geo-espaciais do SGBD escolhido para a implementação da base de dados e a informação nela contida deverá referir-se aos polígonos da Carta Administrativa Oficial de Portugal.

Uma vez obtida a definição de cada tabela, respectivas colunas e relações entre elas, havia que (considerando as especificidades do SGBD utilizado) definir as instruções que permitiriam criar os diferentes objectos identificados no modelo físico, bem como objectos adicionais que se julgasse necessário para otimizar a utilização da base de dados (nomeadamente, estruturas de indexação de valores, com o intuito de tornar as pesquisas efectuadas mais eficientes).

3.5 – Resumo

No presente capítulo foram apresentadas as formas como os dados são armazenados, nomeadamente, os suportes físicos mais comuns (ficheiros de dados ou sistemas de gestão de bases de dados) ao dispôr do investigador.

Foi igualmente abordada a questão da standardização dos dados, apresentando vários exemplos de definições de modelos de dados para a investigação arqueológica, e de que forma a uniformização da informação pode beneficiar a partilha de dados entre projectos de Arqueologia em Portugal.

De um ponto de vista lógico do armazenamento de dados, foi apresentado o suporte de SGBD à componente espacial, e de que forma os principais SGBDs comerciais, tradicionalmente com um limitado universo de tipos de dados disponíveis, estão a abrir as suas definições a normas do OGC por forma a melhor acomodar tipos e funções geoespaciais.

Finalmente, e sem que fosse objectivo criar mais um conjunto de métodos ou processos de definição de um modelo de dados para a Arqueologia, apresentou-se a título de exemplo o ciclo de criação de uma base de dados para prospecções arqueológicas, desde a definição do problema à definição do seu modelo físico, passando pelo modelo lógico.

4. CARTOGRAFIA E ARQUEOLOGIA

Numa definição apresentada por Joaquim Gaspar, um mapa é uma representação plana da superfície da Terra “na qual são representadas as posições relativas de vários objectos, numa determinada escala e projecção cartográfica” (GASPAR, 2000: p. 4). São estes os elementos essenciais da cartografia:

- os objectos – o conteúdo da representação da carta ou mapa que se destacam por abstracção de tudo o resto que, constando no mundo real, é retirado por insignificante para o tema representado e/ou redução da complexidade da carta;
- a escala – a razão entre a dimensão da representação dos objectos e a sua dimensão real;
- a projecção cartográfica – conjunto de características que traduzem inequivocamente cada ponto da superfície terrestre num ponto da superfície de representação cartográfica.

4.1 – Utilização de Cartografia em Arqueologia

A cartografia utilizada tradicionalmente em qualquer das vertentes de investigação arqueológica em Portugal, sejam a prospecção ou a escavação arqueológica, tem quase exclusivamente como suporte o papel. Este facto tem origens diversas, nomeadamente:

- a disponibilidade há várias décadas da cartografia em papel, sobre os mais variados temas, na maioria dos institutos e principais centros de investigação arqueológica, tornando fácil o seu acesso à maioria dos investigadores;
- a cartografia mais antiga em papel poder contribuir com dados entretanto retirados durante a actualização dessa mesma cartografia. Por exemplo, alguns topónimos presentes nas folhas da Carta Militar de Portugal das décadas de 40 e 50 do século passado desapareceram em versões mais recentes, reduzindo a possibilidade de pesquisa de sítios arqueológicos com base em toponímia – Alcaria, Castelo e Portela são alguns dos inúmeros topónimos que podem indiciar a presença de sítios arqueológicos (CATARINO, 1997/98: p. 136-137);

- de um ponto de vista prático, é mais fácil durante a prospecção arqueológica transportar, por exemplo, uma folha da Carta Militar de Portugal em papel do que um computador portátil⁴²;

- nem todo o território nacional está ainda coberto por cartografia digital a uma escala que se torne utilizável em projectos de arqueologia⁴³;

- o preço da cartografia digital existente ainda torna incomportável a sua utilização em projectos de pequena dimensão e financiados pelo próprio investigador⁴⁴, sendo que a cartografia em papel é significativamente mais barata.

Estes factores têm contribuído para a reduzida utilização da cartografia digital na investigação arqueológica em Portugal e, ao contrário dos EUA ou de alguns países da Europa, serem em número muito reduzido as aplicações de Sistemas de Informação Geográfica em Arqueologia no nosso país.

A Arqueologia faz uso da cartografia essencialmente em dois pontos: como suporte ao trabalho de campo e na caracterização geo-espacial dos sítios arqueológicos (já em fase de trabalho de “laboratório”)⁴⁵.

4.1.1 - Trabalho de campo

Agrupadas na noção de trabalho de campo encontram-se a prospecção e a escavação arqueológica. Desta última apenas é de referir que cartografia utilizada é, forma geral, da autoria do próprio investigador e se resume essencialmente a uma planta da área intervencionada. Esta planta, de escala tipicamente de 1:20, mas podendo variar entre o Tamanho Natural e a escala 1:50 (RUA, 2004: p. 12; SOUSA, 1999: pp. 22-23), tem por objectivo o auxílio ao registo da localização de qualquer vestígio posto a descoberto, seja

⁴² A utilização de *palm devices* ainda tem as suas limitações em termos da memória disponível nestes dispositivos e igualmente pela limitação de percepção espacial derivada da pequena área dos seus *interfaces* gráficos.

⁴³ Durante a realização dos trabalhos de disciplinas deste curso de Mestrado constatei a dificuldade em encontrar cartografia digital a escalas superiores a 1:50 000 para grande parte do Sul de Portugal, nomeadamente para o concelho de Alcoutim.

⁴⁴ A possibilidade de utilização de cartografia digital ao abrigo de protocolo realizado entre o ISEGI e o IGP permitiram a realização deste trabalho sem incorrer em despesas da ordem dos milhares de euros, valor que tornaria este trabalho incomportável.

⁴⁵ Por trabalho de “laboratório”, à falta de melhor termo que englobe todo um conjunto de actividades, refiro-me a qualquer tarefa do processo de investigação arqueológica realizada fora do campo intervencionado.

elemento móvel, por exemplo de produção lítica ou cerâmica, ou estruturas edificadas, em pedra ou adobe, nomeadamente muros ou muralhas.

No caso da prospecção arqueológica, a cartografia é utilizada na fase de preparação do trabalho, para identificação da área a prospectar e qual a melhor estratégia de varrimento dessa área, e durante a própria acção de *fieldwalking* como suporte de registo da localização de eventuais vestígios descobertos. Neste caso a cartografia utilizada contém geralmente informação acerca do relevo da área (tipicamente as folhas da Carta Militar de Portugal à escala 1:25 000⁴⁶, produzida pelo Instituto Geográfico do Exército - IGeoE⁴⁷), sendo que em casos particulares é igualmente usada a Carta Geológica de Portugal (produzida pelo antigo Instituto Geológico e Mineiro, agora integrado no Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação – IGM/INETI⁴⁸) com o objectivo de restringir o trabalho a áreas de características geomorfológicas específicas (ALMEIDA *et al.*, 1999: pp. 26-27), por exemplo, terraços quaternários.

4.1.2 - Caracterização de sítios arqueológicos

Para melhor interpretação do sítio que se encontra a investigar, o arqueólogo recorre geralmente a cartografia já existente para caracterizar e enquadrar a sua área de estudo. Além das já mencionadas folhas da Carta Militar de Portugal contendo temas como a rede viária (principal e de caminhos antigos, vulgo “de pé posto”) ou a toponímia, é frequente o uso das seguintes cartas (SILVA, 1994; CATARINO, 1997/98; LOPES *et al.*, 1997):

- Carta Geológica de Portugal, produzida pelo IGM/INETI;
- Carta de Ocupação dos Solos, produzida pelo Instituto Geográfico Português (IGP);
- Carta Hipsométrica, produzida pelo IGeoE ou pelo Instituto do Ambiente (IAmb⁴⁹);
- Carta Hidrográfica, produzida pelo IGeoE ou pelo IAmb;
- Carta de Tipo de Solos, produzida pelo IDRHa⁵⁰.

⁴⁶ São inúmeras as fontes bibliográficas consultadas fazendo referência à utilização das folhas da CMP à escala mencionada, podendo dizer-se que é genericamente a cartografia base de qualquer projecto de Arqueologia em território nacional.

⁴⁷ <http://www.igeoe.pt>, site oficial do Instituto Geográfico do Exército, consultado em Outubro 2004.

⁴⁸ <http://www.igm.ineti.pt>, site oficial do Instituto Geológico e Mineiro, consultado em Outubro 2004.

⁴⁹ <http://www.iambiente.pt>, site oficial do Instituto do Ambiente, consultado em Março 2005.

⁵⁰ <http://www.idhra.min-agricultura.pt>, site oficial do Instituto de Desenvolvimento Rural e Hidráulica, consultado em Maio de 2006.

A Arqueologia necessita, à semelhança de outras disciplinas, de operar num continuum de escalas, do nível “microscópico” do sítio intervencionado ao “macroscópico” do território nacional ou mesmo interfronteiriço (LOCK *et al.*, 2000: p. xviii). Dependendo da caracterização ou interpretação que o arqueólogo procura fazer da região onde se localiza o sítio que investiga, a escala das cartas mencionadas pode ser de valores tão díspares como 1:25 000 ou 1:1 000 000. Kathleen Allen, numa análise que fez às escalas utilizadas em estudos arqueológicos, nomeadamente nos trabalhos efectuados sobre os povoados de uma tribo índia do estado de Nova Iorque (EUA) refere que mapas a grande escala (no caso específico da sua análise, referindo-se à escala 1:24 000) disponibilizam o tipo de informação específica sobre características ambientais que são críticas para a compreensão do povoado ou acampamento em estudo, sendo que mapas a escala mais reduzida (1:100 000 ou 1:250 000) permitem a identificação de factores ambientais de importância mais generalizada (ALLEN, 2000: pp. 110-111).

Assim, se o objectivo do arqueólogo se centra apenas na descrição da envolvência do sítio que investiga, procurará fazer uso de cartografia a escalas, pelo menos, da ordem de 1:25 000 ou 1:50 000, como por exemplo:

- identificar a proximidade de recursos naturais (fazendo uso das cartas Hidrográfica e Geológica) com o objectivo de, por exemplo, traçar a capacidade de subsistência de um determinado povoado, seja pelo recurso a fontes de água na proximidade desse povoado, ou pela proximidade de recursos mineralíferos que justifiquem a existência do povoado como centro de extracção e/ou transformação de minério;
- mostrar o posicionamento estratégico do sítio (fazendo uso da carta Hipsométrica), analisando a altimetria da região por comparação à altura a que se localiza o sítio em estudo, analisando os declives que o rodeiam para melhor interpretação da sua capacidade defensiva;
- descrever, com base na situação actual (fazendo uso das cartas de Tipo e Ocupação dos Solos, Hipsométrica e Geológica), a propensão à actividade agrícola da zona que poderá ter levado à fixação do povoado que estuda.

Se, por outro lado, o objectivo do arqueólogo passa pela análise espacial do sítio não apenas como entidade única, mas igualmente fazendo parte de uma rede de sítios ou estando integrado numa malha de vias de comunicação, a cartografia utilizada não será tão diversificada podendo limitar-se às cartas Hipsométrica, Geológica e Militar. Neste caso

poderá haver a necessidade de englobar toda uma área de carácter mais global (por oposição ao regional) e as escalas utilizadas poderão ser da ordem de 1:100 000 ou mesmo inferior.

É comum, no entanto, os projectos não se limitarem a estar contidos em apenas uma das análises mencionadas (nem apenas caracterização específica de um só sítio, nem tão pouco simplesmente integrá-lo numa rede mais vasta). Nestes casos em que a análise inclui dados a nível local/regional e também a nível global podem surgir problemas com origem possível na generalização ou abstracção resultante da criação da cartografia base usada. Estes problemas, de que se apresentam alguns exemplos, podem resultar em erros de localização ou classificação:

- elementos de pequena dimensão (como ribeiras ou colinas), suavizados ou retirados de cartas de menor escala. A representação da orografia do concelho de Alcoutim apresentada na Figura 24, apresenta grandes extensões de declive muito reduzido ou ausência de elevações, dado o intervalo na escala de valores da cota de terreno devidos à pequena escala da cartografia base;

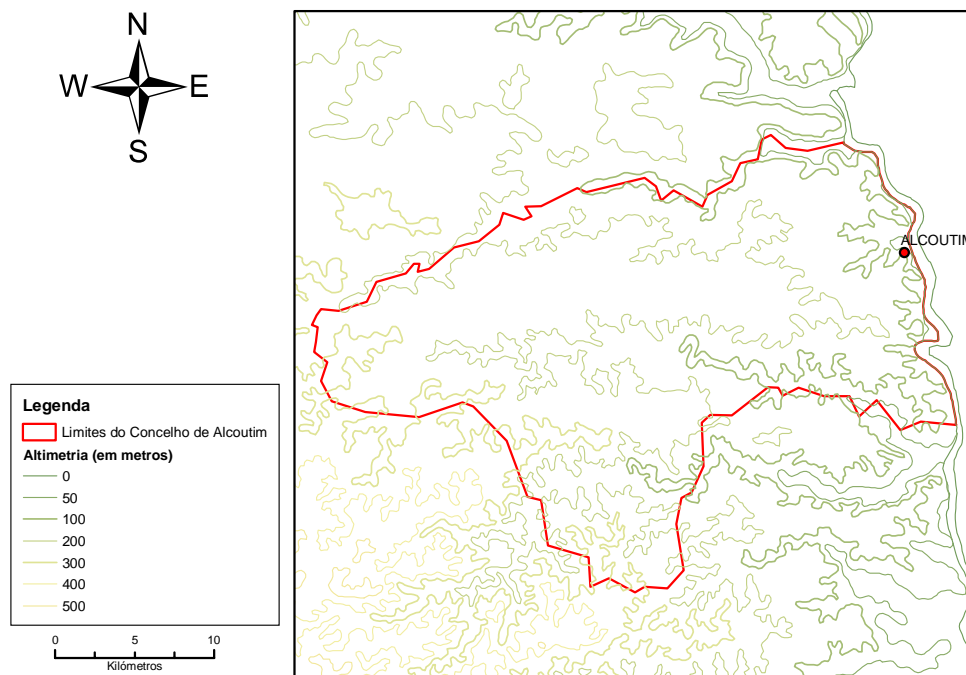


Figura 24 - Exemplo de utilização de Carta de Altimetria de pequena escala (1:1 000 000)

Fonte: imagem de autor, sobre Carta de Altimetria, Carta de Topologia de Concelho e Carta de Concelhos do Atlas do Ambiente (IAmb)

- generalização de valores (por exemplo de tipo de solo) para grandes áreas nas cartas de menor escala, impossibilitando a caracterização de pequenas áreas. Na Figura 25 é perceptível a impossibilidade de utilização de cartografia de pequena escala (no exemplo, 1:1 000 000) na classificação dos diferentes tipos de solo que compõem o concelho de Alcoutim, uma vez que na criação da cartografia base se generalizou o tipo de solo mais frequente no concelho (litossolos) para toda a sua área;

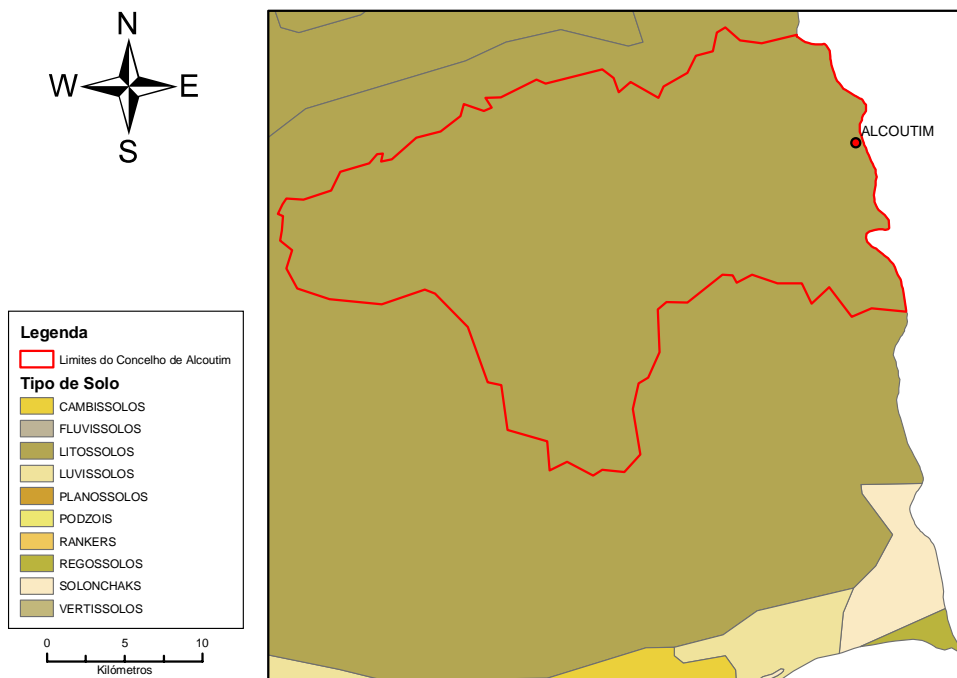


Figura 25 - Exemplo de utilização da Carta de Tipos de Solo de pequena escala (1:1 000 000)

Fonte: imagem de autor, sobre Carta de Tipos de Solos, Carta de Topologia de Concelho e Carta de Concelhos do Atlas do Ambiente (IAmb)

- discrepância entre o nível de detalhe e localização de um mesmo elemento em cartas criadas com uma escala distinta. Na Figura 26 apresenta-se uma comparação entre um mesmo elemento (os limites do concelho de Alcoutim) partindo de cartografia com escalas base distintas (1:25 000 e 1:1 000 000). É facilmente perceptível a não sobreposição da linhas de fronteiras do concelho em alguns pontos da mesma, bem como o nível de detalhe mais apurado (traduzido nas convoluções do recorte da fronteira) da carta realizada a uma escala maior.

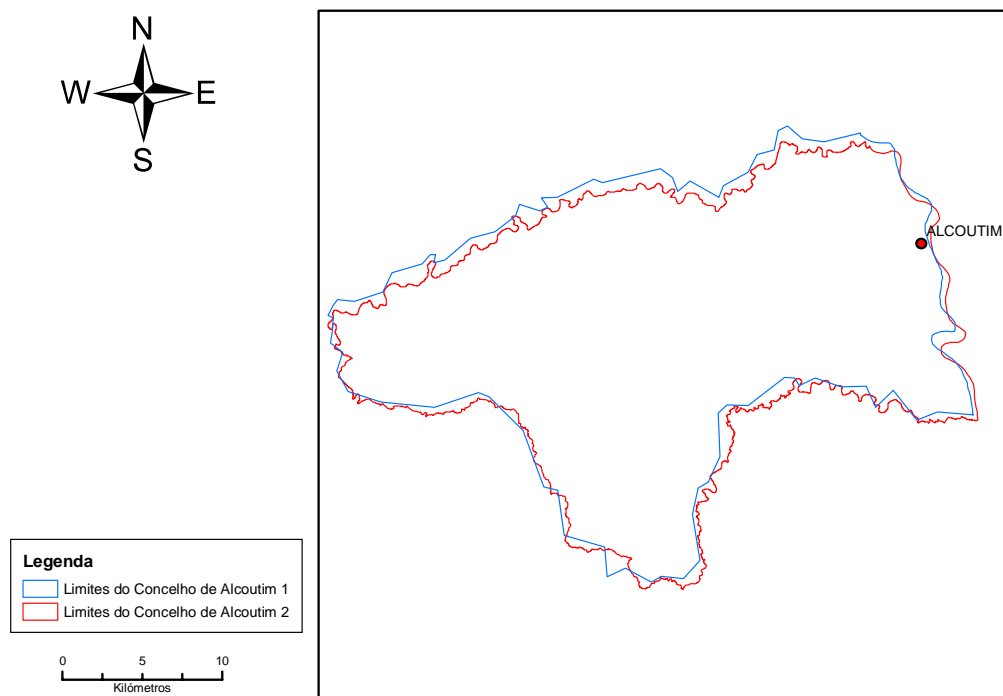


Figura 26 - Exemplo de utilização de cartas com escalas distintas (a vermelho 1:25 000 e a azul 1:1 000 000)

Fonte: imagem de autor, sobre Carta de Concelhos do Atlas do Ambiente (IAmb) à escala 1:1 000 000 e CAOP do IGP à escala 1:25 000.

Os problemas mencionados realçam a necessidade de utilizar cartografia com escalas adequadas ao trabalho que se pretende realizar: se o nível de detalhe de uma carta à escala 1:1 000 000 dificilmente será apropriado para identificar que tipos de solo são mais característicos à fixação de habitats com determinada cronologia, de igual forma não é adequado utilizar cartografia a 1:50 000 para medir a distância entre distintas cinturas de muralha de um povoado fortificado – mapa algum deverá ser empregue em análises a uma escala superior àquela a que foi criado (MILLER, 1995: p. 321). Muito embora o software de SIG permita esta utilização multi-escala, ao executar a análise espacial a uma escala muito diferente daquela a que os dados foram recolhidos, conforme evidenciado pelos exemplos das figuras anteriores, poder-se-á incorrer no que é denominado por “falácia ecológica”⁵¹. Esta ocorre quando dados capturados a uma determinada escala são utilizados para inferir processos ou padrões que ocorrem a uma escala superior (LOCK *et al.*, 2000: p. xviii) ou quando valores agregados numa área (por exemplo, valores de tipo de solo) são assumidos

⁵¹ Tradução livre do termo em inglês *ecological fallacy*.

ao nível individual dos elementos contidos nessa mesma área (HEYWOOD *et al.*, 2002: p. 125). No entanto, muito raramente a cartografia base de um projecto de Arqueologia é produzida especificamente para o mesmo e o arqueólogo vê-se limitado a utilizar aquela que se encontra disponível no mercado. Essas cartas, tendo sido produzidas com outros fins em vista, nem sempre se encontram à escala necessária para a análise que se pretende realizar, sendo que o investigador deverá estar ciente das possíveis limitações que a escala que está a utilizar poderão introduzir no resultado dessa análise.

4.2 – Características da cartografia “ideal”⁵²

Até ao início da utilização de cartografia digital como auxílio da investigação arqueológica, a preocupação na localização exacta dos sítios arqueológicos e na qualidade dos dados (em particular as coordenadas que permitem a localização dos vestígios arqueológicos) foi muito relativa, sendo que a representação geoespacial de sítios ou vestígios arqueológicos era feita a escalas que permitiam a existência de erros na sua localização sem invalidar os resultados apresentados. Com o aumento da utilização de Sistemas de Informação Geográfica na visualização de dados arqueológicos tem-se constatado a existência de erros e a sua propagação sempre que nova cartografia temática é gerada a partir desses dados (WHEATLEY *et al.*, 2002: p. 83; MILLER, 1995: p. 320). Uma maior percepção destes erros tem dado origem a que os investigadores se empenhem num maior cuidado da recolha de dados, nomeadamente fazendo uso de tecnologias de posicionamento global (GPS), cada vez mais ao alcance mesmo de projectos de investigação de pequena dimensão.

A definição de uma cartografia dita “ideal” para a investigação arqueológica está longe de ser uma tarefa pacífica, dependendo as suas características de um maior ou menor reconhecimento por parte do investigador das necessidades cartográficas de cada projecto e de que forma a cartografia pode contribuir para uma localização e classificação mais precisas dos sítios arqueológicos. Com base nas características da cartografia mais utilizada em investigação arqueológica mencionadas anteriormente, e igualmente tendo em mente as

⁵² O termo “ideal” é aqui usado por oposição ao termo “normal” – a cartografia referida como “ideal” neste trabalho é aquela que apresenta características fora do normalmente usado na investigação arqueológica, nomeadamente em prospecções, e devido às quais pode beneficiar o trabalho desenvolvido pelo arqueólogo.

necessidades apresentadas pelos vários tipos de projectos de investigação nesta área, apresenta-se seguidamente uma proposta das especificações técnicas da cartografia que poderá contribuir de forma mais eficaz na execução de projectos de prospecção arqueológica.

4.2.1 - Escala

“Using data at largest possible scale provides the greatest flexibility in investigating problems at several levels of analysis. Household, village, tribal, and intertribal analyses are all possible with high-quality, large-scale data. In addition, large-scale data permits the greatest accuracy in locational information and increases the likelihood that landscape features perceived by past residents become visible in the present.” (ALLEN, 2000: p. 111).

Tendo em conta as necessidades associadas aos projectos arqueológicos referentes a prospecções, a cartografia existente com cobertura nacional que permitiria dar resposta à proposta expressa por Kathleen Allen seria 1:25 000 (1mm = 25m). No entanto, e com base em análise de algumas cartas arqueológicas consultadas (LOPES *et al.*, 1997; BATATA, 1997; MARQUES *et al.*, 1995), constata-se que esta escala, embora utilizável para localização de sítios onde os vestígios arqueológicos se encontram dispersos por uma área razoável (acima dos 600m²), o mesmo já não acontece quando os vestígios são pontuais ou a sua área de dispersão é reduzida.

Assim, e para servir as necessidades apresentadas à maior escala, uma cartografia criada a 1:5 000 (1mm = 5m) teria muito bom nível de detalhe para registar com exactidão a localização de um sítio arqueológico identificado durante prospecção arqueológica, ainda que com reduzida dispersão de vestígios (aproximadamente 25m²). Toda a cartografia utilizada em contexto de investigação arqueológica, se executada a partir desta escala base, ainda que cobrindo áreas extensas, permitiria não apenas caracterizar com um bom nível de detalhe um sítio individualmente, mas igualmente usar o mesmo nível de detalhe para análises regionais e globais, onde uma rede de sítios arqueológicos poderiam ser facilmente comparados e estudados como um todo.

Esta é, de resto, a escala da cartografia digital utilizada num dos maiores projectos de esforço de investigação e salvaguarda de vestígios arqueológicos da última década em Portugal: a Barragem do Alqueva. No entanto, pelas suas características, este projecto que

utilizou cartografia digital produzida expressamente para o efeito por uma empresa privada (SILVA *et al.*, 2000: pp. 155-156) não é de forma alguma representativo da realidade dos projectos de Arqueologia em Portugal.

4.2.2 - Precisão

Define-se precisão como sendo o nível de detalhe com que os dados são recolhidos ou armazenados (HEYWOOD *et al.*, 2002: p. 191): quanto mais fina a unidade de medida do instrumento utilizado da captura dos dados e na capacidade de registo do seu armazenamento, maior a sua precisão (WHEATLEY *et al.*, 2002: p. 83). A precisão com que os dados são registados, nomeadamente as coordenadas de um determinado sítio arqueológico, traduz-se directamente num maior ou menor nível de detalhe da análise espacial sempre que essas coordenadas são utilizadas. Se as coordenadas de um sítio arqueológico forem registadas por aproximação a um quadrado de 100m de lado, a precisão é bastante menor que se as mesmas coordenadas forem registadas ao milímetro.

Tendo em conta a escala proposta de 1:5 000 como sendo a que se adequaria à cartografia para a Arqueologia, observando a dimensão mínima representável de 0,5mm (TOBLER, 1988: p. 130) e tomando este valor como a dimensão das células da malha de representação, seria possível representar vestígios de estruturas com uma resolução (ou precisão máxima) de 2,5m ou áreas de dispersão de materiais arqueológicos superiores a 6,25m² (Tabela 9).

Escala	Resolução (m)	Área Mínima (m²)
1/5 000	2,5	6,25
1/10 000	5	25
1/50 000	25	625
1/100 000	50	2 500
1/250 000	125	15 625
1/500 000	250	62 500
1/1 000 000	500	250 000

Tabela 9 - Relação entre escala de um mapa e suas resolução e área mínima representável

Fonte: adaptado de (TOBLER, 1988: p. 131)

4.2.3 - Níveis de informação

A informação identificada como revelante para a investigação arqueológica baseia-se na necessidade de estudar o espaço onde o homem desenvolveu actividades no passado, seja de habitat ou simplesmente de passagem. Como tal, a informação relevante para a caracterização dos sítios arqueológicos pode-se dizer ser a mesma que ainda hoje tem impacto sobre boa parte das actividades humanas:

- a mobilidade (redes viárias, vias fluviais com possibilidade de navegabilidade, zonas planas de fácil travessia);
- a subsistência (solos com boa capacidade de produção agrícola, recursos hídricos nas proximidades);
- os critérios de fixação de uma povoação em determinado local (fontes de matéria prima como sejam os recursos mineralíferos, zonas de boa exposição solar e resguardadas dos ventos predominantes da região).

Esta informação encontra-se patente na cartografia mencionada anteriormente como sendo a que mais uso tem tido na investigação arqueológica: hidrografia, hipsometria, geologia, tipo e capacidade de uso dos solos, rede viária recente e antiga.

4.2.4 - Informação descritiva associada

Um dos elementos de grande utilidade, principalmente com o fim de preparar a actividade de prospecção arqueológica, é a toponímia e, por vezes, a micro-toponímia da área sob investigação. Apenas como exemplo, refere-se o caso do topónimo Alcaria (e suas variantes – Alcarias, Alcarial e Alcarias), derivado do termo árabe para “povoação”, estar muito frequentemente associado a sítios arqueológicos do período medieval islâmico (CATARINO, 1997/98). Como tal, a cartografia “ideal” deveria ter associada a toponímia, nomeadamente a mais antiga, de montes ou lugares que hoje já não são habitados e, como tal, para os quais as fontes orais, frequentemente de grande utilidade durante as prospecções, já não podem valer.

4.2.5 - Técnicas de recolha dos dados

Tendo por base a escolha da escala 1:5 000, estamos imediatamente a definir o tipo de recolha de dados a ser usado na elaboração da cartografia para a Arqueologia. O método tipicamente usado para escalas desta ordem de grandeza (inferiores a 1:1 000) é o fotogramétrico em que a maior parte da informação é recolhida por análise e medição de fotogramas da superfície do terreno, obtidos por fotografia aérea ou por imagens multiespectrais recolhidas a partir de sensores remotos a bordo de satélites (CASACA *et al.* 2000: p. 169).

No entanto, é de realçar que os levantamentos recentes não são a única fonte, uma vez que parte considerável da informação é obtida em documentos, cartas e levantamentos mais antigos, com proveniências, pormenor e qualidade diversas (GASPAR, 2000: p. 8). Nesta situação encontra-se a já mencionada informação toponímica que constava nas folhas da Carta Militar de Portugal das décadas de 40 e 50 do século passado, retirada das cartas mais recentes, bem como a microtoponímia constante dos registos cadastrais de cada região, mas igualmente o traçado de caminhos antigos caídos em desuso com a redução ou mesmo abandono da actividade agrícola que ainda justificava a sua utilização.

4.2.6 - Metadados

O conjunto de requisitos a preencher sobre os dados geográficos está definido na norma ISO 19115 (ISO19115, 2003). A informação necessária divide-se em várias classes principais (Identificação, Extensão, Sistema de Referência, Qualidade, Conteúdo, Distribuição, Representação Espacial) que requerem uma extensa quantidade de detalhes a ser preenchidos pelo produtor da cartografia (MIG, 2005). Uma vez que a cartografia “ideal” aqui apresentada para o contexto de prospecções arqueológicas carece de execução e suporte físico, sendo uma definição de um ponto de vista teórico, não serão aqui abordados todos os inúmeros itens requeridos pela dita norma, destacando-se apenas aqueles que se consideraram mais relevantes.

A cartografia mais utilizada nos projectos actuais está definida segundo o sistema de projecção Hayford-Gauss Datum de Lisboa (HGDLx), com os seguintes parâmetros:

Datum: Datum de Lisboa

Projecção: Gauss-Krüger

Elipsóide: Hayford

Coordenadas: Militares (com origem falsa no ponto situado 200Km a Leste e 300Km a Sul do Ponto Central)

Não havendo qualquer razão evidente para a sua não utilização, mas antes pelo contrário, para melhor comparação com dados, quer cartográficos quer bibliográficos, já publicados segundo o mesmo sistema, justifica-se que se mantenha na presente proposta de cartografia “ideal”. A utilização cada vez mais frequente de aparelhos de posicionamento global (fazendo uso dos sistemas GPS ou, em breve, Galileo) em trabalhos de prospecções arqueológicas leva a que os dados sejam recolhidos no sistema projecção global havendo a necessidade de converter as coordenadas obtidas para um sistema de projecção local (CASACA *et al.*, 2000: p. 118), como sendo o anteriormente mencionado HGDLx, conversão essa possibilitada em grande medida pelo *software* de SIG utilizado.

A cartografia “ideal” teria, com o objectivo de cumprir um conjunto de requisitos necessários à investigação arqueológica, nomeadamente na sua vertente de prospecção, as seguintes especificações técnicas:

Escala – 1:5 000

Precisão – 1m

Níveis de informação – hidrografia, hipsometria, geologia, capacidade de uso dos solos, rede viária recente e antiga

Informação alfanumérica associada – toponímia e microtoponímia

Método de recolha de dados – fotogrametria, seja por fotografia aérea ou por imagem recolhida de satélite

Sistema de projecção – Hayford-Gauss Datum de Lisboa

Extensão – cobertura de todo o território nacional

Durante a compilação desta informação não foi tido em linha de conta o custo associado à produção da cartografia com as características propostas. Considerando, no entanto, as características apresentadas (nomeadamente a escala, os diversos níveis de informação e o

método de recolha de dados) e a inexistência de uma cobertura de todo o território nacional com estas características, o custo seria sem dúvida um factor a não menosprezar.

4.3 – Resumo

Ao longo deste capítulo procurou-se abordar o uso que a investigação arqueológica faz de cartografia, identificando-se as principais cartas e respectivas fontes utilizadas em projectos de Arqueologia. Com base essencialmente na bibliografia consultada, em informação obtida por via oral através de conversas informais com arqueólogos e através da experiência pessoal em trabalhos de prospecção arqueológica, definiram-se as características “ideais” da cartografia a utilizar em Arqueologia, para maior proveito desta.

5. DETECÇÃO REMOTA

Foi segundo um princípio de fácil visualização do contexto em que se insere um monumento que surgiram, nos alvares do século XX, as primeiras imagens aéreas de locais de interesse histórico. Hoje em dia é utilizado o termo Arqueologia Aérea⁵³ para definir não apenas a aquisição de imagens de sítios arqueológicos, mas toda a acção realizada sobre imagens remotas (fotografia aérea ou imagens de satélite) no âmbito da investigação arqueológica.

Nomeadamente, em 1906 surgem no Reino Unido as primeiras fotografias aéreas do Stonehenge (Figura 27). Estas imagens são recolhidas a bordo de um balão, mas não tardou até que os pioneiros da aviação procedessem a recolha sistemática de imagens: decorre a I Guerra Mundial quando voos de reconhecimento da força aérea alemã fotografam ruínas de cidades históricas no Sinai.



Figura 27 - Fotografia aérea do Stonehenge (Inglaterra), datada de 1906

Fonte: (GERSTER, 2003)

Terminada a guerra, e já nos anos 20 do século passado, procede-se à recolha fotográfica aérea no Reino Unido, de que resulta uma conferência na Royal Geographical Society em Março de 1923 onde são mostradas fotografias de marcas no solo no sítio de Windmill Hill e é demonstrado como sombras, marcas no solo e na vegetação podem auxiliar na

⁵³ Tradução livre do termo em inglês *Aerial Archaeology*.

identificação de sítios arqueológicos (DONOGHUE, 1999: p. 1). Na segunda metade da década de 30, no Irão, são efectuados voos sistemáticos sobre ruínas de edificações perdidas nas areias do deserto (Figura 28), nomeadamente da antiga cidade de Persópolis, capital do reino Persa, e região circundante.

A II Guerra Mundial vem interromper os trabalhos efectuados em países europeus, como a Áustria, onde o levantamento fotográfico de sítios arqueológicos a bordo de aviões iniciado na década de 30 só volta a ser retomado no início da década de 60.



Figura 28 - Ruína de fortaleza octogonal na planície Guchi (Irão)

fotografada em Julho de 1937 de uma altitude de 1300m

Fonte: The Oriental Institute of The University of Chicago

Ao longo da segunda metade do século XX, a evolução na avião civil bem como no equipamento fotográfico vieram contribuir para um aumento da utilização de fotografia aérea em trabalhos de investigação arqueológica. Mas foi de facto o reconhecimento por parte da classe de arqueólogos da mais valia obtida com a utilização deste novo tipo de informação, bem como o seu empenho no conhecimento dos processos associados à fotografia aérea, que levaram a uma cada vez maior inclusão destas imagens em projectos de Arqueologia.

Na década de 80, estando já consolidado o uso de fotografia aérea em Arqueologia, o lançamento dos satélites Landsat 4 e 5 torna a utilização de imagens recolhidas do espaço em estudos arqueológicos uma forte possibilidade (LOCK, 2003: p. 30). Esta nova fonte de dados vem alargar a variedade de imagens disponíveis, uma vez que a área coberta pela fotografia para arqueologia era mais reduzida, sendo resultado de trabalhos direccionados, não abrangendo, como no caso da imagens de satélite, toda a área do globo terrestre, incluindo zonas inabitadas de deserto e floresta. Mas é no final do século, por um lado com a disponibilidade generalizada de imagens de satélite pela internet (tornando mais fácil a obtenção deste tipo de imagens e a sua inclusão em projectos de Sistemas de Informação Geográfica), mas igualmente com a divulgação de imagens recolhidas por satélites militares dos Estados Unidos (Corona) e da Rússia (KVR) nos tempos da Guerra Fria, com resoluções espaciais da ordem dos 2m, que se generaliza a utilização de imagens de satélite na investigação arqueológica.

5.1 – Detecção Remota e Arqueologia

Conforme anteriormente mencionado, a Arqueologia faz uso de dois meios de Detecção Remota⁵⁴: a fotografia aérea realizada através de máquinas fotográficas colocadas em aviões e a imagem recolhida por sensores transportados a bordo de satélites artificiais da Terra ou do *space shuttle* ou ainda de aviões efectuando voos de grande altitude.

Regra geral a imagem obtida por detecção remota, independentemente da sua fonte (fotografia aérea ou imagem de satélite), é utilizada maioritariamente em Arqueologia com os seguintes objectivos:

- contextualização geomorfológica e ambiental do meio envolvente de sítios arqueológicos, de igual forma que é utilizada noutras disciplinas com o mesmo intuito;
- inclusão em sistemas de Gestão de Recursos Culturais⁵⁵, que mais não são do que aplicações com forte componente de SIG que têm por principal objectivo o auxílio ao

⁵⁴ O termo *Remote Sensing* é utilizado em bibliografia de Arqueologia para incluir qualquer acção de “visualização” de vestígios arqueológicos sem sobre eles actuar directamente, não apenas os meios que são utilizados de forma “extra-terrestre” mas igualmente estudos de geofísica (resistividade e magnetometria são os mais comuns (LOCK, 2003: p.33)) com o objectivo de inferir acerca da existência de estruturas no subsolo. Estes outros meios de *Remote Sensing* não serão aqui abordados.

⁵⁵ Tradução livre do termo em inglês *Cultural Resource Management* (CRM)

planeamento de intervenções no subsolo (construções de estradas, etc) em áreas de reconhecido interesse cultural;

- estudos de impacte em zonas completamente desconhecidas de um ponto de vista de vestígios arqueológicos e em que o factor tempo é importante. Por exemplo, no Reino Unido, num projecto financiado pela Royal Commission on the Historic Monuments of England, foram realizadas cerca de 610 horas de voo no Verão de 1989, de que resultou a identificação de mais de 5000 locais com vestígios arqueológicos com base em cerca de 25000 fotografias, das quais 30% permitiu a localização de novos sítios ou contém informação relevante sobre sítios já cuja localização era já conhecida (LOCK, 2003: p. 17).

A imagem aérea de sítios arqueológicos é, de facto, utilizada principalmente na caracterização e avaliação ao longo do tempo de sítios arqueológicos, mais que na descoberta de novos sítios (RENFREW *et al.*, 1993: p. 73). Sempre que a detecção remota é utilizada com este último objectivo, não se deve tomar este meio como conclusivo e sendo o final do processo. Conforme refere Vasco Mantas (MANTAS, 1990: p. 75) num artigo onde dá a conhecer a utilização de detecção remota no estudo do traçado urbano da cidade romana Pax Iulia (hoje Beja), as hipóteses desenvolvidas por este meio deverão sempre ser consideradas provisórias até que as mesmas possam ser validadas ou corroboradas através de actividades no solo, nomeadamente a realização de prospecções ou mesmo sondagens arqueológicas.

5.1.1 - Fotografia aérea

A utilização de fotografia aérea em projectos de Arqueologia tem por principal objectivo auxiliar o investigador na identificação de vestígios arqueológicos que raramente são perceptíveis ao nível do solo, com base em 3 classes principais de evidência fotográfica:

- a) sombra (Figura 29) – pequenas elevações não perceptíveis no solo poderão ser notadas em fotografias executadas com luz rasante (tipicamente tiradas perto do nascer ou do pôr do Sol), denunciando a existência de estruturas muito erodidas. Este tipo de evidência poderá igualmente ser utilizado para realçar a dimensão da área de vestígios num sítio arqueológico já conhecido;



Figura 29 - Sombras, como evidências arqueológicas
apresentando indícios de dois fossos concêntricos e múltiplas estruturas circulares

Fonte: (KVAMME, 2005)

- b) marcas na vegetação⁵⁶ (Figura 30) – estas marcas, sobretudo em campos de cultura uniforme, são denúncia de crescimento vegetal anormal, seja acima ou abaixo da média. No caso de crescimento vegetal acima da média, este poderá dever-se sobretudo a zonas de solo mais rico, seja por maior concentração de humidade, seja devido ao acumular de detritos orgânicos no passado (zonas de fosso, de “lixreira” ou de fogueiras de acampamentos). No caso em que o crescimento vegetal é inferior à média (em que se poderá igualmente notar uma diferente coloração da vegetação), poderá dever-se a zonas de solo menos fértil ou com menor concentração de humidade, nomeadamente revelando a existência de reduzido extrato orgânico devido a grande volume de pedras no subsolo, eventualmente denunciando a presença de estruturas (paredes ou muros) ou de calçadas (estradas ou caminhos);

⁵⁶ Tradução livre do termo em inglês *crop marks*.

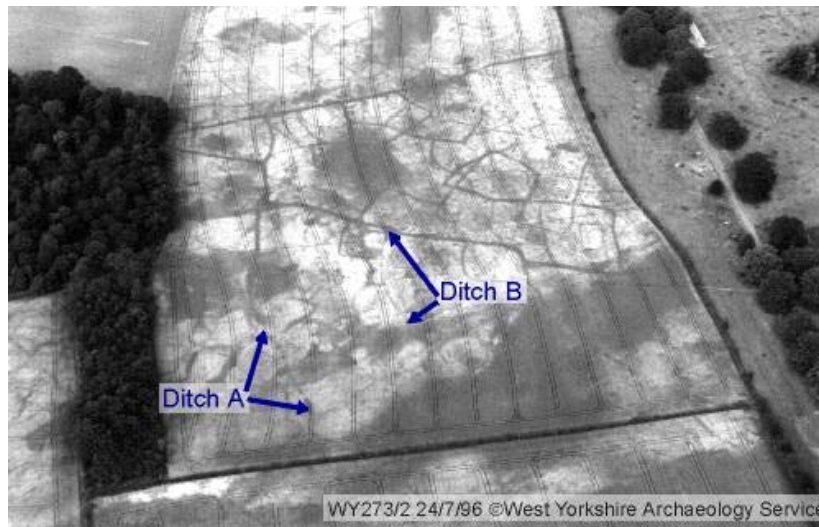


Figura 30 - Marcas na vegetação, como evidências arqueológicas apresentando indícios de fossas (Ditch A e B)

Fonte: (DEEGAN, 1999)

- c) marcas no solo⁵⁷ (Figura 31) – como no caso anterior, também estas marcas resultam da existência de elementos no subsolo. Tipicamente estão associadas à constituição do solo, nomeadamente em zonas de grande concentração de determinado tipo de elementos líticos (por exemplo, quartzo), que poderão denunciar a existência de local de extracção de matéria prima para a produção de artefactos, ou materiais de construção (telhas, tijolos, ladrilhos, etc) evidência de área de ocupação habitacional.

⁵⁷ Tradução livre do termo em inglês *soil marks*.

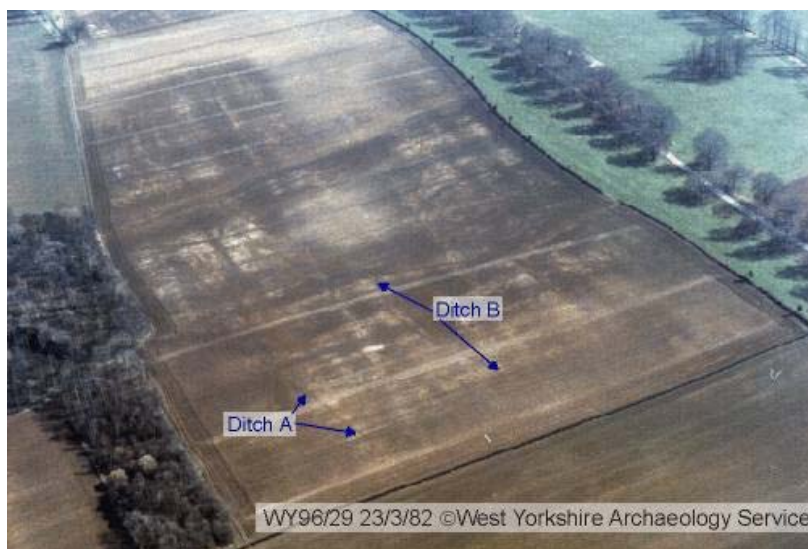


Figura 31 - Marcas no solo, como evidências arqueológicas apresentando indícios de fossas (Ditch A e B)

Fonte: (DEEGAN, 1999)

Um outro tipo de evidências arqueológicas detectáveis através de fotografia aérea, não incluída em qualquer dos 3 grupos anteriores porque de menor utilização, mas igualmente importante, é o caso dos vestígios subaquáticos (Figura 32). Em situação muito específica, como sejam zonas costeiras ou de margem de lagos de pouca profundidade e águas límpidas, torna-se possível identificar através das manchas produzidas por aglomerados de algas ou simplesmente pela mancha escura de vestígios sobre um fundo claro arenoso, estruturas arqueológicas subaquáticas. Foi através desta utilização particular da fotografia aérea que em 1925 foi identificado o porto de Tiro, no Líbano, e em 1927 alinhamentos de postes de madeira pertencentes a um povoado lacustre no lago de Neuchatel, na Suíça (RENFREW *et al.*, 1993: p. 73).

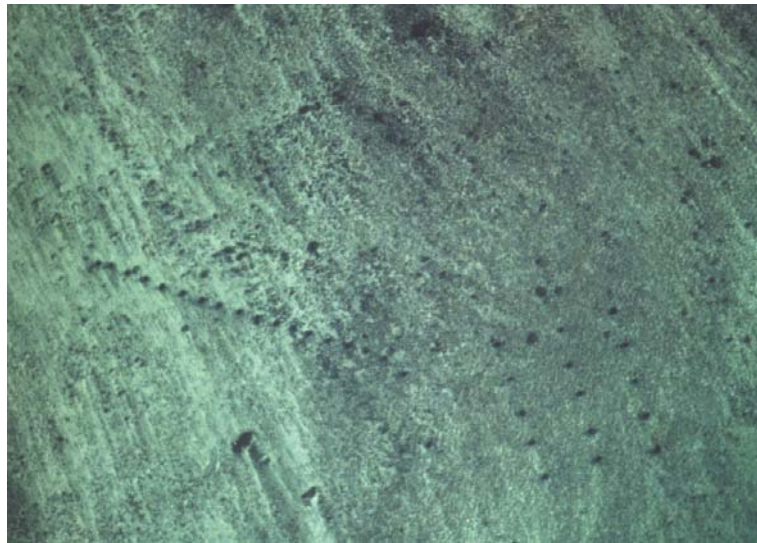


Figura 32 - Manchas subaquáticas, como evidências arqueológicas onde são perceptíveis diversas manchas indiciando alinhamentos

Fonte: (GERSTER, 2003)

A fotografia aérea pode ser classificada segundo 3 tipos, atendendo ao ângulo que o eixo focal da mesma faz com o solo (CAMPBELL, 2002: p. 73):

- a) muito oblíqua – sempre que o ângulo do eixo focal da máquina fotográfica em relação ao solo é tal que a fotografia inclui a linha de horizonte (Figura 33);

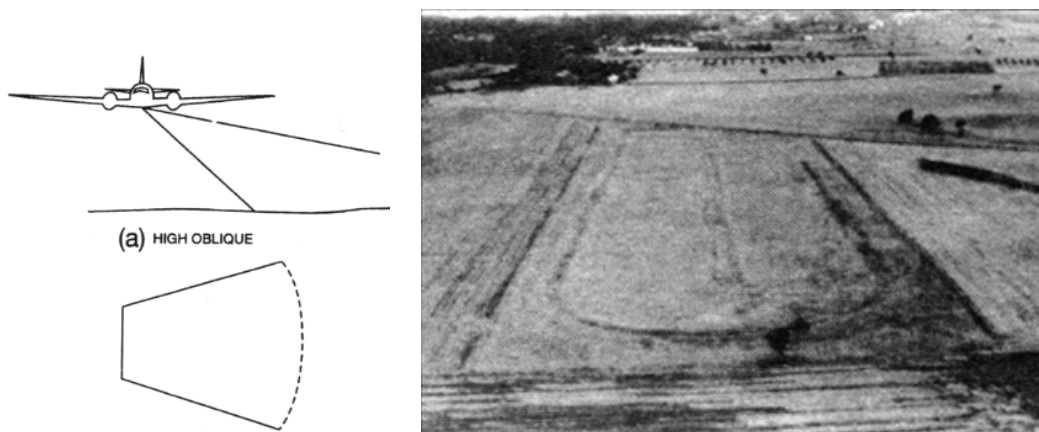


Figura 33 - Fotografia aérea muito oblíqua

Esquema de enquadramento (esquerda, fonte: (CAMPBELL, 2002)) e fotografia do circo de Miróbriga (direita, fonte: (MANTAS, 1996a))

- b) pouco oblíqua – sempre que o ângulo do eixo focal da máquina fotográfica em relação ao solo é diferente de 90° mas a fotografia apenas contém imagem do solo (Figura 34);

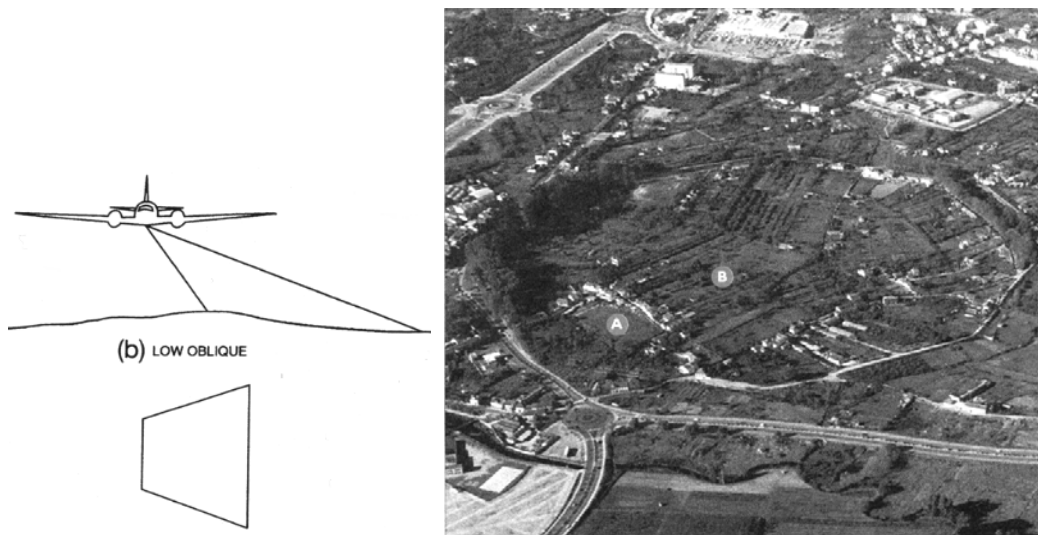


Figura 34 - Fotografia aérea pouco oblíqua

Esquema de enquadramento (à esquerda, fonte: (CAMPBELL, 2002)) e fotografia da Cava de Viriato (à direita, fonte: (MANTAS, 2003))

- c) vertical – sempre que o eixo focal da máquina fotográfica faz um ângulo de 90° com a superfície da Terra (Figura 35).

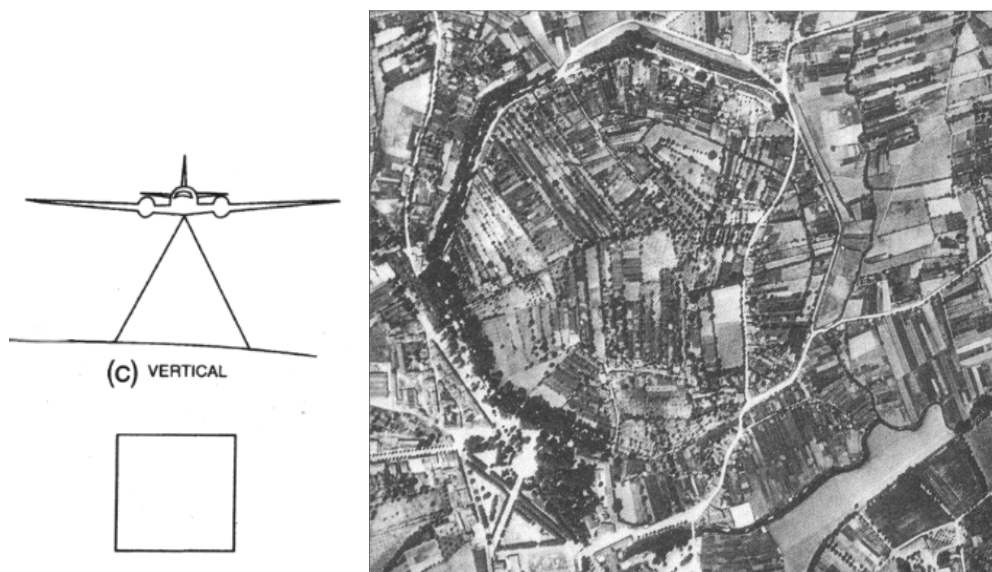


Figura 35 - Fotografia aérea vertical

Esquema de enquadramento (à esquerda, fonte: (CAMPBELL, 2002)) e
fotografia da Cava de Viriato (à direita, fonte: (MANTAS, 2003))

Qualquer dos dois tipos de fotografia oblíqua tem o inconveniente da variação de escalas dos elementos nela representados não permitir a sua utilização para termos comparativos com base em medidas de áreas ou distâncias. O primeiro tipo – fotografia muito oblíqua – é maioritariamente utilizado em enquadramento de perspectiva, podendo o segundo tipo – fotografia pouco oblíqua – ser utilizado na identificação de qualquer das 3 classes de evidências que poderão indiciar a existência de sítios arqueológicos (sombras, marcas na vegetação ou no solo). Já o terceiro tipo – fotografia vertical –, para além da identificação das 3 classes de evidências como no caso anterior, tem formas específicas de utilização. A primeira, e mais generalizada, prende-se com a sua (quase) semelhança a um mapa, permitindo a sua sobreposição com mapas à mesma escala (se estiverem ortorectificadas) dando uma visão mais realista das características do terreno. Tal visão mais realista poderá ser útil no planeamento de acções de prospecção arqueológica, com base em parcelas de terreno agrícola. Uma segunda grande utilização da fotografia vertical relaciona-se com a possibilidade de utilização de imagens estereoscópicas que permitem uma visão 3D, potencializando a descoberta de estruturas no terreno. Vasco Mantas menciona a utilização do estudo de imagens estereoscópicas na identificação da localização do teatro romano de

Pax Ivlia, que apesar de pouco nítido, se evidencia na curvatura de uma rua de Beja e pelo declive natural que apresenta (MANTAS, 1990: p. 83).

Qualquer que seja o tipo de fotografia e o fim para o qual o investigador a irá utilizar, poderá haver a necessidade da fotografia passar por uma fase de processamento com o intuito de melhorar a qualidade da imagem ou realçar características contidas na mesma, importantes para o arqueólogo. Assim, a melhoria de contraste ou luminosidade da fotografia (conseguida por manipulação do histograma da fotografia) é muitas vezes uma das etapas porque a fotografia passa para realçar evidências, nomeadamente qualquer diferença de coloração quer na vegetação quer no solo. O processamento da imagem poderá igualmente incluir a digitalização da mesma para um tema vectorial, como passo intermédio à sua utilização num SIG. Neste processo de digitalização, as principais características significativas para o estudo arqueológico serão identificadas e incluídas no produto final (Figura 36).

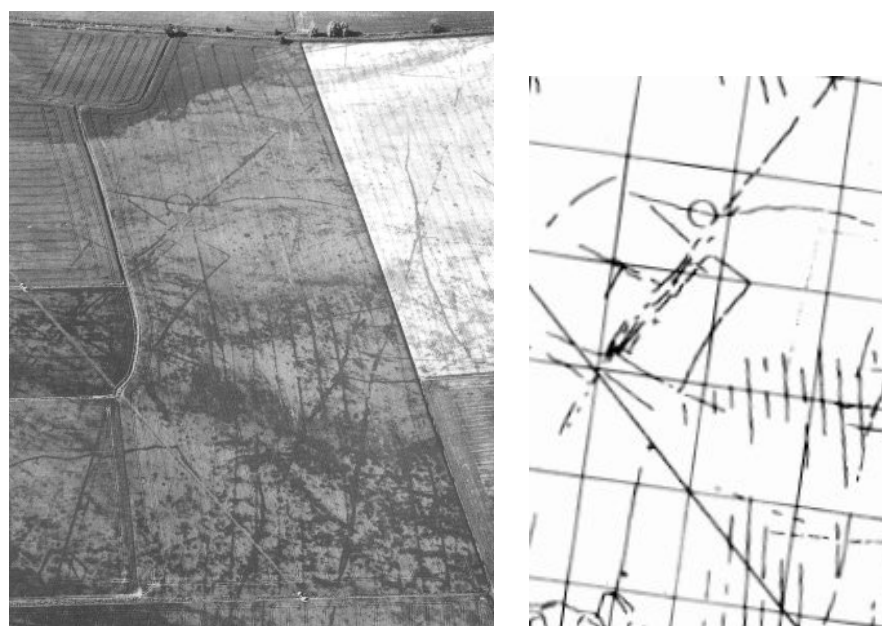


Figura 36 - Fotografia aérea oblíqua revelando marcas de vegetação (à esquerda) e respectiva interpretação vectorial georreferenciada (à direita)

Fonte: (LOCK, 2003)

A etapa de processamento de imagem poderá ser executada utilizando software de tratamento de imagem genérico, mas na última década surgiram já soluções de software

específico para tratamento de imagens para Arqueologia que incluem igualmente a identificação automática de vestígios. Um destes casos é o MORPH, que inclui uma base de dados, que permite a classificação automática de marcas de vegetação, segundo as suas características: elemento e estrutura linear, estrutura fechada, ... (Figura 37) (LOCK, 2003: p. 27).

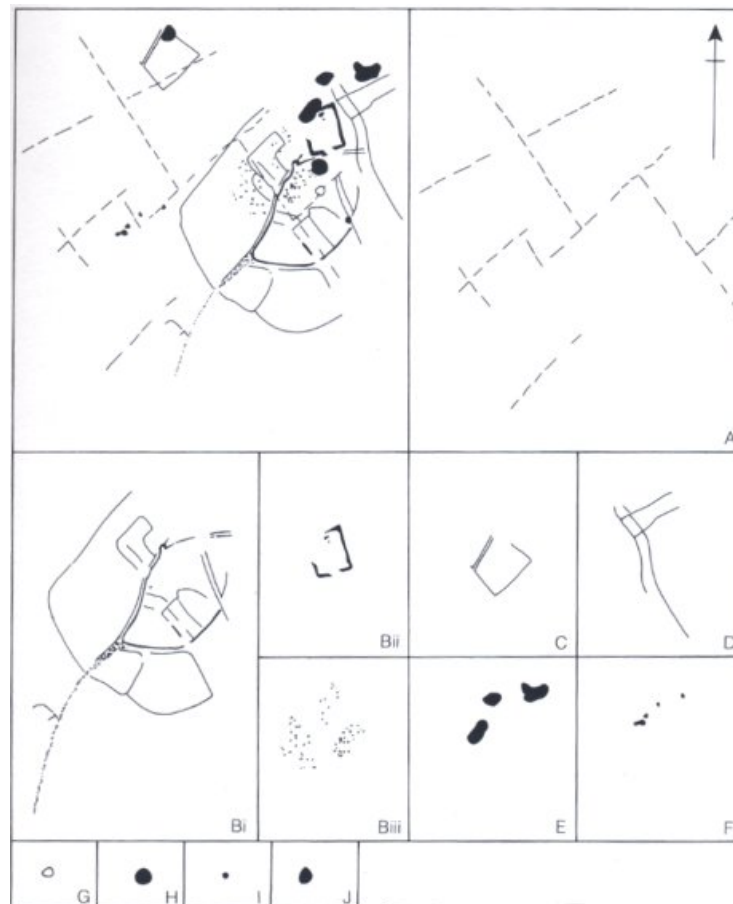


Figura 37 - Representação vectorial de marcas de vegetação

Imagem completa (canto superior esquerdo) e sua decomposição em componentes individuais:

A e Bi – sistemas lineares; Bii, C e G – estruturas fechadas; D – elemento linear; Biii, E, F, H, I e J – manchas

Fonte: (LOCK, 2003)

Se as fases de tratamento de imagem e classificação de uma fotografia aérea são importantes para a Arqueologia, o seu armazenamento para uso futuro não o é menos. Instituições e sociedades relacionadas com o meio académico (como é o caso, por exemplo,

da Universidade de York) têm vindo a desenvolver programas de gestão de fotografia aérea para a Arqueologia, bem como informação específica para o seu armazenamento (como o guia de “boas práticas” de arquivo de fotografia aérea disponível online (BEWLEY *et al.*, 1998)). De igual foma, o English Heritage é responsável pela manutenção da National Library of Air Photographs que contém mais de 4 milhões de fotografias aéreas da Inglaterra (havendo igualmente serviços idênticos para o País de Gales e Escócia) (LOCK, 2003: p. 26).

5.1.2 - Imagens de grande altitude⁵⁸

Num artigo publicado pela NASA em Junho de 2003 (SULLIVANT, 2003), a utilização de meios de detecção remota é mencionada como a “mais recente e promissora” forma de identificar vestígios arqueológicos no solo. Sítios como a cidade de Ubar⁵⁹ – identificada pela visualização através de imagens Landsat na banda do infravermelho de uma extensa e complexa rede de caminhos, muito embora as estruturas da cidade não sejam visíveis dada a resolução da imagem –, ou um grande segmento da antiga cidade de Angkor Wat⁶⁰ – que foi possível identificar através da utilização de imagens de radar que permitiram visualizar a imensa área de estruturas até então desconhecida que se encontravam sob o manto da copa da floresta que cobria o local.

Igualmente da NASA é um outro artigo datado de Abril de 2004 (SULLIVANT, 2004) que menciona a obrigatoriedade, definida por lei federal norte-americana, de identificar todo o património histórico localizado em áreas de propriedade do estado norte-americano, nomeadamente aquelas que poderão ser afectadas pela construção ou por manobras militares. A colaboração da NASA no cumprimento desta lei é apresentada com base num projecto realizado na ilha de St.Clement⁶¹. Os vestígios identificados na ilha, não havendo sinais de estruturas visíveis à superfície, comprovaram a presença de acampamentos pré-históricos de

⁵⁸ Por Imagens de Grande Altitude pretende-se englobar quer as imagens obtidas através de sensores colocados a bordo de satélites ou do *space shuttle*, quer as imagens produzidas por meios de detecção não fotográficos (ex: radar) colocados a bordo de aviões executando voos a grande altitude.

⁵⁹ A cidade de Ubar localiza-se na península arábica e era conhecida apenas por relatos históricos que davam conta de uma importante cidade de onde partiam caravanas carregadas de incenso destinadas a Roma, à Grécia antiga e à Mesopotâmia, mas da qual se desconhecia a localização exacta.

⁶⁰ Angkor Wat situa-se no Camboja, encontra-se actualmente sob um vasto manto de coberto florestal e apenas uma parte da sua localização era conhecida.

⁶¹ A ilha de St.Clement é uma estreita faixa de terra com cerca de 40km de comprimento e localiza-se cerca de 50km a Noroeste de S.Diego, ao largo da costa californiana.

comunidades piscatórias (com áreas de ocupação de diâmetros que variam entre os 10 e os 20m). Estes acampamentos foram detectados analisando a diferença dos níveis de vegetação que revelou ser mais abundante nas zonas de ocupação devido ao solo rico em nutrientes de fogueiras e restos orgânicos deixados por essas comunidades.

Estes dois exemplos sobre imagem de grande altitude atestam a importância que esta tem para a investigação arqueológica, nomeadamente testemunhada por uma instituição como a NASA, com colaboração activa em alguns projectos. A utilização de imagem de satélite, bem como as de radar aero-transportado, em Arqueologia cobre algumas das utilizações mencionadas anteriormente para fotografia aérea (identificação de marcas na vegetação ou no solo). No entanto, pelas características destas imagens, que vão para além do visível e cobrindo áreas que poderão ser significativamente maiores, outras aplicações são possíveis.

Os diferentes tipos de sensores de Detecção Remota por satélite poderão ter múltiplos contributos para investigação arqueológica, de igual forma que em muitas outras aplicações em outras ciências. Assim, quando se pretende caracterizar o espaço envolvente de um sítio arqueológico, por exemplo relativamente ao tipo de ocupação de solo ou hidrografia da região, imagens de sensores com resolução espacial da ordem dos 30m (como é o caso das imagens TM ou ETM+ do Landsat) poderão adequar-se às necessidades da tarefa, com a vantagem de serem distribuídas gratuitamente na internet. Se o objectivo é ir mais longe e possibilitar a identificação de vestígios de menores dimensões como sejam as estruturas de muralhas, poderá ser necessário o recurso a resoluções espaciais da ordem de 1-3m (disponibilizadas pelas imagens pancromáticas do Ikonos ou do Quickbird ou pelos sensores das missões militares Corona ou KVR já tornados públicos). A principal desvantagem da utilização de imagens com grande resolução espacial advém do seu custo de aquisição.

Tal como diferenças na resolução espacial poderão trazer contributos para um projecto de Arqueologia, o mesmo acontece com diferentes resoluções radiométricas. Se a gama do visível pode ter o mesmo tipo de utilização que a fotografia aérea quando utilizada em composição de cor verdadeira, outros contributos são possíveis com as imagens das demais gamas do espectro electromagnético. A gama do infravermelho próximo, com as suas características de diferenciação de níveis de vegetação, pode contribuir para a identificação em diferenças subtis no coberto vegetal possibilitando a identificação (à semelhança das

marcas na vegetação usadas na fotografia aérea) de áreas com vestígios no subsolo (ver, como exemplo, Figura 38)⁶².



Figura 38 - Imagem de falsa cor RGB432 Ikonos revelando um complexo sistema de estruturas

Fonte: (BECK, 2003)

A comparação das bandas multiespectrais e pancromática pode igualmente ajudar na identificação de elementos no solo que indiciam a presença de vestígios arqueológicos (ver, como exemplo, Figura 39).

⁶² As imagens aqui mencionadas como exemplos fazem parte de projectos de investigação arqueológica que utilizam Detecção Remota e que se encontram sumariamente descritos na última parte deste capítulo.

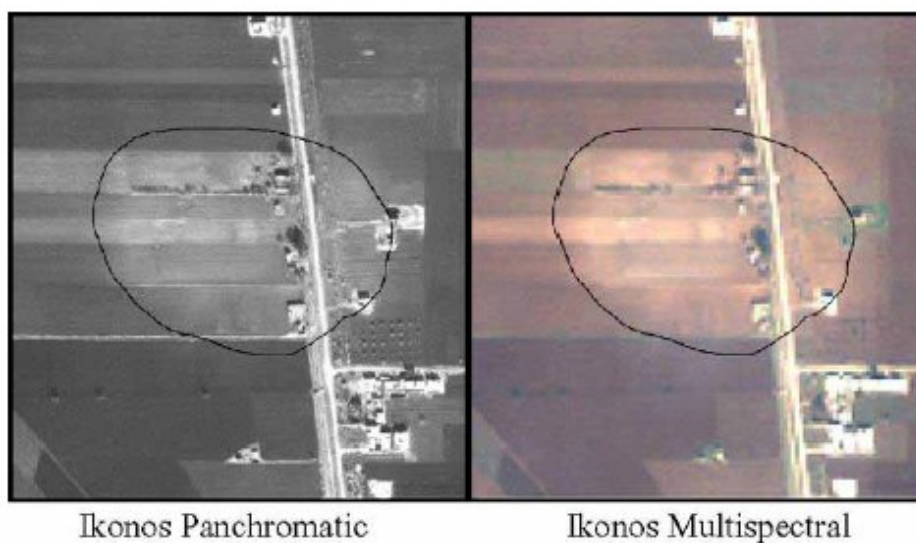


Figura 39 - Diferença na cor do solo detectada numa zona arada

Fonte: (BECK, 2003)

Ainda relativamente a resoluções, a possibilidade de utilização de uma grande resolução temporal (de resto igualmente possível no caso da fotografia aérea) será igualmente vantajosa em projectos de Gestão de Recursos Culturais, no sentido em que torna possível identificar a evolução do estado de conservação de um sítio arqueológico, seja sob influência humana (com o crescimento dos meios urbanos, a construção de novas vias de comunicação, ou tão simplesmente o impacto de elevado número de visitantes num monumento), seja sob influência da natureza (devido aos efeitos da erosão natural). Esta situação é por demais evidente em imagens de um dos projectos apresentados na secção seguinte do presente capítulo (Figura 40).

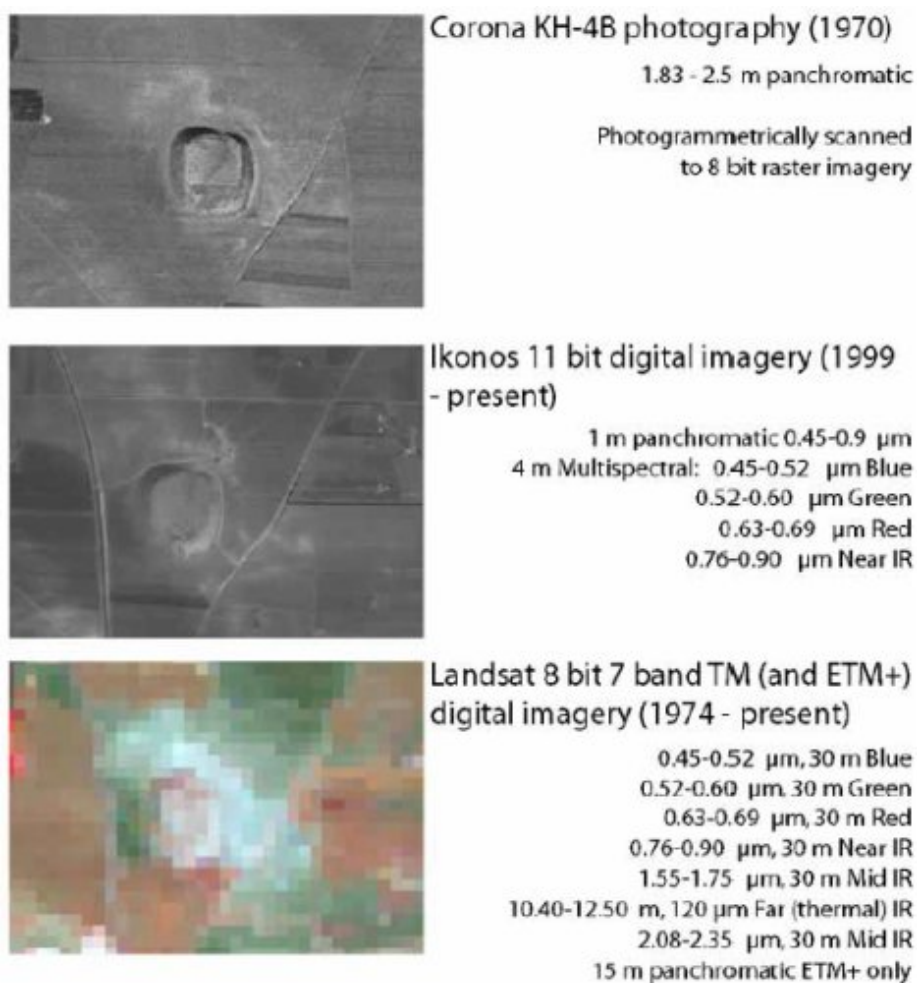


Figura 40 - Comparação dos diferentes tipos de imagem utilizada no projecto da região de Homs

Fonte: (BECK, 2003)

Outra grande vantagem da utilização de imagens de satélite face à fotografia aérea, já mencionada anteriormente, é a grande disponibilidade de imagens de satélite sobretudo a um custo bastante reduzido (BECK, 2003: p. 1). Em projectos que fazem utilização de múltiplos tipos de imagem (por exemplo, com diferentes níveis de resolução espacial) a diferença de preço entre a utilização de fotografia aérea ou imagem de satélite poderá influenciar em grande medida a viabilidade financeira do projecto.

5.2 – Exemplos de Aplicação de Detecção Remota em Arqueologia

Sem entrar em demasiados detalhes acerca de cada um dos projectos⁶³, pretende-se nesta secção apresentar um resumo de projectos que fazem utilização consistente e com diferentes aplicações de meios de detecção remota em investigação arqueológica, cobrindo sucintamente os seus objectivos, a metodologia e as imagens utilizadas.

5.2.1 - Região de Homs

(fonte: BECK, 2003)

Objectivos do projecto: analisar a aplicação em investigação arqueológica de imagens de satélite de diferentes resoluções temporal, espacial e radiométrica, na região semi-árida de Homs, na Síria, numa área que ocupa cerca de 700 km². A região revelou um sem número de estruturas de divisão de território bem como áreas habitacionais (Figura 38)

Metodologia e conclusões: através da utilização de imagens de satélite de diferentes origens, foram realizados estudos comparativos relativamente a:

- a) resolução espacial, concluindo-se que imagens de resolução espacial da ordem dos 1-2m são particularmente úteis na identificação de características de pequenas dimensões (como foi o caso de muros com cerca de 1m de largura), sendo que imagens por vezes consideradas de grande resolução espacial, no caso 4m, eram demasiado vagas no auxílio à identificação dessas mesmas estruturas. Imagens de resoluções da ordem dos 30m foram úteis unicamente na classificação temática da região em estudo (Figura 40);
- b) resolução temporal, ainda que referentes a sensores pertencentes a satélites diferentes, a utilização de imagens com intervalos de tempo da ordem de décadas permitiram a caracterização do impacto temporal da actividade agrícola nos vestígios arqueológicos (Figura 40);
- c) resolução radiométrica, constatando-se que imagens multiespectrais foram particularmente úteis na identificação de marcas no solo que ajudavam a destacar a existência de vestígios (Figura 39).

⁶³ Apresentam-se aqui apenas os projectos que mais relevo têm em variedade de utilização de meios de Detecção Remota, de entre a múltipla bibliografia consultada.

Imagens: neste projecto foram utilizadas imagens Corona (pancromáticas com resolução de 2m), Ikonos (pancromáticas com resolução de 1m e MS com resolução de 4m), e Landsat (7 bandas TM e ETM+ com resolução de 30m).

5.2.2 - Toscana

(fonte: CAMPANA, 2003)

Objectivo do projecto: estudo comparativo da utilização de múltiplos tipos de detecção remota em distintos projectos da região italiana da Toscana, que se estendem por uma área de 470km².

Metodologia e conclusões: através da comparação de múltiplas fontes de dados dos diferentes projectos realizados na região e conjugando os dados obtidos no terreno com imagens de detecção remota foi possível enumerar várias vantagens que podem advir da utilização destas últimas nos projectos de arqueologia. Nomeadamente, identificaram-se zonas de potencial arqueológico através de imagens de falsa cor RGB 432 e análise do componente principal que não eram detectáveis através de uma tradicional fotografia aérea (Figura 41), ou através do cálculo de índices de vegetação (NDVI) destacar diferenças no coberto vegetal que indiciam a existência de vestígios no subsolo (Figura 42).

Imagens: neste projecto foram utilizadas imagens Ikonos (MS com resolução de 4m) e conjunto de fotografias aéreas de grande resolução temporal (entre 1938 e 2001).



Figura 41 - Análise de componente principal de imagem RGB 432 permitindo a detecção de uma “anomalia” arredondada (assinalada na imagem)
Fonte: (CAMPANA, 2003)

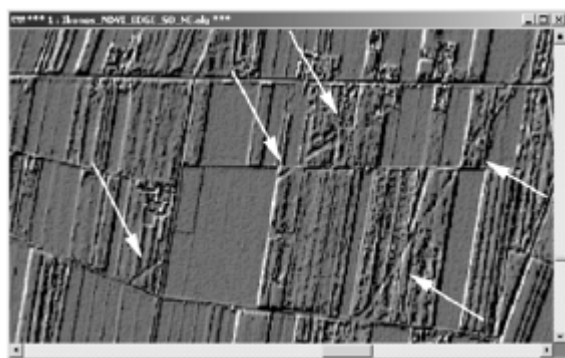


Figura 42 - Cálculo de índices de vegetação (NVDI) e aplicação de filtros de imagem permitindo a identificação de características rectilíneas (assinaladas na imagem)
Fonte: (CAMPANA, 2003)

5.2.3 - Planalto dos Jarros⁶⁴

(fonte: BOX, 2003)

Objectivo do projecto: o Planalto dos Jarros é uma zona do centro do Laos assim denominada por ser composto por vários núcleos de uma grande necrópole da Idade do Bronze de grandes urnas funerárias em pedra. A área foi afectada por intensos bombardeamentos durante a Guerra do Vietname (85% das aldeias no planalto foram bombardeadas, sendo que um dos principais problemas na zona continua a ser o elevado número de munições por explodir) e da qual não existia qualquer cartografia. Este projecto da UNESCO em colaboração com o Ministério da Informação e Cultura do Laos procura criar um SIG de gestão do património cultural do Planalto.

Metodologia e conclusões: neste projecto a utilização de meios de Detecção Remota resume-se à criação de cartografia de suporte às prospecções de campo de reconhecimento das zonas com vestígios e ao sistema de informação a ser criado. Para tal, partiu-se de imagens de satélite de grande resolução espacial, a que se procedeu à georreferenciação com a utilização de pontos no terreno (GCP⁶⁵). Com base nestas imagens foi criada cartografia reunindo informação sobre agrupamentos de urnas, limites de áreas de interesse, zonas de apoio ao visitante, caminhos e hidrografia (Figura 43). Foi igualmente assinalada na cartografia informação relevante sobre zonas de munição por explodir, com o auxílio de cartografia de planos de bombardeamento da Força Aérea Norte-Americana dos anos 60.

Imagens: imagens Ikonos (pancromáticas com resolução 1m).

⁶⁴ Tradução livre do nome em inglês *Plain of Jars*

⁶⁵ GCP – *Ground Control Points*

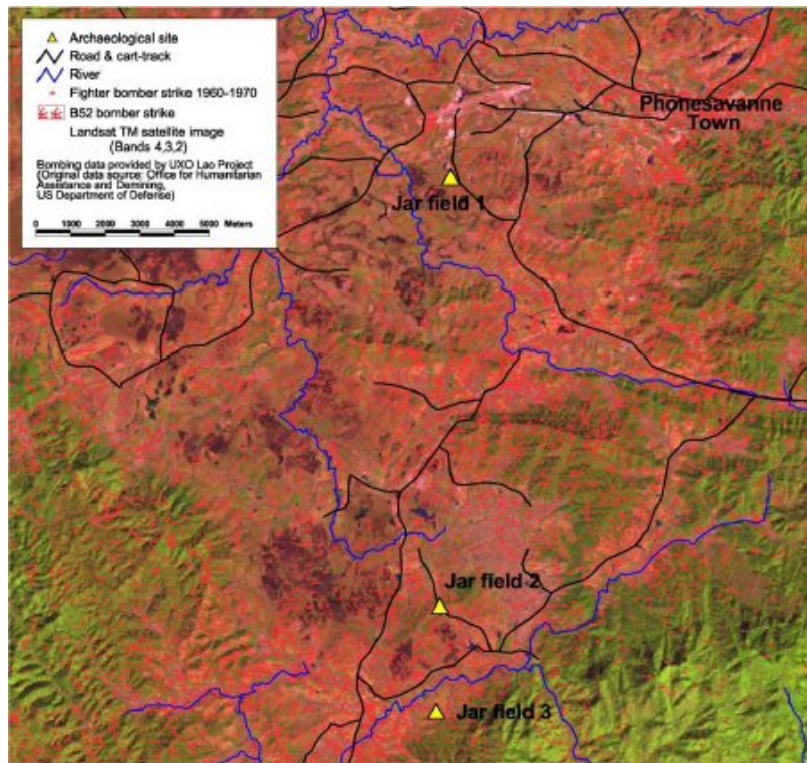


Figura 43 - Cartografia de zonas bombardeadas, tendo por base uma imagem Ikonos, à escala 1:5 000

Fonte: (BOX, 2003)

5.2.4 - Sistema de Irrigação Pré-Colombiano em Newcombe

(fonte: DOUGLAS, 2003)

Objectivo do projecto: Newcomb situa-se no estado do Novo México, nos EUA, e encontra-se numa área de elevado número de vestígios arqueológicos da ocupação do território em período anterior à chegada de Colombo ao continente norte-americano. O projecto em que se insere este estudo do sistema de irrigação tem como objectivo a documentação e preservação dos vestígios de uma cultura que se estende do ano 500dC até 1300dC.

Metodologia e conclusões: partindo de fotografias aéreas tiradas em 1934 pelo Soil Erosion Service dos EUA (Figura 44) e georreferenciadas com base nas ortofotos de 1975 do USGS, foi identificada a localização de estruturas da conduta principal, hoje já quase desaparecida. Uma vez identificada esta conduta e os canais secundários, a sua localização foi sobreposta ao MDT da região, para auxílio na visualização do espaço envolvente. Utilizaram-se imagens de satélite na detecção de vestígios de estruturas agrícolas pré-colombianas, estruturas agrícolas actuais e identificação de locais com potencial agrícola (para eventual

expansão dos sistemas actualmente existentes). Realizou-se uma classificação da imagem (TM – bandas 2, 3 e 4) para identificar áreas com características espectrais semelhantes, tendo a imagem resultante sido usada para criar um tema de vegetação no SIG. Um dos resultados foi a criação do mapa do sistema de regas num SIG (Figura 45).

Imagens: fotografia aérea de 1934, imagens Landsat TM (bandas do infravermelho próximo, verde e vermelho).

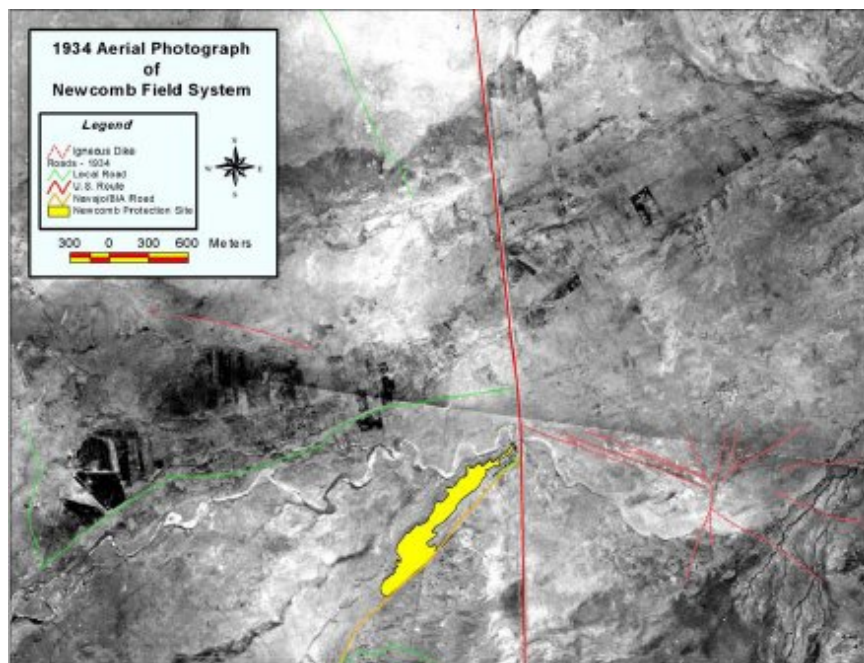


Figura 44 - Fotografia aérea do sistema de Newcomb, datada de 1934

Fonte: (DOUGLAS, 2003)

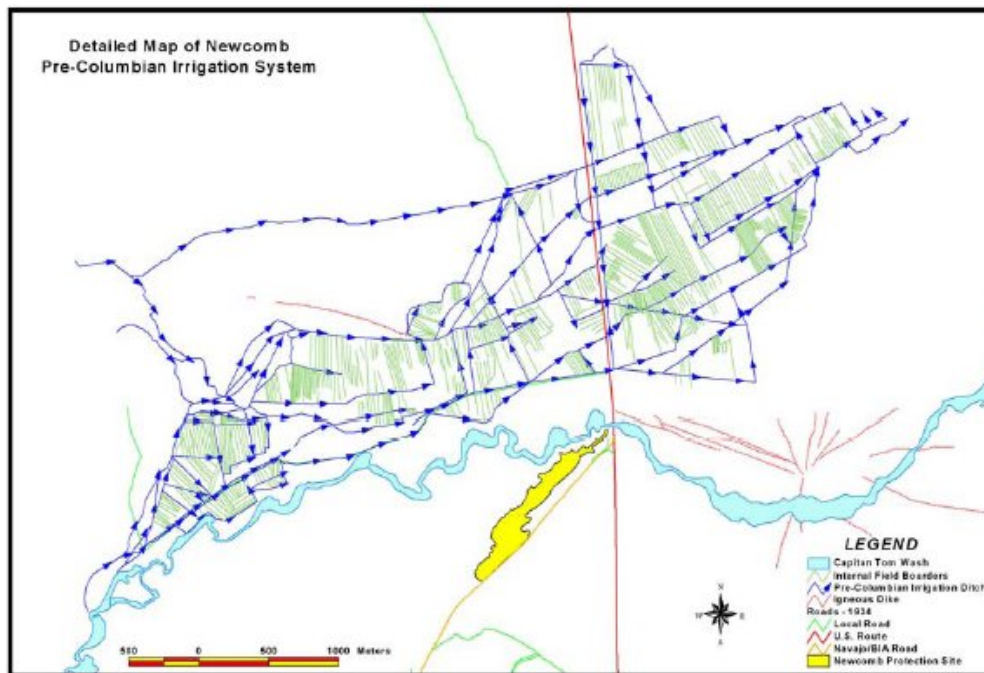


Figura 45 - Mapa do sistema de irrigação pré-colombiano de Newcomb, resultado do SIG criado

Fonte: (DOUGLAS, 2003)

5.2.5 - Balsa Romana

(fonte: SILVA, 2005)

Objectivo do projecto: O projecto de Balsa romana pretende identificar a localização e a extensão de vestígios arqueológicos da *civitas balsensis*, nas imediações de Tavira, procurando dar a conhecer melhor a cidade capital do Algarve Oriental na época romana.

Metodologia e conclusões: Partindo de evidências arqueológicas conhecidas desde finais do século XIX, bem como de fontes escritas, utilizaram-se fotografias aéreas de resolução temporal variada (como o autor refere, “Os fotogramas mais antigos, com mais vestígios mas menor resolução, são parcialmente compensados pelos mais recentes (...) bastante mais detalhados.”(SILVA, 2005: p. 47)), para proceder à inventariação de vestígios arqueológicos que não eram facilmente detectáveis no solo. Confirmados os testemunhos fotográficos, foi vectorizada a área de vestígios arqueológicos da cidade (Figura 46, Figura 47 e Figura 48) e elaborada uma carta arqueológica de Balsa romana (Figura 49), incluindo uma carta de risco arqueológico.

Imagens: referem-se na bibliografia consultada fotografias aéreas de 1958, 1974, 1985, 1995 e 2000, a que se procedeu ao tratamento vectorial.



Figura 46 - Teatro romano de Balsa

Fotografia aérea de 1985 e sua interpretação vectorial

Fonte: Campo Arqueológico de Tavira (<http://www.arqueotavira.com/> - Janeiro de 2006)



Figura 47 - Porto romano de Balsa

Fotografia aérea de 1995 e sua interpretação vectorial

Fonte: Campo Arqueológico de Tavira (<http://www.arqueotavira.com/> - Janeiro de 2006)



Figura 48 - Porto romano de Balsa e linha de costa

Fotografia aérea de 1995 com interpretação vectorial sobreposta: a vermelho a linha de costa de tempo romano

Fonte: (SILVA, 2005)

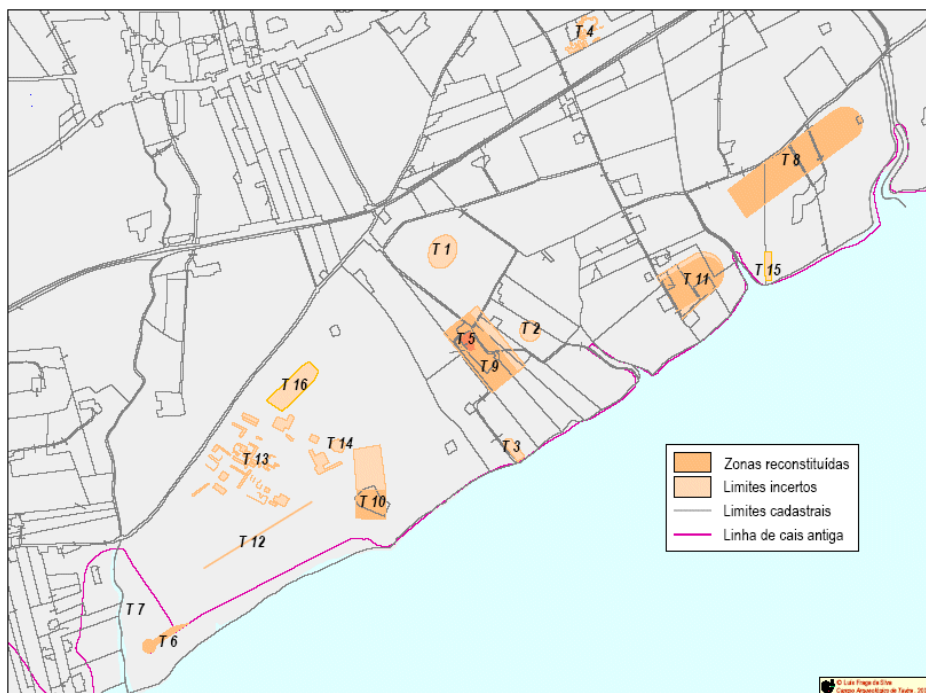


Figura 49 - Carta de restituições topográficas de Balsa

baseadas em imagens fotogramétricas e cadastrais e em singularidades do terreno

Fonte: Campo Arqueológico de Tavira (<http://www.arqueotavira.com/>) - Janeiro de 2006)

5.3 – Resumo

A Detecção Remota produz imagens da superfície terrestre seja de proveniente de aparelhos fotográficos colocados em aviões, seja de sensores descrevendo órbitas terrestre em satélites ou a bordo do space shuttle. Ainda que a história da Detecção Remota se possa dividir entre fotografia aérea e imagem de satélite, o facto é que ambos os métodos de captura de imagem continuam válidos na exploração da superfície do globo terrestre.

Neste capítulo apresentou-se uma breve evolução histórica do uso de Detecção Remota na investigação arqueológica. Destacaram-se os vários métodos utilizados na fotografia aérea e a forma como estes podem contribuir na identificação de locais de potencial arqueológico. Apresentaram-se igualmente características inerentes à utilização de imagens de satélite, como sejam as diferentes resoluções (temporal, espacial e radiométrica) e como estas podem influenciar a utilização desta fonte de dados num projecto de Arqueologia.

Finalmente, apresentaram-se resumidamente alguns projectos a nível nacional e internacional que fizeram uso de métodos de Detecção Remota na investigação ou preservação de recursos culturais e arqueológicos.

6. MODELAÇÃO DE SISTEMAS

“A arqueologia analítica tem constituído um novo entendimento da Arqueologia (...), permitindo estabelecer outros processos de análise científica inclusivamente ao nível de modelos quantitativos, como, por exemplo, a determinação de coeficientes em função de características e de atributos dos objectos recolhidos, a partir dos quais é possível estabelecer tratamento matricial” (RUA, 2004: p. 25).

Data do fim da década de 70 do século passado o início da utilização de modelos que, partindo da análise de características de sítios arqueológicos conhecidos, procuravam identificar padrões na sua distribuição espacial e, desta forma, prever onde poderiam encontrar-se outros sítios até à data desconhecidos. A criação deste tipo de sistemas é uma das mais frequentes aplicações de SIG na investigação arqueológica (WHEATLEY *et al.*, 2002: p. 165; KVAMME, 1999: p. 171). O crescimento da sua utilização, principalmente nos Estados Unidos, deveu-se em grande medida à necessidade de criar ferramentas que auxiliassem na gestão dos recursos culturais dos vastos territórios administrados por agências federais norte-americanas (KVAMME, 1995: p. 3), com o objectivo de proteger e gerir o crescente número de sítios arqueológicos ameaçados ou sob pressão do crescimento urbanístico (DUNCAN *et al.*, 2000: p. 33).

Estes modelos assentam sobre três premissas básicas (WARREN *et al.*, 2000: p. 6-7; DALLA BONA, 1994):

- as características, ambientais ou culturais, do local tiveram um papel relevante nas actividades que aí tiveram lugar, pelo que a ocorrência de sítios arqueológicos tem tendência a verificar-se em locais onde as condições eram favoráveis à fixação do ser humano;

- as condições do passado que levaram à fixação do ser humano encontram-se, directa ou indirectamente, representadas na cartografia actual utilizada nestes sistemas, pelo que são possíveis de traduzir na análise no presente;

- sítios que se localizam numa mesma zona de características geográficas semelhantes têm tendência a depender de igual forma do meio que os rodeia.

A última das premissas relaciona-se com o facto de um modelo não poder ser extrapolado universalmente, sendo apenas válido na região para o qual foi concebido.

Modelo preditivo pode ser, pois, definido como uma ferramenta para projectar padrões e relações conhecidas em lugares e tempos desconhecidos (WARREN *et al.*, 2000: p. 6). No

entanto, há que realçar o termo “ferramenta” nesta definição: o modelo preditivo, bem como os resultados que permite alcançar, são apenas e só mais uma funcionalidade ao dispôr do investigador. Ainda que permitindo “projectar padrões no passado”, não deve ser tido como um fim da investigação, uma vez que o comportamento humano nunca será completamente reconstituído e a razão por trás das suas acções no passado nunca completamente conhecida (DALLA BONA, 1994), não dispensando nunca os trabalhos de campo.

6.1 – Metodologia

Um modelo preditivo pode ser considerado como um exemplo de modelação empírica, em que se parte do estudo da relação existente entre os factores (ou variáveis) utilizados na análise, baseado nos conjuntos de valores conhecidos para cada um deles, e se procura estimar o comportamento das relações entre esses mesmos factores no restante espaço da área de estudo. O modelo preditivo é constituído por três componentes (EBERT, 2004: p. 3; HATZINIKOLAOU, 2006: p.438):

- os dados ou informação pré-conhecida;
- o processo ou método de extrapolação;
- o resultado.

No caso da aplicação à investigação arqueológica, estes modelos partem da análise de características de implantação de sítios arqueológicos e, estabelecendo uma relação entre essas características, tenta estimar de que forma influenciaram a localização de cada sítio. Porque essa localização depende da relação com as características do local, pode-se definir de forma genérica uma função que traduz essa relação (Equação 1).

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

Equação 1 - Variável dependente como função das variáveis independentes

Considerando que y – localização de sítios arqueológicos – está dependente da sua relação com os múltiplos x – as características que condicionaram a localização –, diz-se que a primeira é uma variável dependente enquanto que as últimas se denominam variáveis independentes.

Uma vez conhecida essa relação, aplica-se o mesmo modelo a toda uma região envolvente dos locais em análise, criando um mapa da potencialidade de existência de sítios

sujeitos e influenciados pelas mesmas características. Estas podem ser de ordem ambiental, como sejam a inclinação do solo (declives), a altitude, a sua orientação, os tipos de solo ou a proximidade de recursos hídricos, ou cultural/social, nomeadamente a localização de explorações mineiras, a intervisibilidade ou a distância entre povoados (STANCIC *et al.*, 1999: p. 234; EBERT, 2004: p. 6).

O processo de relacionar as características de implantação por forma a determinar a potencial existência de novos sítios pode ser alcançado de formas distintas, como o demonstra a inúmera bibliografia existente sobre a utilização de modelos preditivos em Arqueologia: assentando maioritariamente sobre métodos quantitativos de tratamento dos dados, abrangem técnicas tão distintas como a regressão linear ou redes neuronais ou ainda a utilização de *fuzzy logic* (HATZINIKOLAOU, 2006). Os métodos mais comuns (DALLA BONA, 1994; EBERT, 2004: p. 4) são:

- o método da intersecção – este método, conseguido através da sobreposição binária das variáveis independentes, assenta sobre o princípio que todas elas contribuem de forma igual para determinação do potencial de localização de um sítio arqueológico para cada ponto da região em estudo;

- o método de pesos – ao contrário do anterior, este método assume que cada característica contribui de forma distinta e com pesos diferentes sobre o potencial de localização de um sítio arqueológico. O peso de cada variável independente no modelo estima-se através da sua relação estatística com a localização de sítios arqueológicos conhecidos. Por permitir que as características tenham impactos distintos na determinação do resultado final do modelo, pode-se considerar este método mais realista que o anterior e foi, por esta razão, o adoptado no estudo que se apresenta.

6.1.1 - Os dados⁶⁶

Como variável dependente (aquela cuja potencialidade de existência pretende ser calculada com a criação do modelo) temos a informação sobre sítios arqueológicos do concelho de Alcútem, que inclui a sua designação, localização, tipologia e cronologia. A localização dos sítios refere-se às coordenadas do ponto central da dispersão de vestígios e é,

⁶⁶ Os dados utilizados na criação do modelo preditivo encontram-se directamente representados, ou dele foi possível derivar, no conjunto que se julgou pertinente mencionar e detalhar no capítulo introdutório desta Dissertação.

na sua maioria, baseada em identificações realizadas durante prospecções de campo, sendo que apenas um número muito reduzido dos sítios foi já alvo de escavação.

Uma vez que, como mencionado anteriormente, os modelos preditivos partem da premissa que a fixação humana em determinado ponto é influenciada pelo meio ambiente, e porque em diferentes períodos da sua evolução o Homem teve necessidades distintas do meio que o rodeia, optou-se por limitar o universo de sítios arqueológicos segundo o seu período cronológico. O estudo restringiu-se aos sítios arqueológicos de cronologia medieval islâmica, baseado em 2 razões principais:

- ser o período cronológico que mais sítios arqueológicos conhecidos abarca;
- a proximidade temporal do período escolhido permite mais seguramente aceitar a segunda das três permissas básicas de utilização de modelos preditivos: das cronologias relevantes para análise (com número significativo de sítios identificados) é aquela que mais facilmente encontrará representadas na cartografia actual as características que influenciaram o homem nessa altura.

Relativamente às variáveis independentes, baseado na consulta de múltiplos artigos (CATARINO, 1997/98; SILVA, 1994; FERNÁNDEZ *et al.*, 2000; EBERT, 2004; WHEATLEY *et al.*, 2002) e cartas arqueológicas (LOPES *et al.*, 1997; BATATA, 1997; MARQUES *et al.*, 1995), foi identificado um grupo de características que poderá ter influenciado a fixação do homem no período e área em estudo. Nomeadamente:

- declive – por razões de fácil implantação de povoados bem como de actividade agrícola e pastoreio (actividades ainda muito enraizadas na actual população do concelho), supõe-se que o declive dos terrenos poderá ter tido impacto na localização dos sítios arqueológicos;

- distância a recursos hídricos – os recursos hídricos são de principal importância à fixação do homem. No presente estudo optou-se por incluir as linhas de água de maior expressão na região e os poços existentes no concelho, alguns deles de reconhecida idade centenária;

- orientação de encostas – um factor geográfico que poderá ter influenciado a localização de sítios arqueológicos, nomeadamente em relação a protecção de ventos dominantes e maior exposição solar;

- ocupação e tipos de solo – se os tipos de solo influenciam directamente actividades como a exploração de recursos naturais, nomeadamente a agricultura, a actual ocupação do

solo pode indiciar a propensão dos solos a essas mesmas actividades com base na sua utilização actual;

- proximidade de minas – a exploração mineira sabe-se ter sido muito importante no concelho de Alcoutim desde a ocupação romana do território. Em múltiplos sítios da cronologia em análise foram identificados vestígios de exploração, nomeadamente escórias de fundição, recolhidos durante as prospecções;

- proximidade de toponímia relevante – a toponímia é, conforme já referido no capítulo de Cartografia, um factor de extrema importância quando da preparação de prospecções arqueológicas. A proximidade a topónimos relevantes, ainda que não sendo um factor ambiental ou cultural que terá influenciado a fixação, poderá ser considerado como elemento revelador da existência de sítios de determinado tipo nas proximidades (RUA, 2004: p. 232; CATARINO, 1997/98: p. 137).

O diagrama causal provisório⁶⁷, que define a relação entre variáveis independentes e dependentes do modelo, tendo por base o conjunto de características anteriormente enumeradas apresenta-se na Figura 50. De realçar que todas as variáveis independentes influenciam univocamente a variável dependente, com uma excepção: a toponímia relevante. Este caso é particular dado que a toponímia é uma designação actual derivada de utilizações de lugares ou eventos do passado (e assim, a povoação actual Alcaria tem este nome eventualmente por na sua proximidade ter existido uma povoação medieval islâmica, e não o oposto).

⁶⁷ O diagrama causal permite definir graficamente a relação entre variáveis independentes e variáveis dependentes do modelo em elaboração. Definiu-se este como provisório dado que ainda não foi testada a relação entre as variáveis, baseando-se apenas a representação em asserções feitas com base em outros estudos semelhantes e numa lógica de factores de implantação de povoados.

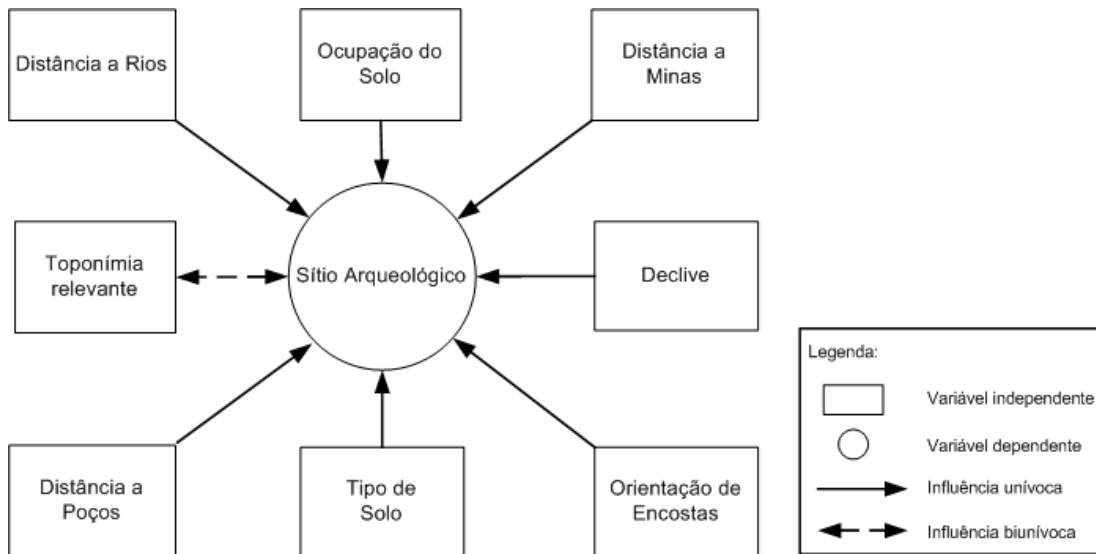


Figura 50 - Diagrama Causal provisório do Modelo Preditivo

6.1.2 - A área de estudo

A área sobre a qual incidiu o modelo que se apresenta é o território que hoje se conhece por concelho de Alcoutim, mas que não terá necessariamente existido como espaço com os mesmos limites no passado, ainda que duas das suas actuais fronteiras sejam determinadas por acidentes geográficos importantes: a Ribeira do Vascão a Norte, fazendo fronteira com o concelho de Mértola, e o Rio Guadiana a Este, separando o concelho do território espanhol. Assim, qualquer análise espacial realizada sobre sítios arqueológicos do concelho deverá abstrair-se dos seus limites actuais e incluir recursos (como sejam os recursos hídricos) que se encontram fora da área do concelho mas a uma distância que poderão ter influenciado as populações do período temporal sobre que incide o estudo. Caso contrário, poderemos incorrer no erro de desprezar elementos relevantes à análise que se pretende realizar. Assim, e para efeitos do presente estudo, procedeu-se à inclusão da região de 2Km em redor do actual concelho.

6.2 – O processo

Com o intuito de simplificar a descrição do processo de criação do modelo, optou-se por definir uma série de etapas: uma inicial com o objectivo de preparar dos dados, uma segunda

etapa de classificação das variáveis independentes para, finalmente, na terceira etapa proceder ao teste estatístico da relação entre estas e a variável dependente (Figura 51). Na descrição que se segue de cada etapa, o seu fluxograma apresenta-se ainda segmentado com o intuito de tornar mais fácil a interpretação das principais acções que possibilitaram alcançar os objectivos.

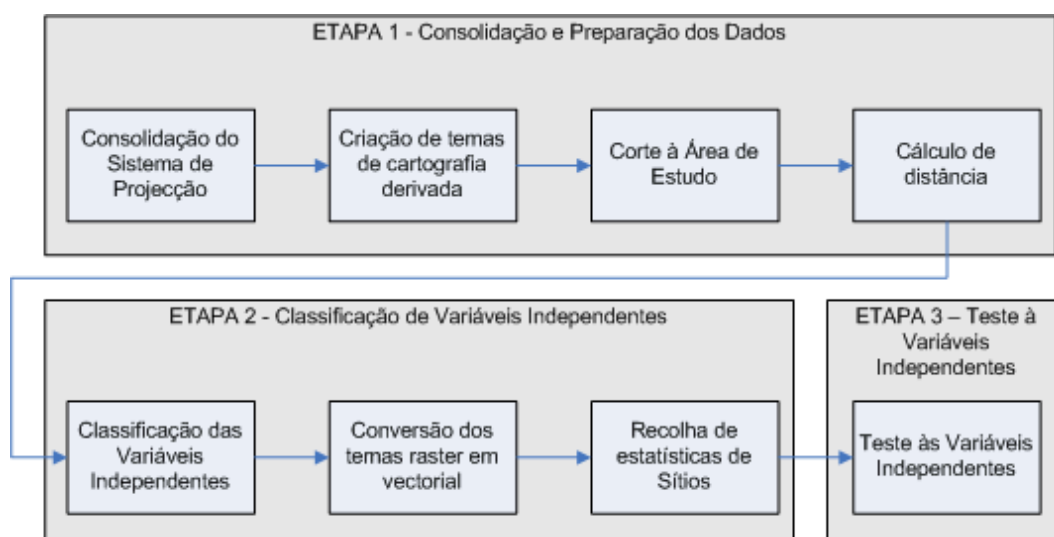


Figura 51 - Diagrama de etapas do processo de criação do modelo, e dos passos que as compõem

6.2.1 - Etapa 1 – Consolidação e preparação dos dados

O primeiro passo na criação de um modelo passa pela compatibilização dos dados que, normalmente, provêm de diferentes fontes. Relativamente aos dados referentes a sítios arqueológicos e minas (CATARINO, 1997/98) houve que, a partir do suporte inicial em formato de folha de cálculo, produzir o tema cartográfico baseado nas suas coordenadas⁶⁸. Uma vez obtidos esses temas em formato vectorial, e por forma a ser possível a sobreposição com a demais cartografia digital, procedeu-se à transformação do sistema de projecção de todos os dados num único sistema⁶⁹: HGDLx (Figura 52)⁷⁰.

⁶⁸ Para o efeito utilizou-se a funcionalidade *Display XY* do ArcMap que permite obter a representação gráfica dos dados baseada em coordenadas constantes em campos numéricos.

⁶⁹ A transformação dos sistemas de projecção foi efectuada através do *Projection Wizard* do ArcToolbox.

⁷⁰ A legenda constante nesta figura aplica-se igualmente aos fluxogramas que se apresentam nas páginas seguintes.

Relativamente ao conjunto de sítios arqueológicos, com o objectivo de possibilitar o teste ao modelo criado, foram criados dois subconjuntos – sítios de modelo e sítios de teste – retirando aleatoriamente um sítio em cada quatro da listagem inicialmente produzida. Ao longo da descrição do processo, os sítios medievais islâmicos utilizados na criação do modelo referem-se exclusivamente ao primeiro dos dois subconjuntos, sendo que o segundo foi utilizado unicamente em fase pós-produção do modelo.

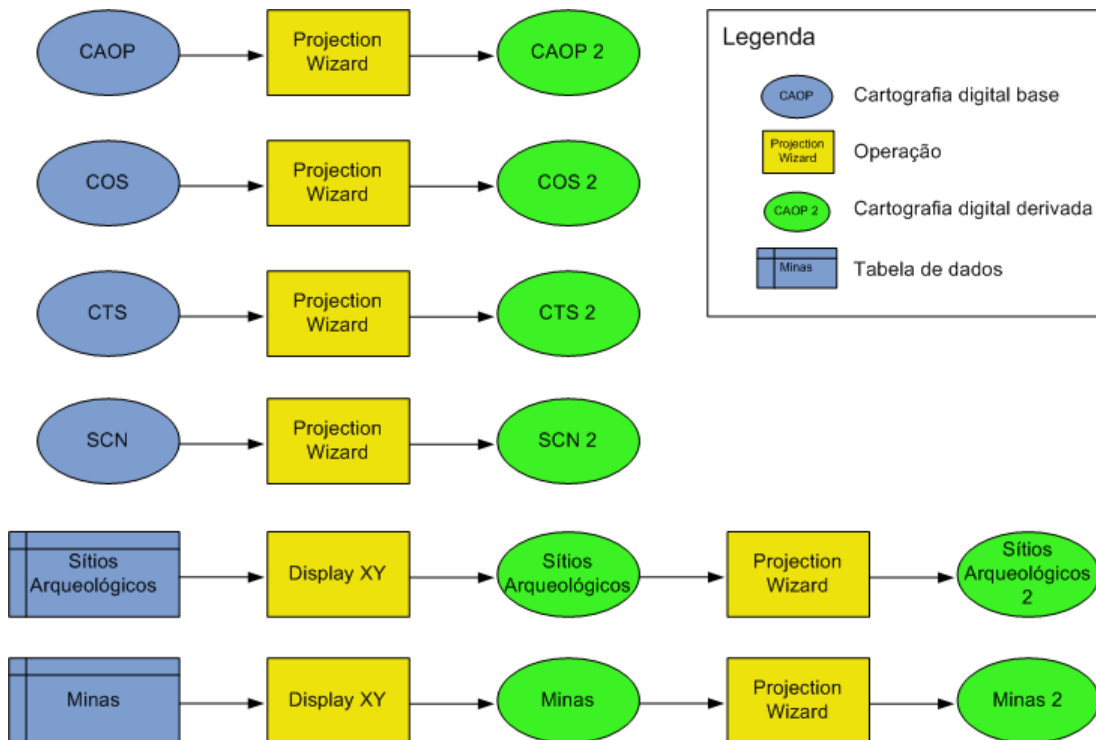


Figura 52 - Fluxograma: consolidação do sistema de projecção

Uma vez tendo toda a cartografia base transformada no mesmo sistema de projecção procedeu-se à criação do tema com a área de estudo. Conforme já mencionado, julgou-se pertinente incluir o território num raio de 2Km em redor dos limites do concelho de Alcoutim na área de estudo, com o objectivo de contemplar a existência de recursos (nomeadamente hídricos) que se julgaram importantes dada a sua proximidade.

Neste fase procedeu-se igualmente à criação de temas cartográficos derivados da cartografia base, relevantes para o modelo que se deseja construir (rios, poços, topónimos, declives e orientação de encostas) (Figura 53).

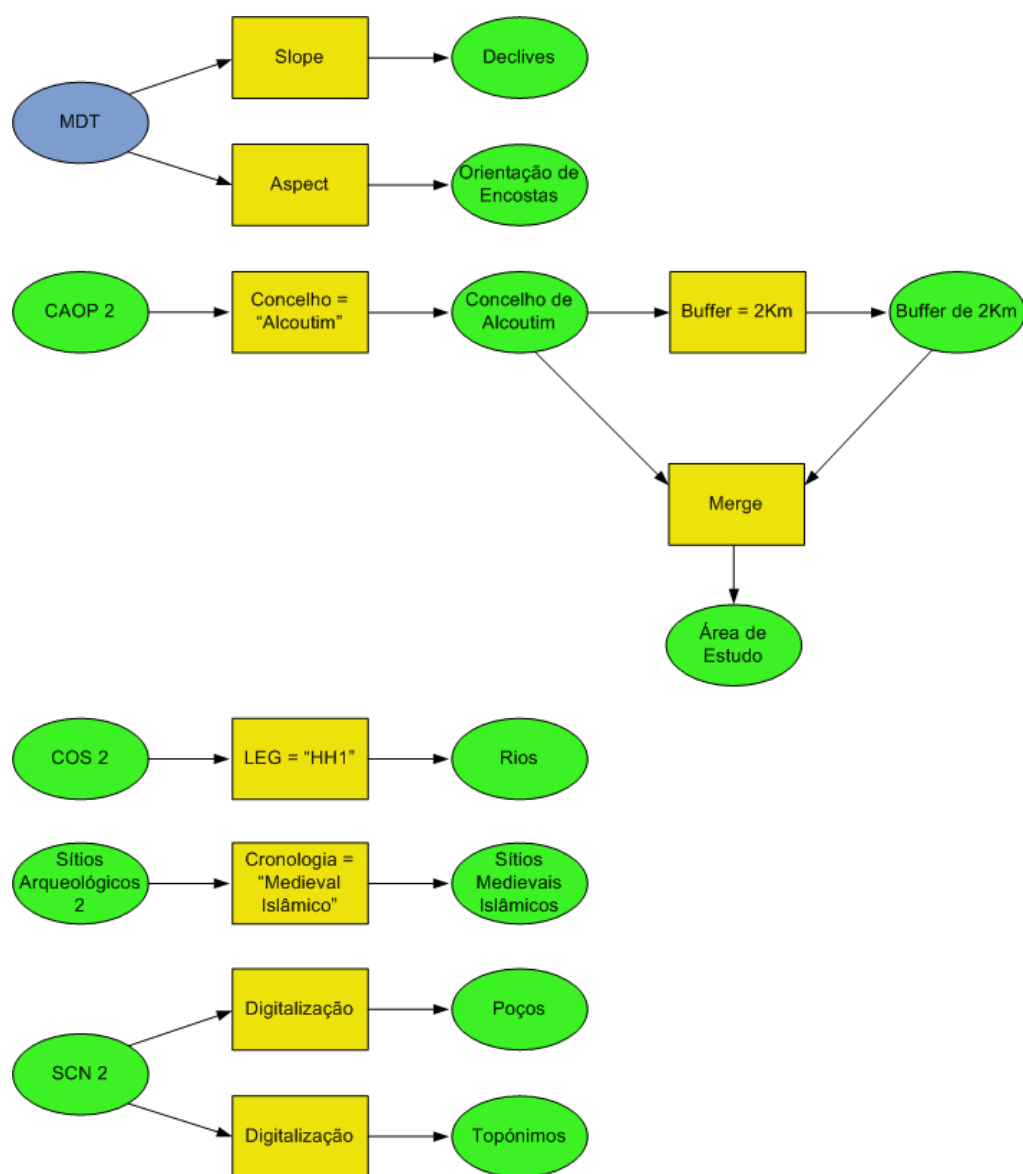


Figura 53 - Fluxograma: cartografia derivada

Conjugando o resultado dos dois passos anteriores, procedeu-se seguidamente ao “corte” da cartografia derivada, restringindo os temas relevantes à área de estudo⁷¹ (Figura 54).

⁷¹ O “corte” dos diferentes temas de cartografia derivada segundo os limites da área de estudo foi conseguido fazendo uso da funcionalidade *clip* do ArcMap.

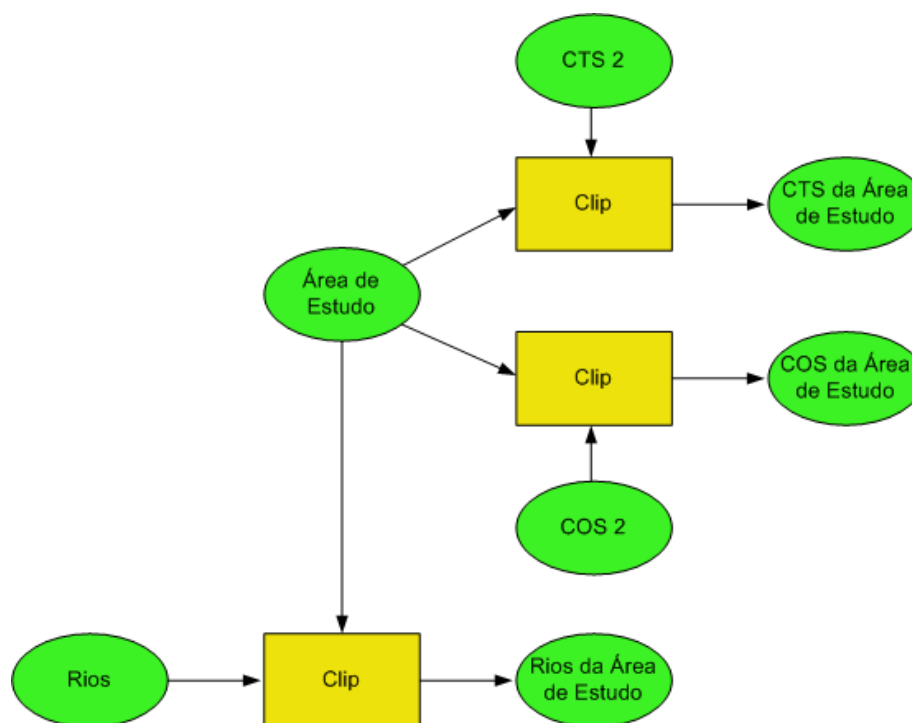


Figura 54 - Fluxograma: corte à área de estudo

Para concluir a preparação dos dados, e completar o conjunto de variáveis independentes identificadas no diagrama causal provisório, houve que criar os temas de distância a rios, a topónimos, a minas e a poços. Tratando-se os topónimos de uma designação, e não um recurso cuja distância há que atravessar para ser alcançado, a distância a topónimos foi calculada segundo um algoritmo de linha recta⁷². As restantes distâncias a recursos foram determinadas segundo um algoritmo baseado em custos associados ao percurso⁷³ tendo em consideração os declives que se deparam no trajecto (Figura 55).

⁷² *Straight Line Distance* – o algoritmo de distância em linha recta não tem em consideração eventuais dificuldades existentes no percurso cuja distância se mede.

⁷³ *Cost Weight Distance* – o algoritmo de distância com custos associados ao percurso entra em linha de conta com eventuais obstáculos ou tão simplesmente com a dificuldade que se apresenta a um caminhante quando subindo ou descendo um encosta comparado com o mesmo percurso num terreno plano. Na maioria dos casos, o custo associado a este tipo de percursos em modelos de Arqueologia utiliza o declive como superfície de custo (WHEATLEY *et al.*, 2002: p. 155).

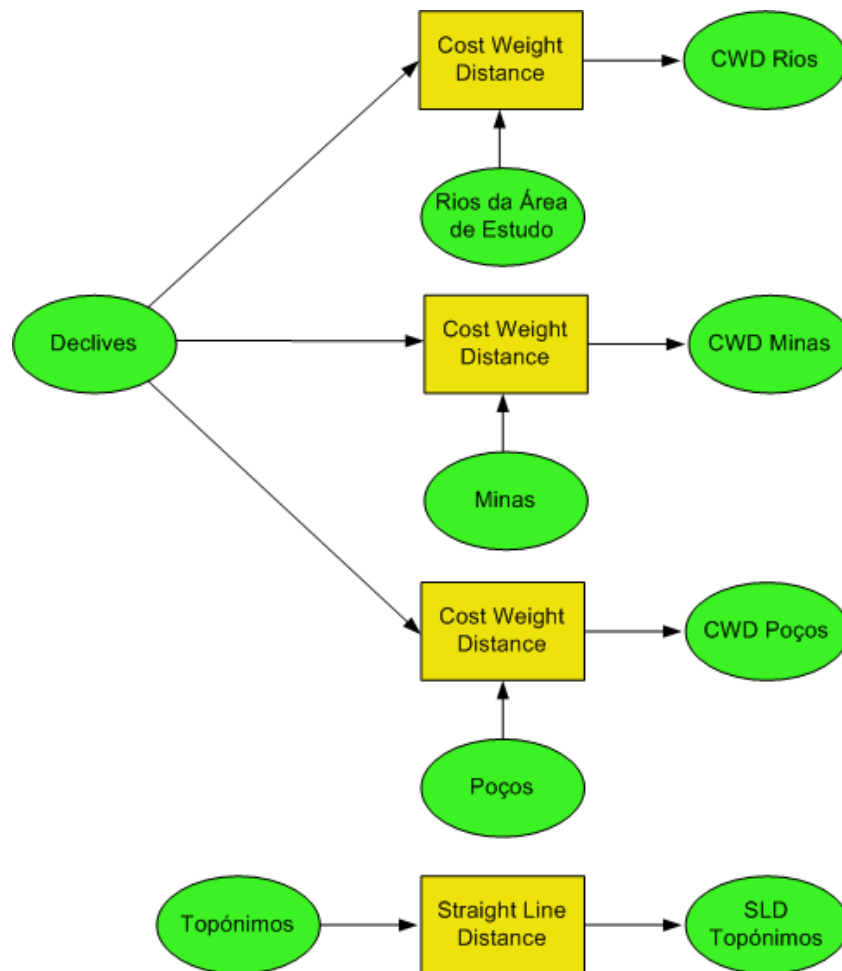


Figura 55 - Fluxograma: cálculo de distâncias

6.2.2 - Etapa 2 – Classificação das variáveis independentes

Para proceder ao tratamento estatístico das variáveis independentes e testar a sua relação com a variável dependente, efectuou-se previamente a sua classificação (Figura 56).

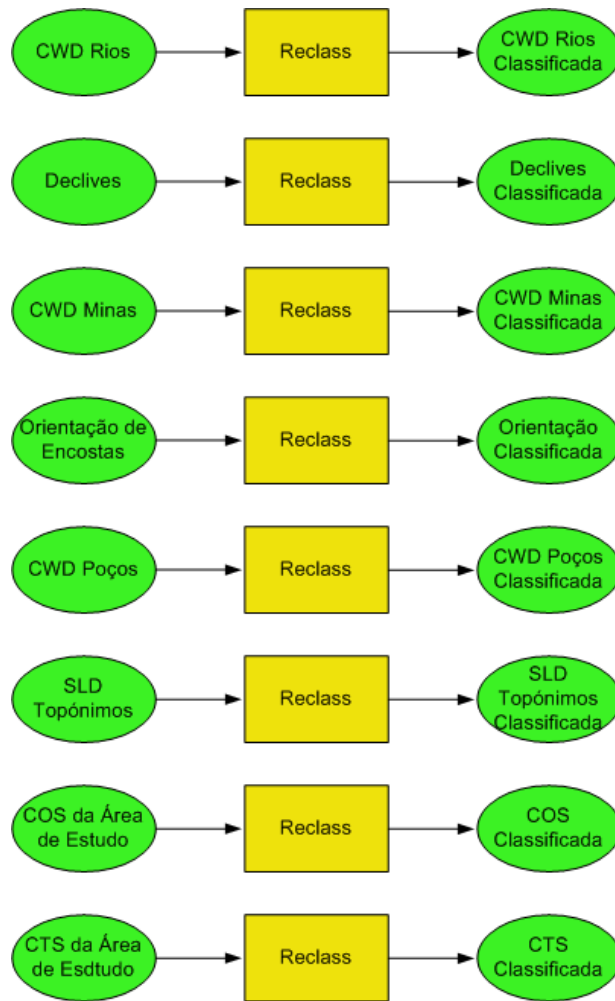


Figura 56 - Fluxograma: classificação das variáveis independentes

O processo de classificação obedeceu aos seguintes princípios:

1) com as variáveis nominais⁷⁴ (COS, CTS) foi utilizada uma classificação baseada nos grupos de valores dos dados a que se referem: a COS foi classificada em 5 classes de tipo de ocupação do solo (floresta, meios semi-naturais, áreas artificiais, superfícies com água e áreas agrícolas - Figura 57), ocorrendo situação semelhante com a CTS relativamente os tipos de solo (área social, solos argiluvitados, litossolos, aluviossolos modernos e coluviossolos - Figura 58);

⁷⁴ Variáveis nominais são aquelas cujas categorias tomam valores descritivos (SHENNAN, 1992: p. 25).

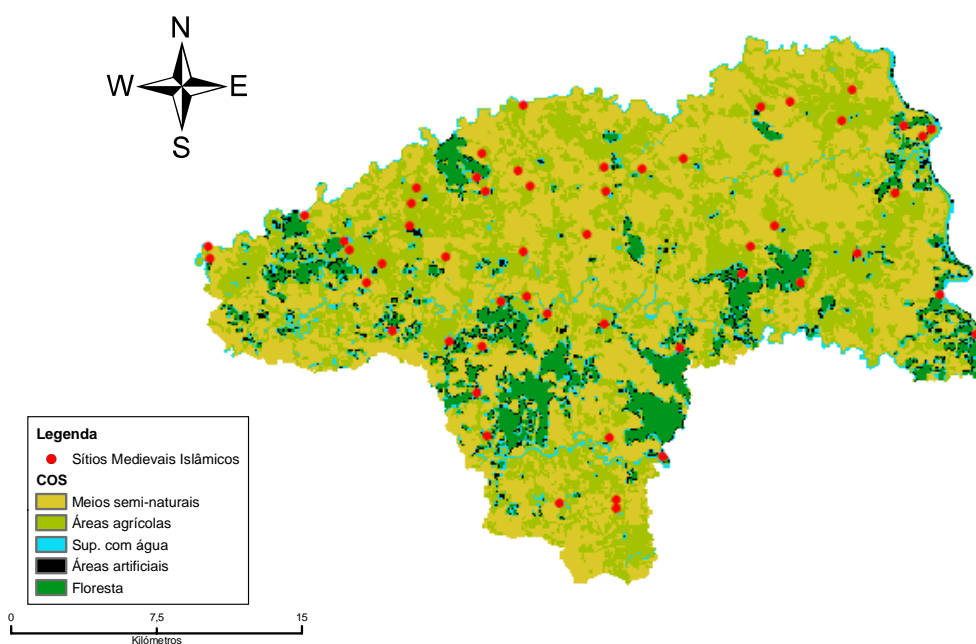


Figura 57 - Sítios medievais islâmicos sobre COS

Fonte: mapa de autor, com dados alfanuméricos de (CATARINO, 1997/98) e COS, do IGP.

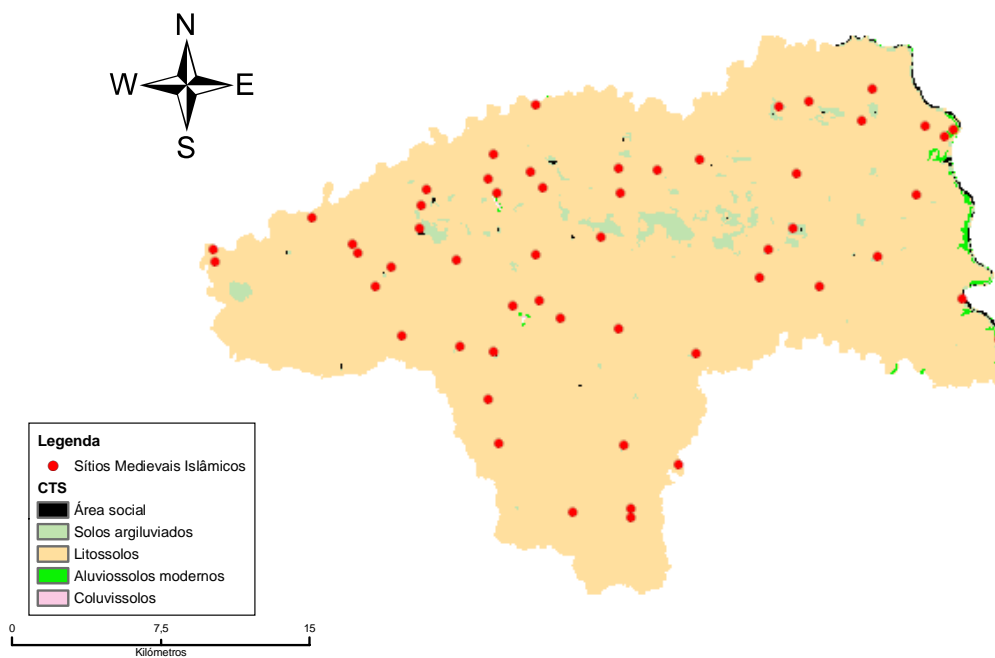


Figura 58 - Sítios medievais islâmicos sobre Carta de Tipo de Solos

Fonte: mapa de autor, com dados alfanuméricos de (CATARINO, 1997/98) e CTS, do IDRHa.

2) com as variáveis contínuas (com a exceção da orientação de encostas) foram geradas classes baseadas na distribuição estatística de cada variável⁷⁵ (Figura 59, Figura 60, Figura 61, Figura 62 e Figura 63);

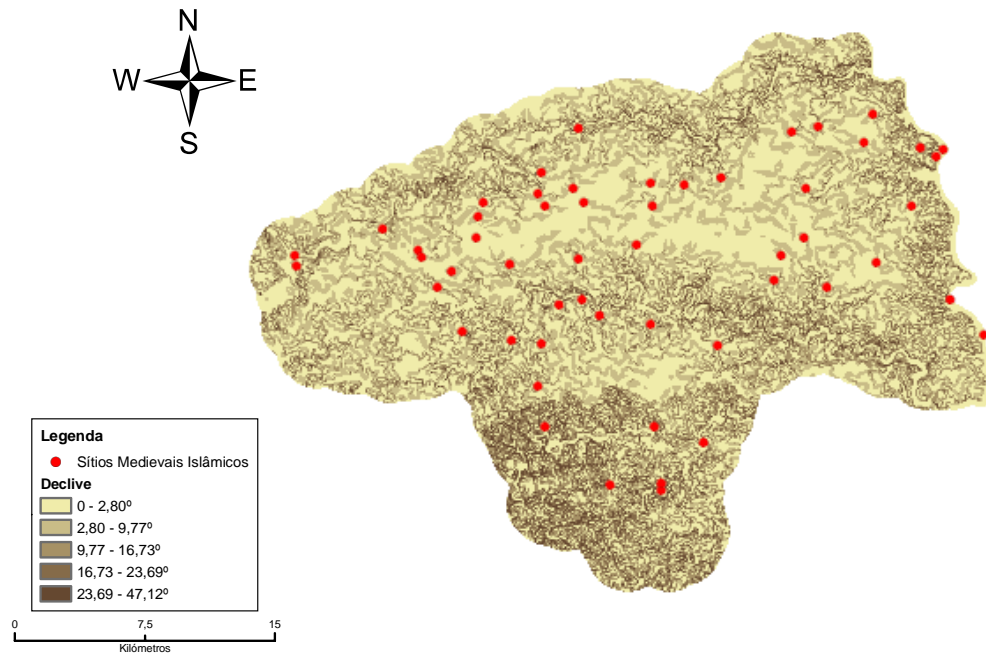


Figura 59 - Sítios medievais islâmicos sobre carta de declives

Fonte: mapa de autor, com dados alfanuméricos de (CATARINO, 1997/98) e MDT, do IGP.

⁷⁵ Para proceder a esta divisão segundo a distribuição estatística da variável foram utilizadas as funcionalidades de reclassificação *1 Std Dev* (para o declive) e *1/2 Std Dev* (para as restante variáveis contínuas), do ArcMap, que tem em consideração o desvio padrão dessa distribuição.

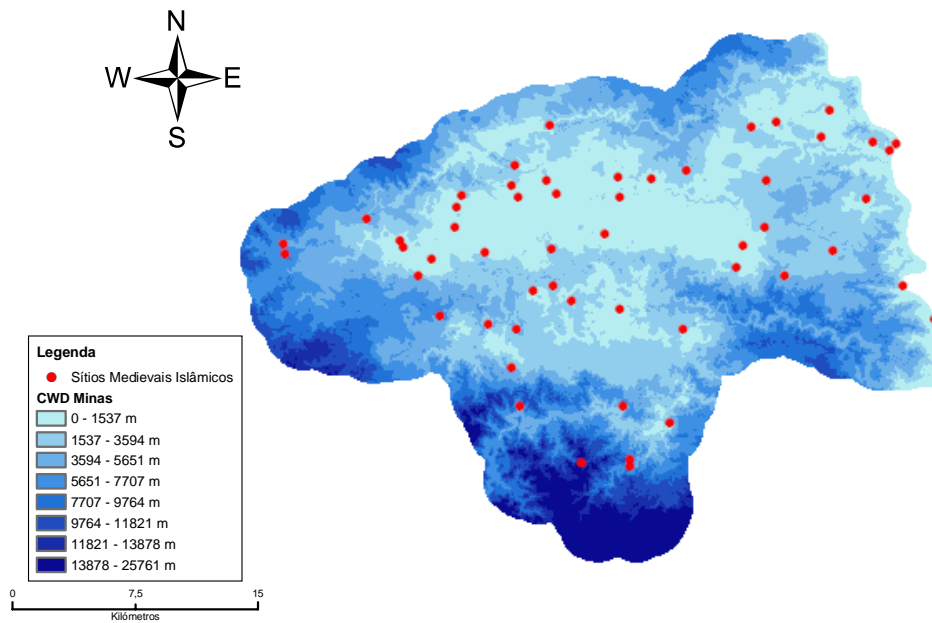


Figura 60 - Sítios medievais islâmicos sobre carta de distância a minas baseada em custos

Fonte: mapa de autor, com dados alfanuméricos de (CATARINO, 1997/98).

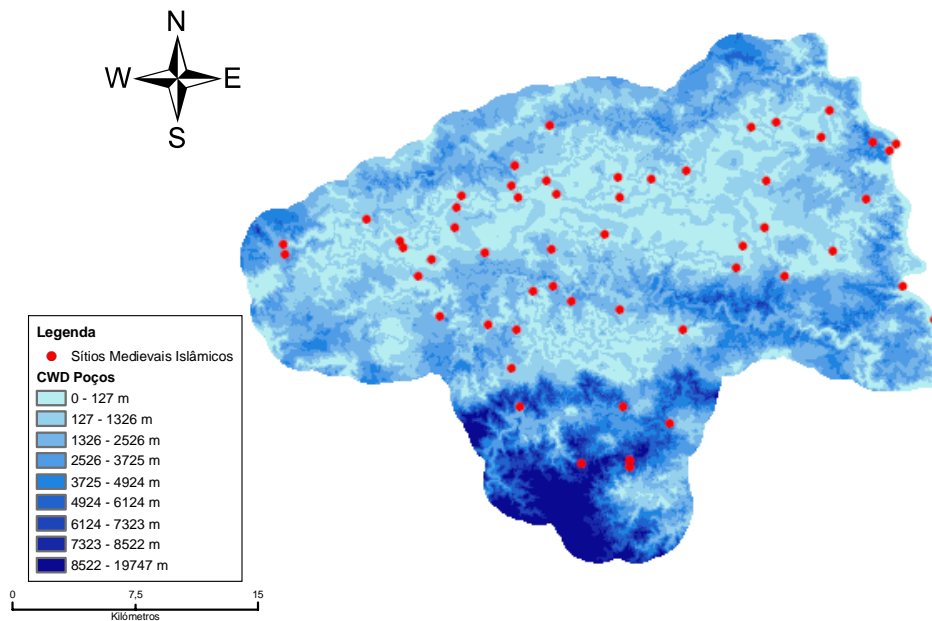


Figura 61 - Sítios medievais islâmicos sobre carta de distância a poços baseada em custos

Fonte: mapa de autor, com dados alfanuméricos de (CATARINO, 1997/98) e SCN, do IGP.

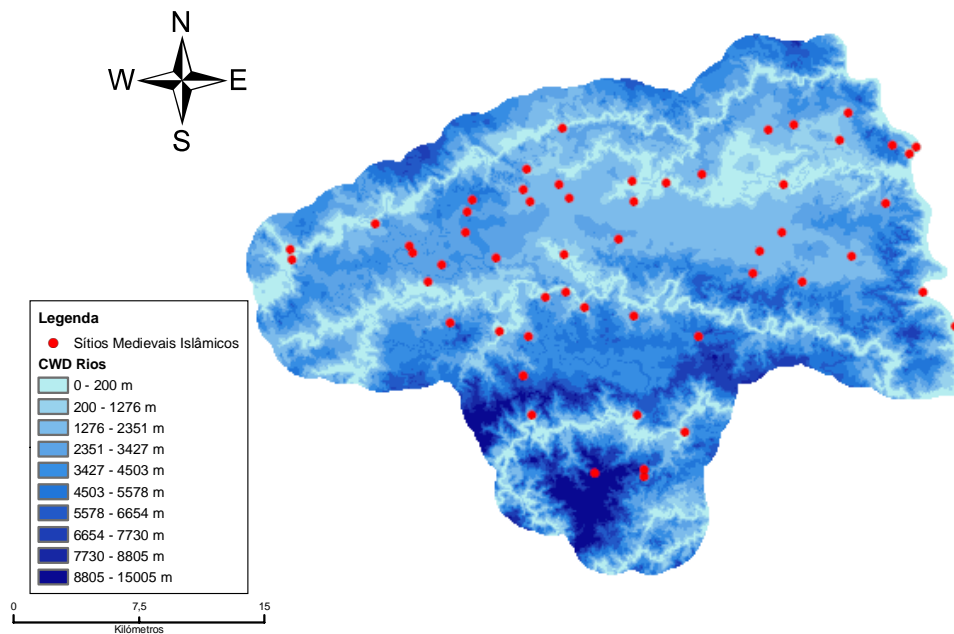


Figura 62 - Sítios medievais islâmicos sobre carta de distância a rios baseada em custos
Fonte: mapa de autor, com dados alfanuméricos de (CATARINO, 1997/98) e COS, do IGP.

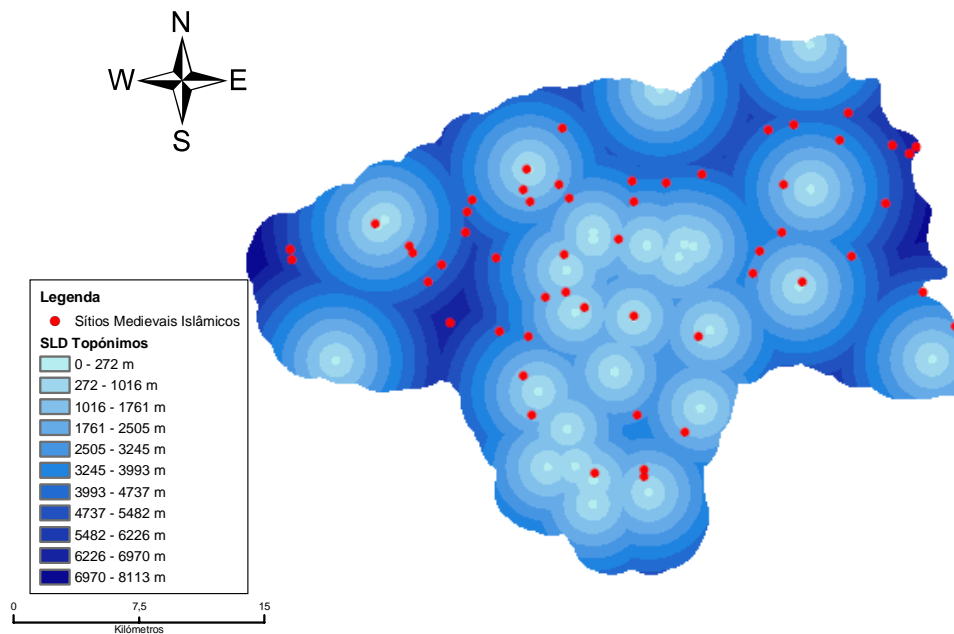


Figura 63 - Sítios medievais islâmicos sobre carta de distância em linha recta a topónimos relevantes
Fonte: mapa de autor, com dados alfanuméricos de (CATARINO, 1997/98) e SCN, do IGP.

3) com o caso particular da orientação de encostas, que se trata de uma variável contínua cíclica (0°-360°), utilizaram-se os pontos cardeais e colaterais para a sua classificação (N, NE, E, SE, S, SO, O, NO e plano - Figura 64).

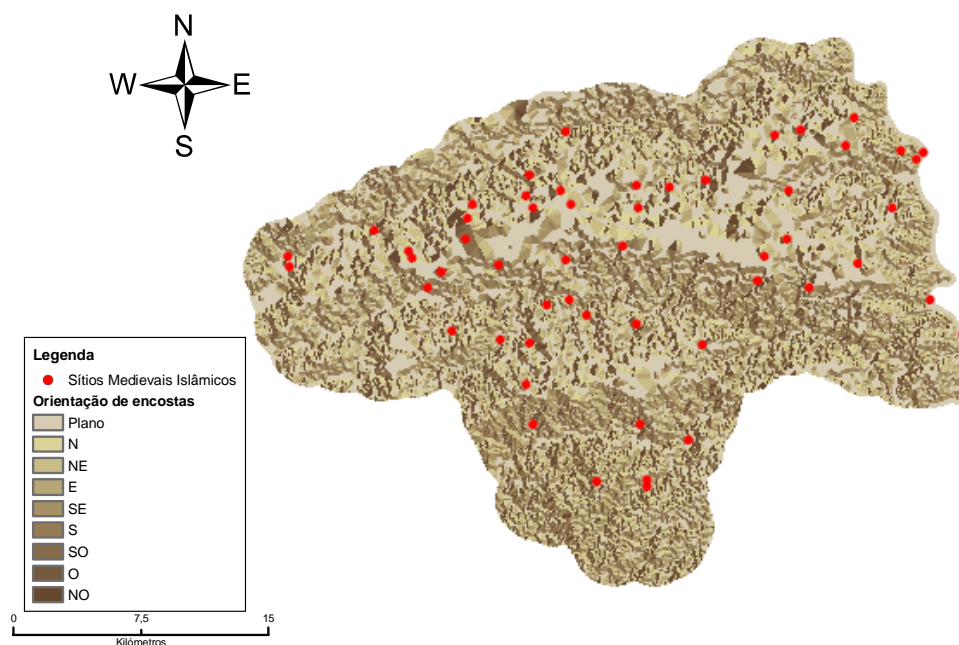


Figura 64 - Sítios medievais islâmicos sobre carta de orientação de encostas

Fonte: mapa de autor, com dados alfanuméricos de (CATARINO, 1997/98) e MDT, do IGP.

Ainda antes de proceder à análise estatística das variáveis, houve que transformar os temas vectoriais em raster, por forma a uniformizar a análise (Figura 65). Uma vez que os temas de distâncias encontravam-se já nesse formato, houve unicamente que converter os temas de COS e CTS. Com o objectivo de traduzir uma situação de análise o mais próximo possível da realidade, e ainda que nos dados disponíveis relativos a sítios arqueológicos não constasse o valor da área por eles ocupada, optou-se por criar uma área de raio 25m em redor das coordenadas do ponto central. Considerando a cronologia a que se refere esta análise (Medieval Islâmico) e o tipo de vestígios (zonas habitacionais – Alcaria, Povoado, Castelo) é de crer que a área resultante deste procedimento poderá ser considerada próximo de valores reais. Ambos os temas vectoriais com as áreas de sítios arqueológicos foram igualmente convertidos em formato raster.

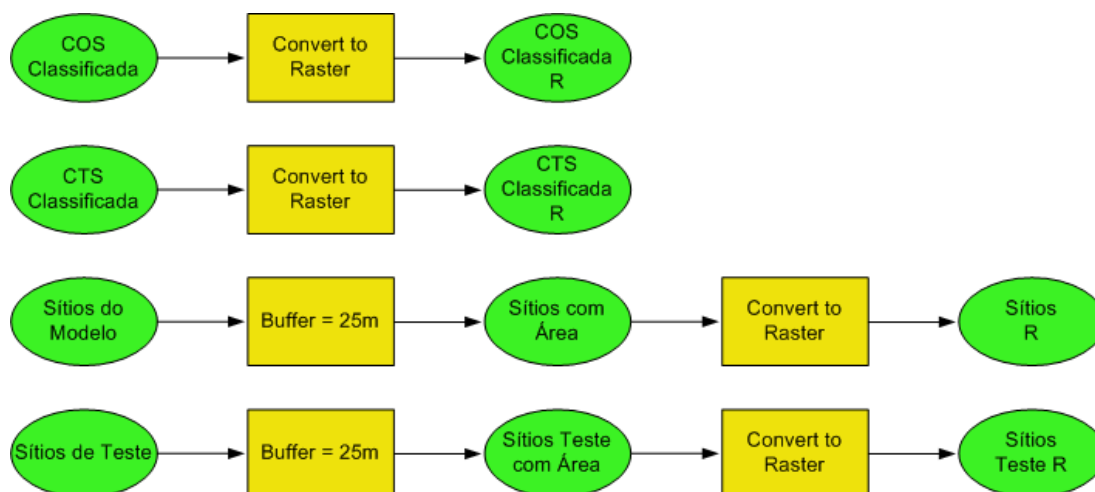


Figura 65 - Fluxograma: conversão em raster dos temas vectoriais

Finalmente procedeu-se à recolha de estatísticas⁷⁶ da relação entre cada variável independente e a variável dependente (Figura 66). A informação recolhida tratou-se do número de células do raster de sítios arqueológicos que se encontravam dentro de cada classe das variáveis independentes. Estes dados permitiram posteriormente testar a relação entre as variáveis e identificar de que forma cada classe das variáveis independentes influencia a distribuição da variável dependente.

⁷⁶ Para o efeito utilizou-se a funcionalidade *Zonal Statistics* do ArcMap.

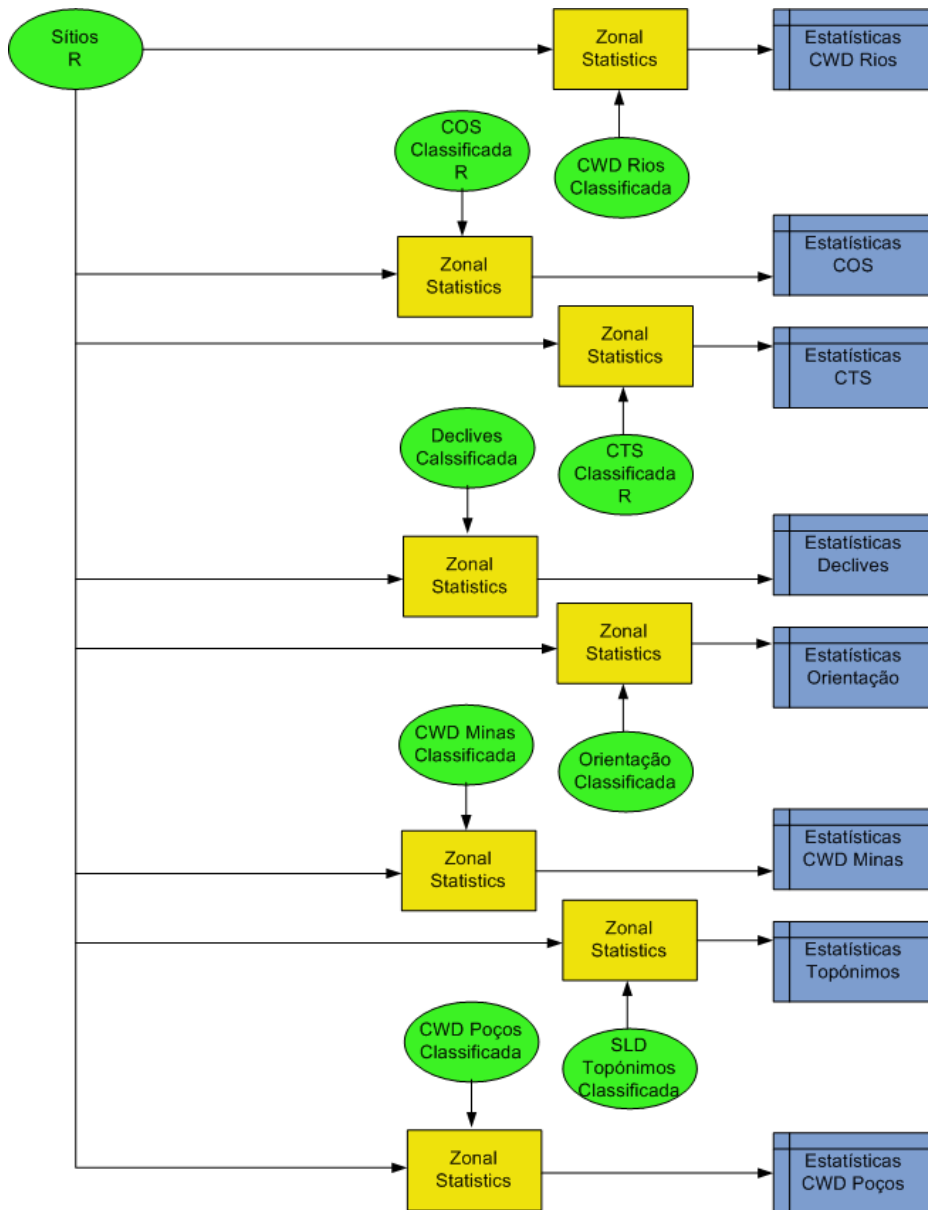


Figura 66 - Fluxograma: recolha de estatísticas

6.2.3 - Etapa 3 – Teste às variáveis independentes

O teste às variáveis independentes serve fundamentalmente para validar o pressuposto de que cada uma delas tem um relação de não-aleatoriedade com a variável dependente, ou seja, que o facto de um sítio arqueológico se encontrar num determinado tipo de solo ou a uma curta distância de um rio não é casual. Caso este teste não consiga provar essa não-

-aleatoriedade, tal significa que a relação que está a ser testada é fraca, podendo-se considerar que a variável independente não teve influência na localização de sítios arqueológicos, pelo que deve ser excluída do modelo.

No presente trabalho optou-se pela utilização de um método de provada simplicidade mas igualmente comprovada utilização em estudos semelhantes: o teste de Kolmogorov-Smirnov⁷⁷ encontra-se largamente demonstrado em contextos semelhantes ao que aqui se pretende criar (KVAMME, 1990: p.373; EBERT, 2004; WHEATLEY *et al*, 2002: p. 140-141; WHEATLEY, 1995: p. 174; MADRY *et al.*, 2006: p. 328).

O teste parte de duas hipóteses (EBERT, 2004: p. 4):

H₀ – a distribuição da variável dependente é aleatória face à variável independente com que está a ser testada (também denominada hipótese nula)

H₁ – a distribuição da variável dependente não é aleatória face à variável independente com que está a ser testada

e compara a distribuição cumulativa de cada uma das variáveis. Caso a sua semelhança – designada D_{máx} – seja inferior a um valor D_{KS}, então deve-se aceitar a hipótese H₀ e descartar a variável independente do modelo por se considerar que esta não teve influência na distribuição da variável dependente. Caso o valor D_{KS} seja excedido, rejeita-se H₀, aceitando-se como verdadeira a hipótese H₁ e inclui-se a respectiva variável independente no modelo.

Na Tabela 10 apresenta-se o resultado do teste para cada uma das variáveis testadas⁷⁸.

⁷⁷ O teste de Kolmogorov-Smirnov testa a relação entre cada variável independente e a variável dependente, calculando a maior diferença entre as distribuições percentuais acumuladas de cada uma das variáveis e validando esse valor contra um outro pré-determinado (SHENNAN, 1992: pp. 73-74). Para um nível de significância de 0,05 a fórmula para cálculo deste valor pré-determinado é (KVAMME, 1990: p. 373; EBERT, 2004: p. 4):

$$D_{KS} = 1,36 / \sqrt{n} , \text{ com } n = \text{número de indivíduos}$$

⁷⁸ Os quadros completos com os testes de cada variável apresentam-se no Anexo 2.

Variável independente	$D_{m\acute{a}x}$
Declives	0,06118
Orientação de encostas	0,16830
Distância a Rios	0,21055
Distância a Minas	0,32813
Distância a Poços	0,23804
Distância a Topónimos	0,10373
Ocupação do Solo	0,14043
Tipo de Solo	0,03171

Tabela 10 - Valores de $D_{m\acute{a}x}$ para cada variável independente

Por comparação com o valor D_{KS} , que para o caso do presente estudo é 0,11928 para um nível de significância de 0,05, deverão ser excluídas do modelo as variáveis Declives, Tipo de Solo e Distância a Topónimos por não estar provada a sua influência na localização de sítios arqueológicos. Deverão ser consideradas para a criação do modelo apenas as restantes 5 variáveis independentes por ter sido verificada a não-aleatoriedade de localização de sítios arqueológicos face à sua distribuição. É agora possível corrigir o diagrama causal provisório, restringindo-o apenas à variáveis relevantes (Figura 67).

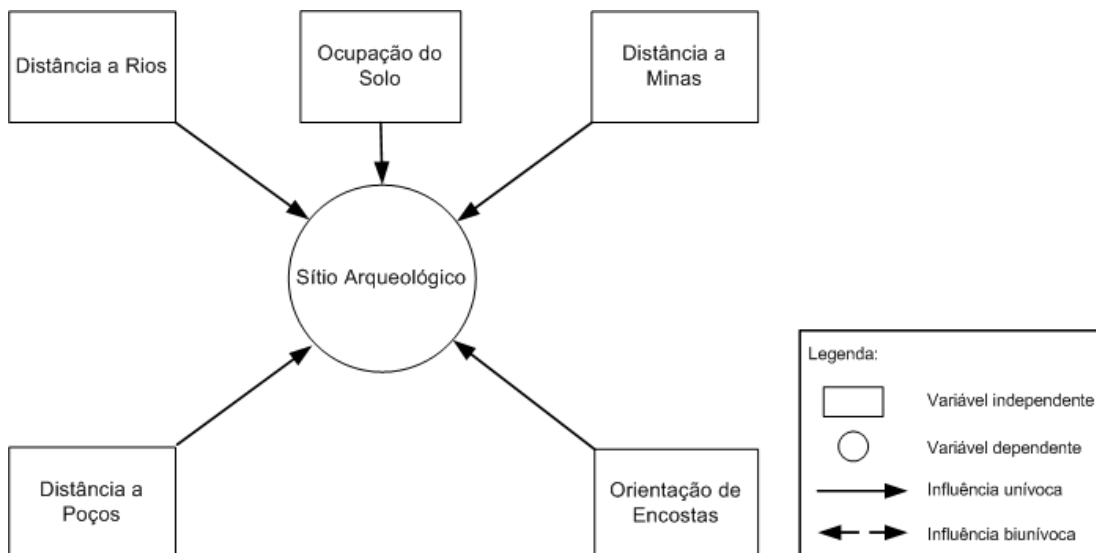


Figura 67 - Diagrama Causal do Modelo Preditivo

Com base no diagrama causal do modelo pode-se agora reescrever a Equação 1 utilizando as variáveis independentes relevantes identificadas (Equação 2).

potencial de sítios arqueológicos = f(orientação de encostas,
distância a rios,
distância a poços,
distância a minas,
tipo de ocupação de solo)

Equação 2 - Função de determinação do modelo

Como mencionado no início deste capítulo, a função utilizada neste estudo é baseada no peso das variáveis, ou seja, parte do pressuposto que cada variável teve uma influência distinta na localização dos sítios arqueológicos. Como tal, considera a distribuição estatística de cada classe de cada variável, bem como da própria variável, no cômputo final do potencial de localização de sítios arqueológicos na área de estudo. Assim, a função presente na equação anterior mais não é que um duplo somatório de pesos: o da variável como um todo e os de cada classe da variável (Equação 3).

potencial de sítios arqueológicos = $\sum \{pv(i) * \sum [pc(j)*cl(j)]\}$

Equação 3 - Equação da regra de pesos

sendo $pv(i)$ – peso da variável independente i ;

$pc(j)$ – peso da classe j da variável independente i ;

$cl(j)$ – valor da classe j da variável independente i em cada ponto da área de estudo

O peso das variáveis independentes foi determinado com base na proporcionalidade da área em que a variável determinou a existência de sítios arqueológicos (ou seja, a área das classes em que o número de sítios observados não é nulo). Os valores utilizados encontram-se indicados na Tabela 11. Relativamente aos pesos de cada classe de cada variável, na sua determinação foi utilizada a razão entre sítios observados e sítios esperados em cada classe (conforme quadros estatísticos apresentados no Anexo 2).

	Área	Peso
Orientação de encostas	1212310	0,21265
Distância a rios	1239269	0,21738
Distância a minas	1080813	0,18958
Distância a poços	1248796	0,21905
Tipo de ocupação de solo	919865	0,16135
Total	5701053	

Tabela 11 - Pesos das variáveis independentes

Desenvolvendo a Equação 3 utilizando os pesos determinados, obtém-se a fórmula final de cálculo da potencialidade de existência de sítios arqueológicos (Equação 4).

$$\begin{aligned}
 \text{potencial de sítios arqueológicos} = & 0.21738 * (1.7879 * (\text{classe 1 de dist a rios}) + \\
 & 1.8183 * (\text{classe 2 de dist a rios}) + 1.1007 * (\text{classe 3 de dist a rios}) + \\
 & 1.1148 * (\text{classe 4 de dist a rios}) + 0.3131 * (\text{classe 5 de dist a rios}) + \\
 & 0.4195 * (\text{classe 6 de dist a rios}) + 0.8264 * (\text{classe 7 de dist a rios}) + \\
 & 1.2453 * (\text{classe 10 de dist a rios})) + \\
 & 0.21265 * (1.1712 * (\text{classe 1 de orientação}) + 1.5530 * (\text{classe 2 de orientação}) + \\
 & 1.5373 * (\text{classe 3 de orientação}) + 0.5462 * (\text{classe 4 de orientação}) + \\
 & 0.3291 * (\text{classe 5 de orientação}) + 1.6935 * (\text{classe 6 de orientação}) + \\
 & 0.6445 * (\text{classe 7 de orientação}) + 0.5510 * (\text{classe 9 de orientação})) + \\
 & 0.21905 * (1.4716 * (\text{classe 1 de dist a poços}) + \\
 & 1.4916 * (\text{classe 2 de dist a poços}) + 0.5409 * (\text{classe 3 de dist a poços}) + \\
 & 0.1818 * (\text{classe 4 de dist a poços}) + 0.7478 * (\text{classe 5 de dist a poços}) + \\
 & 0.9960 * (\text{classe 6 de dist a poços}) + 1.6440 * (\text{classe 7 de dist a poços}) + \\
 & 1.1620 * (\text{classe 8 de dist a poços})) + \\
 & 0.18958 * (2.1653 * (\text{classe 1 de dist a minas}) + 1.1786 * (\text{classe 2 de dist a minas}) + \\
 & 0.4312 * (\text{classe 3 de dist a minas}) + 0.5049 * (\text{classe 4 de dist a minas}) + \\
 & 1.0072 * (\text{classe 7 de dist a minas})) + \\
 & 0.16135 * (0.7473 * (\text{classe 1 de ocup de solo}) + \\
 & 1.3818 * (\text{classe 2 de ocup de solo}) + 2.9319 * (\text{classe 3 de ocup de solo}) + \\
 & 3.6203 * (\text{classe 4 de ocup de solo}) + 0.8267 * (\text{classe 5 de ocup de solo}))
 \end{aligned}$$

Equação 4 - Cálculo da potencialidade de existência de sítios arqueológicos

6.3 – O resultado

Como todo o processo de cálculo se encontra assente sobre formatos raster com uma resolução de 25m, ao ser aplicada a fórmula encontrada na conclusão da etapa anterior, determina-se um valor específico para cada célula do modelo⁷⁹. Para cada célula da área de estudo obtém-se assim um valor que indica o maior ou menor potencial de existência de um sítio arqueológico nesse local. O mapa resultante deste cálculo encontra-se na Figura 68.

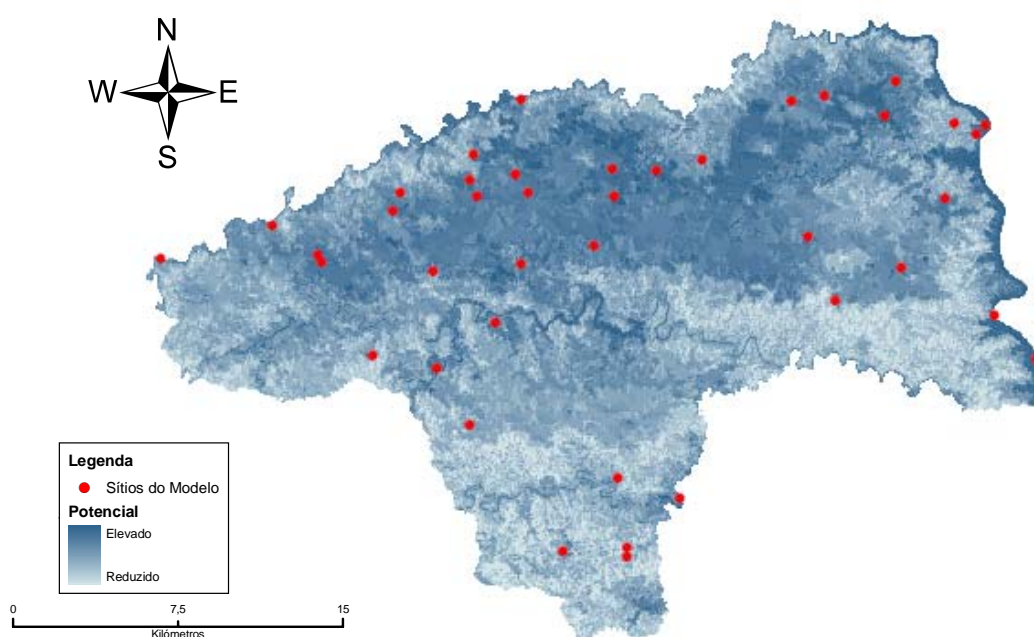


Figura 68 - Mapa de potencialidade de existência de sítios arqueológicos no concelho de Alcútem

6.3.1 - Teste ao modelo

Um modelo, qualquer que seja a realidade que ele procure representar e a forma como tenha sido construído, tem que ser testado antes de sobre ser depositado um nível de confiança suficiente que justifique e apoie a sua utilização (KVAMME, 2006: p. 26). Havendo múltiplas formas de produzir esse teste, aquela que mais segurança garante é a utilização de um subconjunto de dados reais que tenha sido produzido aleatoriamente e

⁷⁹ No caso do presente estudo a fórmula foi utilizada no *Raster Calculator* do ArcGIS.

omitido do universo utilizado na construção do modelo. Conforme anteriormente referido, no presente estudo foi inicialmente retirado um subconjunto ao universo de sítios arqueológicos utilizados que serviu, na presente etapa, para testar a capacidade de predição do modelo (Figura 69).

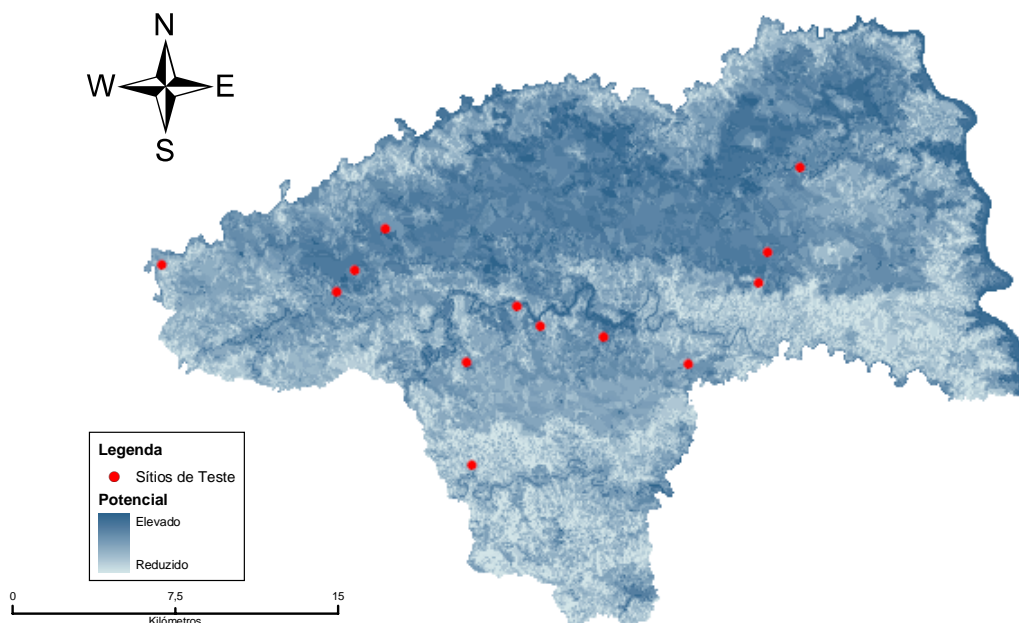


Figura 69 - Conjunto de sítios de teste sobrepostos ao resultado do modelo

Para testar o modelo, o mapa produzido foi primeiramente reclassificado em 3 áreas⁸⁰ (limitadas por 50%, 80% e 100% do potencial de existência de sítios arqueológicos) após o que se determinaram as estatísticas⁸¹ do conjunto de sítios de teste para cada uma dessas áreas (Tabela 12 e Figura 70).

% potencial	Áreas de Sítios	
0-50	15	34,88%
50-80	27	62,79%
80-100	1	2,33%
Total	43	

Tabela 12 - Resultado do teste ao modelo

⁸⁰ Para esta reclassificação foi utilizado o método *Manual* do ArcMap.

⁸¹ À semelhança da recolha de estatísticas efectuada durante a criação do modelo, foi uma vez mais utilizado a funcionalidade *Zonal Statistics* do ArcMap.

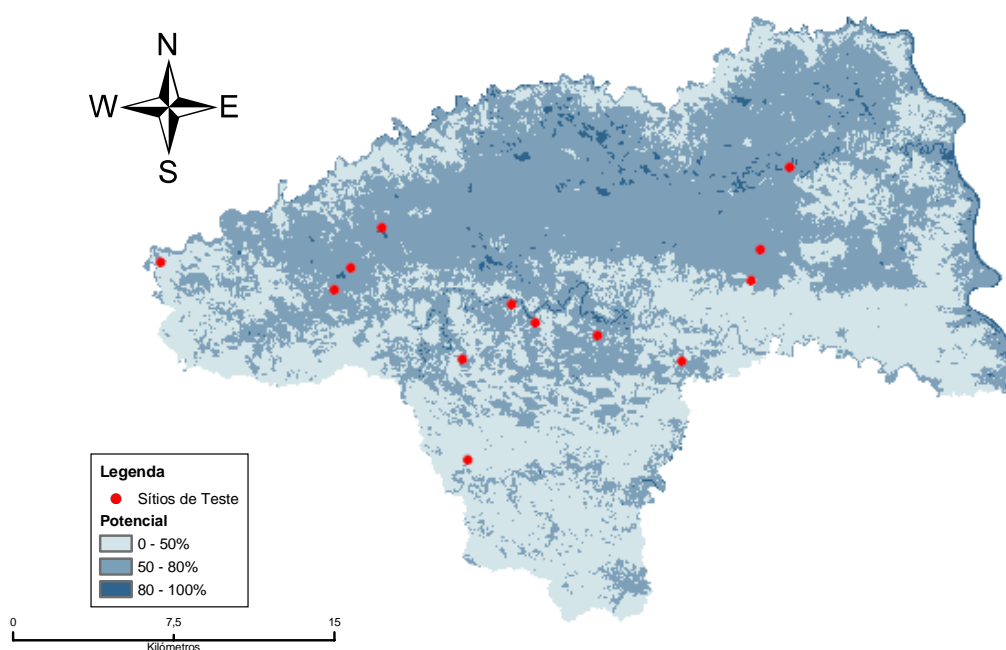


Figura 70 - Conjunto de sítios de teste sobrepostos ao resultado classificado do modelo

Se à primeira vista o resultado do teste ao modelo não parece animador, com apenas uma única célula tendo um potencial de sítio arqueológico superior a 80%, o facto é que o modelo identifica cerca de dois terços da área ocupada por sítios submetidos ao teste numa região de potencial superior a 50%.

Estes resultados podem dever-se a múltiplos factores, que se podem englobar em duas classes, nomeadamente:

- factores de ordem interpretativa:

1) a tipologia dos sítios arqueológicos, ainda que sendo de características de tipo habitacional, pode abstrair-se de realidades relativamente diferentes que podem ter influenciado o resultado do modelo. Nomeadamente, no modelo foram incluídos sítios que se podem caracterizar como povoados de área aberta (Alcarias) e castelos ou povoados fortificados (tipicamente localizados em pontos de altitude que se destacam na paisagem). Necessariamente, os critérios ambientais que definem a implantação de uns e de outros poderão considerar-se distintos;

2) ainda que todos os sítios arqueológicos incluídos no estudo sejam de cronologia medieval islâmica, é certo que a ocupação muçulmana do território em que se insere a área

de estudo corresponde a cerca de cinco séculos de história, muito provavelmente não sendo todos eles contemporâneos. O facto destes cinco séculos terem sido marcados por múltiplas formas de administração e gestão do território – os períodos emiral e califal, os reinos de taifas e os impérios almorávida e almóada (CATARINO, 1997/98: pp. 68-83) –, leva a crer que a área de estudo, localizada em zona de fronteira entre os territórios de duas importantes cidades (Beja e Faro), poderá ter sofrido influência dessas alterações administrativas. Tal poderá eventualmente repercutir-se em factores de análise impossíveis de contabilizar num modelo: a existência de uma fronteira de que as fontes históricas não dão conta poderá justificar a existência de determinados sítios de características defensivas, mais que qualquer factor ambiental representado na cartografia actual;

3) semelhante aos casos anteriores é a proximidade de recursos hídricos: não é suficiente considerar-se a existência e proximidade de rios na modelação sem atender à qualidade da sua água, sendo que esta poderá influenciar drasticamente os resultados do modelo (WESCOTT *et al.*, 2000). Assim, por exemplo, ao considerar-se o Rio Guadiana como um recurso hídrico, estamos a abstrair-nos da sua qualidade salobra, tendo em conta a forte influência de marés que sofre tão próximo da foz. Igualmente o facto de se considerarem os principais rios do concelho (ribeiras do Vascão, Foupana, Odeleite) como um todo ignora o facto de (pelo menos na actualidade) uma parte destes rios se encontrar seco ou formando pequenos pegões de águas paradas e imprópria para consumo durante uma parte considerável dos meses mais quentes do ano (CATARINO, 1997/98: p. 48). A ausência de valores da qualidade da água destes cursos de água procurou ser colmatada com a inclusão de outro tipo de recurso hídrico: uma carta de poços da região de estudo. Por outro lado, é certo que os rios podem ser considerados como outros tipos de recurso, representando uma provável via de comunicação – nesta situação encontra-se o Rio Guadiana, navegável ao longo de todo o seu trecho junto ao concelho de Alcoutim e reconhecida porta de entrada de povos nesta parte da península deste a Antiguidade – mas uma vez mais haveria que atender à capacidade de navegação de cada um dos cursos de água existentes no concelho, sendo que (na ausência de uma fonte com esta informação) apenas é possível assumir que apenas o Guadiana poderia ser incluído nesta categoria;

- factores de ordem técnica:

1) as áreas de sítios arqueológicos utilizadas no estudo podem não corresponder à realidade, tendo sido artificialmente criadas por meio de buffers de 25m em redor dos centróides da área de dispersão de vestígios de cada sítio arqueológico. No caso de existência de valores reais dessas áreas bem como da forma da mancha de dispersão, seria possível tratar os mesmos como polígonos de forma e dimensão variáveis mais próximo da realidade – caso a resolução espacial (25m) da cartografia utilizada o permitisse. No entanto, é de realçar que mesmo a área de dispersão de vestígios num sítio arqueológico não escavado possa ser considerada mais real que a área artificial produzida por um buffer de 25m, a mesma não pode ser tida como real do sítio ou povoado que assinala e que ainda se encontra oculto no subsolo. A dispersão de materiais arqueológicos que se encontra à superfície pode ser influenciada por múltiplos factores de ordem natural – efeitos de erosão ou escorrência em declives acentuados – ou sob influência humana – deslocamento para reutilização ou simples arrasto devido a actividade agrícola;

2) o número relativamente reduzido de sítios arqueológicos (54) utilizados como população do estudo poderá não ser representativo da realidade populacional do período cronológico e na região em análise. O facto deste universo, já de si limitado, ter sido dividido em sítios de modelo (41) e de teste (13) reduziu ainda mais a amostragem em estudo;

3) o estudo apresentado não inclui certamente todos os critérios que levaram à fixação de determinado agregado habitacional. Se os factores ambientais são passíveis de estar representados na cartografia utilizada, outros há de ordem social ou cultural que dificilmente serão recriáveis num modelo deste tipo, caso deles não subsista relato histórico ou evidência arqueológica que os comprove. Para além do exemplo já mencionado de uma potencial fronteira justificar certo tipo de povoado fortificado ou castelo, é de referir igualmente que estudos etno-antropológico concluíram que muita interacção do ser humano com o meio que o rodeia é efectuada nos seus trajectos entre dois pontos (EBERT, 2000: p.131). Por outras palavras, a inexistência de determinado factor considerado importante na fixação de um povoado (por exemplo, a proximidade de recursos hídricos) poderá de facto ser ultrapassada se esse mesmo factor se encontrar num trajecto regularmente feito regularmente pelos habitantes desse povoado;

4) a localização de minas no concelho de Alcoutim, apesar de utilizada no modelo dado a exploração mineira ter provavelmente justificado a densidade de

povoamento do concelho durante a cronologia em estudo (CATARINO, 1997/98: p. 263), pode ser considerada uma variável não completamente eficaz por variados motivos. Por um lado, reporta-se em alguns casos a localizações aproximadas não tendo sido a sua presença confirmada no local, o que leva a questionar a qualidade dos seus dados. Um segundo motivo prende-se com a cronologia de exploração das minas: se é certo que a intensiva exploração mineira nesta área data pelo menos do período de ocupação romana, também é um facto que não existe a certeza da cronologia de exploração da maior parte dos casos incluídos na análise (CATARINO, 1997/98: p. 264). Finalmente, esta é uma variável que se pode considerar secundária, sendo que deveria ser substituída por uma Carta Geológica da região onde figurassem os principais veios de minério explorado na região, maioritariamente cobre, atendendo aos registos de concessão de exploração dos finais do séc. XIX e inícios do séc. XX (CATARINO, 1997/98 pp. 263-302). Apesar de consultado o IGM/INETI, não foi possível obter a referida carta para o concelho de Alcoutim, dada a sua inexistência em formato digital e a uma escala que se aproximasse da restante cartografia (1:25 000 ou 1:50 000);

5) os temas de distância a recursos criados neste estudo consideraram o declive como sendo o factor de custo na distância ponderada. No entanto, apesar desta ser uma simplificação comum neste tipo de modelos aplicados à Arqueologia, ela não tem em conta o tipo de terreno ou de coberto vegetal que se atravessa no trajecto – considerando o mesmo declive, solos arenosos serão mais “custosos” de atravessar que terrenos de solo compacto, bem como zonas de arbusto de esteva cerrada (comum na generalidade do território da área de estudo) serão igualmente mais difíceis de percorrer que zonas de pastagem com mato rasteiro ou mesmo territórios atravessados por caminhos já existentes (WHEATLEY *et al.*, 2002: p. 155).

Estas considerações não devem, no entanto, ser consideradas limitativas, mas incentivadoras na continuidade do estudo agora desenvolvido. Como qualquer projecto de sistema de informação, também um modelo preditivo deve ser constituído por um conjunto de iterações que validam, refinam e consolidam o sistema que está a ser implementado. Em (DALLA BONA, 2000: pp.78-94) é descrita a criação de um modelo criativo em 3 fases: uma primeira fase de protótipo numa área de pequena dimensão; uma outra de aplicação do

modelo protótipo a uma área maior; finalizando por uma aplicação real a uma área de recursos culturais vastos, testando a correspondência entre o resultado do modelo e os sítios arqueológicos no terreno. Um modelo deverá ser visto como um processo evolutivo em que novos dados poderão ser integrados em qualquer altura para otimizar e concolidar o resultado produzido por este (DALLA BONNA, 1994).

No caso do presente modelo, a utilização de novos dados como sejam sítios arqueológicos identificados nos últimos anos; utilização de áreas de dispersão reais, identificadas com base em novos trabalhos de prospecção, para cada um dos sítios utilizados na construção do modelo; localização precisa de minas com base em prospecções direccionadas a esse objectivo não possíveis no projecto desenvolvido por (CATARINO, 1997/98: p. 264); a carta geológica do concelho; poderiam fazer parte de uma segunda iteração do seu processo de construção. De igual forma, com o intuito de proceder exaustivamente sobre todo o potencial arqueológico da área de estudo visando a gestão patrimonial do concelho, proceder ao alargamento do modelo preditivo a outras cronologias pré- e históricas poderia ser considerado uma tarfea na evolução do presente modelo.

6.4 – Resumo

Neste sexto capítulo foi abordado o tema de modelação com o desenvolvimento de um modelo preditivo de sítios de uma determinada cronologia para o concelho de Alcoutim. Após uma breve introdução ao tema em que foram apresentadas algumas considerações teóricas, mostraram-se sucintamente as diversas etapas que constituem a criação do modelo preditivo. Uma vez apresentado o resultado do modelo foram igualmente tecidas algumas considerações que podem condicionar esse resultado.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pelo carácter geográfico-espacial dos dados com que lida, a Arqueologia, à semelhança do que outras ciências ou disciplinas vêm fazendo há já algumas décadas em Portugal, só poderá beneficiar da utilização de SIG. Este benefício manifestar-se-á não apenas na vertente de investigação arqueológica, mas igualmente na administração e planeamento de território e protecção de vestígios arqueológicos no terreno.

Os exemplos que vêm do estrangeiro relativamente ao uso de SIG, na identificação de novos sítios arqueológicos, bem como numa melhor interpretação de sítios já conhecidos e escavados, são testemunho do muito que a investigação arqueológica e a gestão do território (onde contextos arqueológicos estejam inseridos) têm a ganhar com o investimento na área.

Sendo esta relação interdisciplinar uma realidade em alguns países da Europa e da América do Norte, o mesmo não se pode dizer de Portugal, onde os primeiros e ainda poucos casos de desenvolvimento de aplicações de SIG específicas para a investigação arqueológica são muito recentes. Apesar disso, os passos já dados por um número ainda reduzido de indivíduos, principalmente associados ao meio académico, são promissores. A atestar esta constatação está a participação que esses mesmos indivíduos já têm em congressos e conferências internacionais para apresentação de resultados da sua investigação.

O congresso Computer Applications and Archaeology de 2005, intitulado “CAA05 - The world is in your eyes”, foi organizado por investigadores do Instituto Politécnico de Tomar, trazendo a Portugal, à semelhança do que aconteceu em anos anteriores em diferentes pontos da Europa, um número significativo de comunicações subordinadas ao tema Sistemas de Informação Geográfica. O facto deste congresso se ter realizado no nosso país, trazendo exemplos práticos de além fronteiras, espera-se ter sido mais um impulso necessário a um melhor conhecimento da comunidade arqueológica nacional dos benefícios que os SIG têm a oferecer à investigação arqueológica.

Esta dissertação teve como pedra basilar a validação de uma hipótese de trabalho que aqui, de novo, se inclui:

os Sistemas de Informação Geográfica, nas múltiplas vertentes que os compõem, constituem um suporte adequado à análise e interpretação de dados arqueológicos e podem ser um complemento importante no conjunto de ferramentas ao dispôr do Arqueólogo.

Esta hipótese foi validada ao longo de vários capítulos, através da apresentação de diferentes componentes de um todo que se entende por Sistemas de Informação Geográfica e da forma como um investigador na área da Arqueologia pode tirar partido de cada um destes componentes. Procurou-se dividir esta dissertação em fracções estanques, mas não independentes, para mais facilmente abordar cada uma das vertentes e sobre ela tecer considerações sobre a sua utilização em projectos de investigação arqueológica. Resumem-se agora, em forma de conclusão deste trabalho (que jamais estaria concluído pelo muito mais que haveria a dizer sobre a relação entre estas duas disciplinas – SIG e Arqueologia), os pontos chave de cada uma dessas vertentes.

7.1 - Bases de Dados

A utilização de ficheiros de dados justifica-se sempre que a quantidade de informação é reduzida (por exemplo, se se trata da nomenclatura, tipologia e cronologia de sítios arqueológicos) e/ou se o sistema que está a ser implementado se resume a um SIG, sem partilha de dados com outras aplicações. Caso contrário, sempre que o universo de dados é complexo, contemplando informação alfanumérica e imagens provenientes de prospecções e escavações, e o seu modelo gere múltiplas relações entre entidades, nomeadamente sítios arqueológicos, recursos humanos, projectos, etc., justifica-se sobremaneira a utilização de um SGBD. O impacto deste software num projecto tem custos que merecem ser considerados na fase de planeamento do mesmo, mas sempre que o sistema é desenvolvido tendo em mente a funcionalidade (mais que a tecnologia), as vantagens são inúmeras e os custos iniciais serão seguramente amortizados durante o tempo de vida do mesmo.

A evolução no suporte a formatos espaciais de dados que os principais produtores de software têm vindo a incorporar nos seus produtos, seguindo normas do OGC, tem contribuído para uma cada vez maior incorporação desses dados em sistemas de informação que à partida não eram/são especificamente SIGs, assim permitindo uma maior visibilidade a estes sistemas.

No entanto, só a tecnologia não é suficiente para trazer ganhos à forma como se utilizam os dados em projectos de investigação arqueológica. A miríade de formas como os mesmos dados podem ser representados aumenta o grau de dificuldade quando há que proceder à sua comparação ou mesmo transferência entre sistemas. Se cada projecto fizer uso do seu

próprio conjunto de regras e formatos de dados, o intercâmbio de informação e consequente partilha do conhecimento científico será dificultado. Havendo uma uniformização ou standardização dessas regras, cobrindo todos os possíveis dados arqueológicos, passível de ser utilizado por qualquer projecto de Arqueologia, essa dificuldade poderá ser minimizada ou mesmo ultrapassada tornando-se por sua vez numa vantagem considerável para a disciplina.

Infelizmente, a afirmação feita já em 2000 por (NICCOLUCCI *et al.*, 2001: p. 108), que refere a utilização de sistemas de gestão dos grandes volumes de dados utilizados em investigação arqueológica ser de tal forma essencial que “nowadays even the most conservative educational institutions can no longer exclude database training from archaeologists’ curricula”, parece ainda não fazer eco em algumas intuições de ensino superior em Portugal onde o currículo académico do curso de Arqueologia ainda descarta esta componente da formação⁸².

7.2 - Cartografia

Sem dúvida uma das maiores dificuldades com que se depara um arqueólogo, tipicamente com recursos financeiros limitados, que deseje trabalhar os seus dados num SIG é o acesso a cartografia digital. Esta é limitada (relembre-se que a inexistência de uma Carta Geológica digital a uma escala adequada para o concelho de Alcoutim inviabilizou a utilização destes dados no modelo preditivo apresentado no sexto capítulo) e de custo elevado (apenas protocolos estabelecidos entre entidades produtoras ou detentoras de direitos de autorais e o ISEGI permitiram a utilização de forma gratuita de cartografia, a escalas consideradas próprias para o estudo desenvolvido, na realização deste trabalho).

Outra das limitações que encontra o arqueólogo é o facto da cartografia existente não ter sido criada com o propósito de ser utilizada em projectos de Arqueologia, mas para outras

⁸² Refira-se, a título de exemplo, que consultando os curricula de cursos de Arqueologia ou Arqueologia e História, em sites de algumas universidades portuguesas (UL, 2006; UC, 2006; UNL, 2006; UP, 2006) constatou-se que os estabelecimentos de Lisboa – no caso da Faculdade de Letras a informação sobre as disciplinas de opção não se encontrava disponível – e Porto não apresentam qualquer disciplina de Informática ou Bases de Dados na sua estrutura e o curso de Coimbra contém a disciplina semestral de Informática Aplicada à Arqueologia no 3.º ano da Licenciatura.

áreas de estudo, nem sempre com as características ideais para o seu projecto (relembre-se o facto da escala adequada a estudos de prospecções arqueológicas ter sido identificada como 1:5 000) ou não contendo dados que poderiam ser considerados vitais, como por exemplo, o caso da microtoponímia para projectos de prospecções arqueológicas.

Uma maior disponibilidade de cartografia digital, produzida em escalas adequadas à investigação arqueológica e com este tipo de utilização em mente, traria certamente benefícios à Arqueologia e conduziria a uma maior divulgação e utilização de SIG em projectos deste âmbito.

7.3 - Detecção Remota

A Detecção Remota coloca ao dispôr do arqueólogo a possibilidade de identificação de zonas com vestígios arqueológicos, sem a necessidade de intervir directamente (e intrusivamente) no solo. No entanto, a utilização destes meios de detecção não pode ser feita independentemente de prospecção no solo que possa confirmar os vestígios detectados remotamente. A Detecção Remota permite igualmente ao investigador a caracterização da área em que se insere o seu projecto.

Se a fotografia aérea contribuiu de grande modo para a identificação e conhecimento de sítios arqueológicos durante grande parte do século XX, as imagens de satélite têm vindo a ganhar importância desde a última década do século. Para tal não são alheios os reduzidos custos de aquisição de imagens de satélite comparativamente à fotografia aérea, quase sempre com um ganho na resolução espacial, temporal e radiométrica.

A utilização de diferentes níveis de resolução radiométrica e espacial e de uma grande resolução temporal, podem contribuir individualmente para o atingir de diferentes objectivos num mesmo projecto de Arqueologia.

Em Portugal, a utilização de Detecção Remota em projectos de Arqueologia ainda obedece muito às limitações referidas em (BECK, 2003: p.3) de que muitos países ainda não têm um sistema consolidado de gestão de recursos culturais, nos quais a cartografia ainda dificilmente se encontra a escalas superiores a 1:25 000 e o acesso a fotografia aérea é ainda limitado. Por esta razão, e porque a utilização de SIG em projectos de investigação arqueológica é, no nosso país, algo que está ainda a dar os primeiros passos, é pouco comum a utilização destes meios de informação em projectos de Arqueologia. Para colmatar esta

distância entre o meio arqueológico e a detecção remota seria vantajosa a cooperação entre arqueólogos e as instituições produtoras e detentoras de imagens de detecção remota, nomeadamente através da criação de protocolos com essas instituições que permitam ultrapassar a barreira financeira. Este é, de resto, o principal obstáculo encontrado por projectos de orçamento reduzido, e tais protocolos possibilitariam a utilização de imagens por parte de projectos de investigação sem fins lucrativos (MANTAS, 1990: p. 77). É igualmente importante a introdução nos currículos universitários de disciplinas que abordem estas novas ferramentas ao dispôr do arqueólogo, “impulsionando o seu ensino (...) e criando hábitos de interdisciplinaridade, de forma a que a imagem aérea deixe de ser utilizada (...) como simples ilustração do que já se conhece” (MANTAS, 1996b: p. 7).

7.4 - Modelação

“Archaeological research (...) is a theoretical labour and a subjective practice. It will never tell us how the ‘past really was’. It rather creates new pasts in the present. (...) This creation of new pasts is what makes archaeology potentially so exciting and worthwhile”. (PIA, 1994: p. 16).

A utilização de um modelo preditivo só por si, isento de pensamento interpretativo e análise crítica, pode conduzir a erros, não devendo ser considerado mais que um meio de alcançar os fins a que a investigação arqueológica se propõe. O resultado de um modelo preditivo, utilizado sem critério, poderá conduzir à não execução de estudos ou investigação mais aprofundados em zonas identificadas como de reduzida propensão à existência de sítios arqueológicos. Mais que o resultado de um modelo preditivo, é a sua interpretação segundo o eixo arqueológico que pode traduzir a utilização destes meios em informação útil para o investigador. Conforme visível na carta resultante do modelo criado no sexto capítulo, o nível baixo de potencialidade não invalida a existência de sítios arqueológicos, pelo que qualquer actividade que possa interferir com o subsolo não deverá ser menos cuidada nas medidas de prevenção e estudos de impacte a efectuar.

A criação de um modelo preditivo assenta sobre condições que poderão ser julgadas falíveis. Nomeadamente:

- a investigação centra-se sobre os factores ambientais que levaram à fixação do homem num ponto em particular da paisagem. Ignora assim que sistemas mais alargados se geram

num território, nomeadamente que o povoado ou acampamento poderá constituir apenas um componente num sistema complexo, e que a relação entre vários povoados poderão ter levado, mais que qualquer factor externo, a uma nova fixação;

- as condições características do meio no período cronológico que se pretende estudar encontram-se representadas na cartografia actual. Se para períodos cronológicos mais recentes esta premissa pode ser considerada próxima da realidade, o mesmo se torna mais questionável à medida que recuamos no tempo. Apenas a realização de estudos paleo-ambientais que possibilitem recriar em cartografia condições tão próximas quanto possível do que se registava em determinado momento do passado permitirão aceitar esta premissa como completa;

- características ambientais próximas terão tido influência preponderante na fixação do homem. Pode considerar-se que esta premissa considera apenas um dos versos da medalha ao minimizar a importância (ou ignorar por completo) qualquer interacção do ser humano com o meio efectuado no trajecto entre dois povoados, em vez de num ponto preciso do território – a localização do sítio arqueológico cuja presença procura determinar.

Igualmente a qualidade dos dados poderá influenciar determinadamente os resultados de um modelo preditivo. Sem mencionar a forma como a qualidade da localização pode ter impacto nos resultados obtidos, sendo que é um ponto por demais evidente, recordem-se os diferentes factores de ordem interpretativa apontados no final do sexto capítulo.

No entanto, atendendo às considerações anteriormente tecidas e tendo-as em mente quando da interpretação dos resultados de um modelo preditivo, este pode e deve constituir-se como mais uma ferramenta na investigação arqueológica, nomeadamente quando este atenta à integração e exploração da paisagem pelo Homem no passado. De igual forma, quando administrando e gerindo os espaços e territórios de hoje, poderá o modelo preditivo ser utilizado como ferramenta auxiliar na interpretação do potencial cultural desses mesmos territórios. Um conhecimento da propensão à existência de sítios arqueológicos poderá minimizar a realização de actividades que possam interferir de forma irremediável com vestígios existentes no subsolo ou, quando tal não é possível, recomendar uma maior atenção e cuidados na realização de estudos que antecedam essas actividades.

7.5 - Orientações Futuras

Numa entrevista de 1994, D. Harris referia que “Archaeology is, of its very nature, multidisciplinary, i.e. it draws – often unevenly – on assumptions, methods and data of longer established and/or more explicitly focused ‘disciplines’: anthropology, biology, geology, etc.” (PIA, 1995: p. 11). Os SIG são disso um exemplo. Em Portugal, se no caso das outras ciências é um ponto assente, já a utilização de SIG em projectos no âmbito da Arqueologia, tem sido um processo lento e, até ao momento, pouco representativo.

Os hábitos de interdisciplinaridade referidos em (MANTAS, 1996b: p. 7) serem desejáveis em relação à inclusão de fotografia aérea em projectos de investigação arqueológica não se limitam obviamente a este campo. De forma geral, os problemas de comunicação entre arqueólogos e técnicos de informática são frequentemente apontados como dificuldades adicionais à criação de sistemas de informação de Arqueologia. As necessidades específicas de um projecto de Arqueologia e o desconhecimento dessas especificidades por parte do técnico de informática traduzem-se frequentemente em soluções que não satisfazem o projecto. No entanto, continua a ser desejável defender a velha máxima “a César o que é de César”: se os conhecimentos adquiridos por arqueólogos no domínio das tecnologias de informação poderão facilitar a comunicação com os técnicos desse campo, não se espera que esses mesmos conhecimentos sejam suficientes para atingir os objectivos funcionais de um sistema de informação de forma optimizada e fazendo uso das ferramentas adequadas. Menos desejável é ainda a proliferação de uma miríade de pequenas soluções informáticas fazendo uso de software “da moda” que em nada contribui para a partilha de informação e para uma desejada centralização de dados. Quanto mais reutilização se fizer de uma solução mais ou menos genérica e global, sem dúvida segundo uma orientação institucional clara como já acontece ao nível da terminologia a usar (*Thesaurus*) e da formatação da informação, mais facilitada será a partilha de informação e o cruzamento de dados como veículo do melhoramento e partilha do conhecimento científico arqueológico.

Discute-se presentemente o Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT) que, embora tendo este uma perspectiva economicista do território, não deixa de realçar a necessidade de equilibrar a necessidade de conhecimento e manutenção do património cultural, sempre que o mesmo se encontre na trajectória do crescimento/desenvolvimento económico. Neste programa é reconhecida a atenção que está

demasiado centrada sobre o “monumento isolado ou em conjuntos singulares de especial interesse histórico-arquitectónico” e “os riscos especiais a que está sujeito o património arqueológico nas áreas de forte crescimento urbano e nos espaços rurais onde ocorrem operações mais pesadas de mobilização do solo” (PNPOT, 2006: p. 72), recomendando-se a continuidade do processo de inventariação do património arqueológico. Reconhece o mesmo programa que entre os grande problemas para o Ordenamento do Território se encontra a “ineficiência dos sistemas de informação, planeamento e gestão territorial” (PNPOT, 2006: p. 74) nomeadamente “nos domínios da informação geo-referenciada sobre os recursos territoriais” (PNPOT, 2006: p 76). Conclui, finalmente, o PNPOT que “o ordenamento do território deverá basear-se em mais conhecimento, investigação, divulgação monitorização e avaliação” (PNPOT, 2006: p. 121). Todo este reconhecimento da necessidade de identificação e preservação do património cultural, nomeadamente arqueológico, na administração do território nacional apresenta-se como a oportunidade de revelar a importância que os SIG podem ter no desempenho dessas tarefas e alcance dos objectivos expressos no PNPOT.

De um ponto de vista mais pessoal, este trabalho, ainda que completo do ponto de vista académico, mais não é que um primeiro passo... se dois dos três objectivos apresentados no capítulo de introdução desta dissertação foram atingidos, nomeadamente a criação de um documento base consolidando temas chave sobre a utilização de SIG em Arqueologia, que se deseja publicar, e a criação de estudo de caso utilizando dados reais de contexto arqueológico nacional, já o terceiro desses objectivos pode ser considerado como eternamente incompleto: contribuir para o aumento da divulgação da utilização de SIG em meio de investigação arqueológica não pode ser considerada uma tarefa terminada enquanto essa utilização não for considerada a regra em projectos de Arqueologia, por oposição à excepção que é hoje realidade. Assim, e tendo em mente a divulgação destes meios tecnológicos ao dispôr do arqueólogo, seria desejável proceder à continuação do estudo agora apresentado, nomeadamente aprofundando e aperfeiçoando o modelo preditivo desenvolvido no capítulo sexto, procurando preencher algumas das lacunas apontadas na conclusão desse capítulo, e transportando o protótipo de base de dados abordado no terceiro capítulo do conceptual para a aplicação real, promovendo a sua utilização no âmbito de uma empresa de Arqueologia. A divulgação deste e futuros trabalhos é desejável no meio arqueológico nacional, pelo que se pretende desenvolver um papel activo na participação de

congressos ou workshops de Arqueologia, com o intuito de divulgar a utilização de SIG em projectos de investigação arqueológica.

Como pedra de fecho deste trabalho que procurou englobar múltiplas funcionalidades e aplicações de SIG em Arqueologia, fica o desejo que os anos ou mesmo meses mais próximos vejam o proliferar de novas tendências e trabalhos interdisciplinares traduzidos na fusão destas duas disciplinas e para as quais espero poder vir a dar o meu contributo.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALARCÃO, J. (1996) – *Para uma Conciliação das Arqueologias*. Porto: Edições Afrontamento.

ALLEN, K. (2000) – “Considerations of Scale in Modeling Settlement Patterns Using GIS: An Iroquois Example”. In WESTCOTT, K. L.; BRANDON, R. J., eds., *Practical Applications of GIS for Archaeologists: A Predictive Modeling Kit*, pp. 101-112. London-Philadelphia: Taylor & Francis.

ALMEIDA, F.; MAURÍCIO, J.; SOUTO, P.; VALENTE, M. J. (1999) – “Notas Perspectivas para ao Estudo do Epipaleolítico do Interior Alentejano: notícia preliminar sobre a descoberta do sítio arqueológico da Barca do Xerez de Baixo”. In *Revista Portuguesa de Arqueologia*, vol. 2, n. 1, pp. 25-38. Lisboa: Instituto Português de Arqueologia.

ÁRBOL MORO, M. R. (2003) – “La Organización, Articulación y Tratamiento de la Documentación Arqueológica. El Sistema de Administración de la Base de Datos Relacional «Lusitania»”. In *ArqueoWeb – Revista sobre Arqueología en Internet*, 5(1), 14 pp. (<http://www.ucm.es/info/arqueoweb>, consultado em Junho de 2005).

AXMARK, D.; WIDENIUS, M. (2005) – *MySQL 5.1 Reference Manual*. (<http://dev.mysql.com/doc/>, consultado em Novembro de 2005)

BAENA, J.; BLASCO, C.; RECUERO, V. (1995) – “The Spatial Analysis of Bell Beaker Sites in the Madrid Region of Spain”. In LOCK, G.; STANCIC, Z., eds., *Archaeology and Geographical Information Systems*, pp. 101-116. London-Bristol: Taylor & Francis.

BATATA, C. (1997) – *As Origens de Tomar: Carta Arqueológica do Concelho*. Tomar: Centro de Estudos e Protecção do Património da Região de Tomar.

BECK, A (2003) – *Satellite Applications and Landscape Archaeology: A Case Study in the Homs Region of Syria* ([http://www.eurisy.asso.fr/events/lebanon/pap/Beck\(presentation\).pdf](http://www.eurisy.asso.fr/events/lebanon/pap/Beck(presentation).pdf), consultado em Abril de 2005).

BEWLEY, R.; DONOGHUE, D.; GAFFNEY, V.; VAN LEUSEN, M.; WISE, A. (1998) – *Archiving Aerial Photography and Remote Sensing Data: A Guide to Good Practice*. Arts and Humanities Data Services (<http://www.ads.ahds.ac.uk/project/goodguides/apandrs/>, consultado em Abril de 2005).

BOX, P. (2003) – “Safeguarding the Plain of Jars: megaliths and unexploded ordnance in the Lao People’s Democratic Republic”. In *Journal of GIS in Archaeology*, vol. 1, pp. 90-102 (<http://www.esri.com>, consultado em Setembro de 2004).

BUGALHÃO, J.; LUCENA, A.; BRAGANÇA, F.; NETO, F.; SOUSA, M. J.; GOMES, S. (2002) – “Endovélico – Sistema de Gestão e Informação Arqueológica”. In *Revista Portuguesa de Arqueologia*, vol. 5, n. 1, pp. 277-283. Lisboa: Instituto Português de Arqueologia.

CALADO, M. (2003) – *O Território Rural de Évora e a Gestão do Património (SIG)*. Comunicação feita no I Congresso da CAA Portugal. Tomar: não publicado.

CAMPANA, S. (2003) – “Ikonos-2 multispectral satellite imagery to the study of archaeological landscapes: An integrated multi-sensor approach in combination with “traditional” methods”. In DOERR, M., SARRIS, A., eds., *The Digital Heritage of Archaeology (CAA2002)*, pp. 219-225. Atenas: Hellenic Ministry of Culture.

CAMPBELL, J. B. (2002) – *Introduction to Remote Sensing*, 3ª edição. Londres: Taylor & Francis.

CASACA, J.; MATOS, J.; BAIO, M. (2000) – *Topografia Geral*. Lisboa: Lidel.

CATARINO, H. (1997/98) – “O Algarve Oriental Durante a Ocupação Islâmica – Povoamento Rural e Recintos Fortificados”. In *Al’-Ulyã – Revista do Arquivo Histórico Municipal de Loulé*, vols. 6, 7 e 8. Loulé: Arquivo Histórico Municipal de Loulé.

CHILDE, V. G. (1977) – *Introdução à Arqueologia*. Mem Martins: Publicações Europa-América.

CHURCH, T.; BRANDON, R. J.; BURGETT, G. R. (2000) – “GIS Applications in Archaeology: Method in Search of Theory”. In WESTCOTT, K. L.; BRANDON, R. J., eds., *Practical Applications of GIS for Archaeologists: A Predictive Modeling Kit*, pp. 135-155. London-Philadelphia: Taylor & Francis.

CRUZ, A. R.; OOSTERBECK, L.; PIZZILO, G. (2000) – “ArqSoft and GIS: an Experience in the Nabão Valley”. In JORGE, V. O., ed., *Sistemas de Informação Arqueológica: SIG's aplicados à Arqueologia da Península Ibérica. Actas do 3º Congresso de Arqueologia Peninsular*. vol. 10, pp. 97-109. Porto: ADECAP.

DALLA BONA, L. (1994) – *Cultural Heritage Resources Predictive Modeling Project. Volume 3: Methodological Considerations*. Ontario: Lakehead University. (<http://modelling.pictographics.com/method.htm>, consultado em Maio de 2006)

DALLA BONNA, L. (2000) – “Protecting Cultural Resources through Forest Management Planning in Ontario Using Archaeological Predictive Modeling”. In WESTCOTT, K. L.; BRANDON, R. J., eds., *Practical Applications of GIS for Archaeologists: A Predictive Modeling Kit*, pp. 73-100. London-Philadelphia: Taylor & Francis.

DEEGAN, A. (1999) – *A short guide to aerial photography, interpretation and mapping*. (<http://freespace.virgin.net/paul.alice/guide/fguide.html>, consultado em Janeiro de 2006)

DONOGHUE, D. (1999) – Multispectral Remote Sensing for Archaeology. In CAMPANA, S.; FORTE, M., eds., *Remote Sensing in Archaeology*, 10 pp. (<http://192.167.112.135/NewPages/GIGLIO/REMOTE/08.pdf>, consultado em Abril de 2005).

DOUGLAS, C. C. (2003) – “Environmental History at an Early Prehistoric Village: an application of cultural site analysis at Beidha, in Southern Jordan”. In *Journal of GIS in Archaeology*, vol. 1, pp. 103-115 (<http://www.esri.com>, consultado em Setembro de 2004).

DUNCAN, R. B.; BECKMAN, K. A. (2000) – “The Application of GIS Predictive Site Location Models within Pennsylvania and West Virginia”. In WESTCOTT, K. L.; BRANDON, R. J., eds., *Practical Applications of GIS for Archaeologists: A Predictive Modeling Kit*, pp. 33-58. London-Philadelphia: Taylor & Francis.

EBERT, D. (2004) – *Predictive Modeling and the Ecology of Hunter-Gatherers of the Boreal Forest of Manitoba*, BAR S1221. Oxford: Archaeopress.

EBERT, J. I. (2000) – “The State of the Art in ‘Inductive’ Predictive Modelling: Seven Big Mistakes (and Lots of Smaller Ones)”. In WESCOTT, K. L.; BRANDON, R. J., eds., *Practical Applications of GIS for Archaeologists: A Predictive Modeling Kit*, p. 129-134. London-Philadelphia: Taylor & Francis.

FERNÁNDEZ, P.; AGULLA, S.; VARGAS, E.; VEGA, S. (2000) – “Aplicaciones de los SIG al Territorio y Casco Urbano de Écija (Sevilla)”. In JORGE, V. O., ed., *Sistemas de Informação Arqueológica: SIG’s aplicados à Arqueologia da Península Ibérica. Actas do 3º Congresso de Arqueologia Peninsular*. vol. 10, pp. 15-42. Porto: ADECAP.

FIGUEIREDO, A.; VELHO, G. (2004) – “ArqSoft – Base de Dados para a Arqueologia do Alto Ribatejo”. In CRUZ, A.; OOSTERBEEK, L., eds., *Techne*, vol. 9, pp. 153-188. Tomar: Arqueojovem.

FRY, G.L.A.; SKAR, B.; JERPASEN, G.; BAKKESTUEN, V.; ERIKSTAD, L. (2004) – “Locating archaeological sites in the landscape: a hierarchical approach based on landscape indicators”. In *Landscape and Urban Planning*, vol. 67, pp. 97-107. (<http://www.b-on.com>, consultado em Janeiro de 2005).

GAMBLE, C. (2001) – *Archaeology: the Basics*. London: Routledge.

GASPAR, J. (2000) – *Cartas e Projecções Cartográficas*. Lisboa: Lidel.

GERSTER, G. (2003) – *Flug in die Vergangenheit. Archäologische Stätten der Menschheit in Flugbildern*. München: Schirmer/Mosel.

GILLINGS, M.; WISE, A. (1998) – *GIS Guide to Good Practice*. (<http://ads.ahds.ac.uk/project/goodguides/gis/>, consultado em Outubro 2004)

HARRIS, T. M. (2002) – “GIS in Archaeology”. In KNOWLES, A. K., ed., *Past Time, Past Place: GIS for History*, pp. 131-143. Redlands: ESRI Press.

HATZINIKOLAOU, E. (2006) – “Quantitative Methods in Archaeological Prediction: From Binary to Fuzzy Logic”. In MEHRER, M.; WESCOTT, K., eds., *GIS and Archaeological Site Location Modeling*, pp. 437-446. Boca Raton: CRC Press.

HEYWOOD, I.; CORNELIUS, S.; CARVER, S. (2002) – *An Introduction to Geographical Information Systems*, 2ª edição. Harlow: Pearson Education Limited.

HODDER, I.; ORTON, C. (1990) – *Análisis Espacial en Arqueología* [ed. em castelhano]. Barcelona: Editorial Crítica.

IHM, J.; LOPEZ, X. (2005) – *Oracle Spatial 10g. An Oracle White Paper*. Redwood Shores: Oracle Corporation.

INMON, W. H. (1996) – *Building the Data Warehouse*, 2ª edição. New York: John Wiley & Sons, Inc.

IPA (2004) – página do Instituto Português de Arqueologia. Lisboa: Instituto Português de Arqueologia (<http://www.ipa.min-cultura.pt>, consultada em Outubro de 2004)

ISO19115 (2003) – *ISO 19115:2003 – Geographic information: Metadata*. International Organization for Standardization (<http://www.iso.org>, consultado em Maio de 2006).

JORGE, V. O., ed. (2000) – *Sistemas de Informação Arqueológica: SIG's aplicados à Arqueologia da Península Ibérica. Actas do 3º Congresso de Arqueologia Peninsular*. vol. 10. Porto: ADECAP.

KVAMME, K. (1990) – “One-Sample Tests in Regional Archaeological Analysis: New Possibilities Through Computer Technology”. In *American Antiquity*, 55, pp. 367-381. Society for American Archeology.

KVAMME, K. (1995) – “A view from across the water: the North American experience in archaeological GIS”. In LOCK, G.; STANCIC, Z., eds., *Archaeology and Geographical Information Systems*, pp. 1-14. London-Bristol: Taylor & Francis.

KVAMME, K. (1999) – “Recent Directions and Developments in Geographical Information Systems”. In *Journal of Archaeological Research*, vol. 7, n. 2, pp. 153-201. Kluwer Academic Publishing (<http://www.b-on.com>, consultado em Junho de 2006).

KVAMME, K. (2005) – “Terrestrial Remote Sensing in Archaeology”. In MASCHNER, H.; CHIPPINDALE, C., eds., *Handbook of Archaeological Methods*, pp. 423-477. Lanham: Altamira Press.

KVAMME, K. (2006) – “There and Back Again: Revisiting Archaeological Locational Modeling”. In MEHRER, M.; WESCOTT, K., eds., *GIS and Archaeological Site Location Modeling*, pp. 3-38. Boca Raton: CRC Press.

LOCK, G. (2003) – *Using Computers in Archaeology*. London: Routledge.

- LOCK, G.; HARRIS, T. (2000) – “Introduction: Return to Ravello”. In LOCK, G., ed., *Beyond the Map: Archaeology and Spatial Technologies*, pp. xiii-xxv, NATO Science Series A vol. 321. Amsterdam: IOS Press.
- LOCK, G.; STANCIC, Z. (1995) – *Archaeology and Geographical Information Systems*. London-Bristol: Taylor & Francis.
- LONGLEY, P. A.; GOODCHILD, M. F.; MAGUIRE, D. J.; RHIND, D. W. (2001) – *Geographic Information Systems and Science*. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd.
- LOPES, M. C.; CARVALHO, P. C.; GOMES, S. M. (1997) – *A Arqueologia do Concelho de Serpa*. Serpa: Câmara Municipal de Serpa.
- MADRY, S.; COLE, M.; GOULD, S.; RESNICK, B.; SEIBEL, S.; WILKERSON, M. (2006) – “A GIS-Based Archaeological Predictive Model and Decision Support System for the North Carolina Department of Transportation”. In MEHRER, M.; WESCOTT, K., eds., *GIS and Archaeological Site Location Modeling*, pp. 317-334. Boca Raton: CRC Press.
- MANTAS, V. G. (1990) – “Teledetecção e Urbanismo Romano: o Caso de Beja”. In *Geociências*, vol. 5, fasc. 1, pp. 75-88. Aveiro: Universidade de Aveiro.
- MANTAS, V. G. (1996a) – “Arqueologia e Teledetecção”. In RAPOSO, J., ed., *Almadan*, 5, IIª série, pp. 63-69. Almada: Centro de Arqueologia de Almada.
- MANTAS, V. G. (1996b) – “Teledetecção, Cidade e Território: Pax Ivlia”. In *Arquivo de Beja*, vol. 1, série III, pp. 5-30. Beja: Câmara Municipal de Beja.
- MANTAS, V. G. (2003) – “Indícios de um Campo Romano na Cava de Viriato?”. In RAPOSO, J., ed., *Almadan*, 12, IIª série, pp. 40-42. Almada: Centro de Arqueologia de Almada.
- MARCO, D. (2000) – *Building and Managing the Meta Data Repository*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- MARQUES, T. (2001) – “Sistema de Informação do IPPAR. Acesso ao Património Cultural Digitalizado”. In *Revista Estudos Património*, n. 1, pp. 181-183. Lisboa: Instituto Português do Património Arquitectónico.

MARQUES, T. *et al.* (1995) – *Carta Arqueológica de Portugal: Faro, Olhão, Tavira, Vila Real de Sto. António, Castro Marim e Alcoutim*. Lisboa: Instituto Português do Património Arquitectónico.

MATOS, J. L. (2001) – *Fundamentos de Informação Geográfica*. Lisboa: Lidel.

MIG (2005) – *Metadados de Informação Geográfica*. Lisboa: Sistema Nacional de Informação Geográfica (http://snig.igeo.pt/metadados/MIG_WebHelp/MIG.htm, consultado em Maio de 2006).

MILLER, P. (1995) – “How to Look Good and Influence People: Thoughts on the Design and Interpretation of an Archaeological GIS”. In LOCK, G.; STANCIC, Z., eds., *Archaeology and Geographical Information Systems*, pp. 319-333. London-Bristol: Taylor & Francis.

NICCOLUCCI, F.; D’ANDREA, A.; CRESCIOLI, M. (2001) – “Archaeological Applications of Fuzzy Databases”. In STANCIC, Z.; VELJANOVSKI, T., eds., *Computing Archaeology for Understanding the Past (CAA2000)*, BAR S931, pp. 107-115. Oxford: Archaeopress.

OGC (1999) – *OpenGIS Simple Features Specification for SQL, revision 1.1*. Open GIS Consortium, Inc. (<http://www.opengeospatial.org/specs/>, consultado em Abril de 2006).

OGC (2005) – *OpenGIS Implementation Specification for Geographic Information – Simple Feature Access- Part 2: SQL Option*. Open GIS Consortium, Inc. (<http://www.opengeospatial.org/specs/>, consultado em Abril de 2006).

PEREIRA, J. P.; MARTINS, I. P. (1994a) – “Sistemas de Informação Geográfica: um instrumento para a salvaguarda do património arqueológico”. In *Actas das V Jornadas Arqueológicas*, vol. 1, pp. 9-15. Lisboa: Associação dos Arqueólogos Portugueses.

PEREIRA, J. P.; MARTINS, I. P. (1994b) – “Sistemas de Informação Geográfica: um instrumento para a investigação arqueológica”. In *Al-madan*, IIª série, 3, pp. 8-13. Almada: Centro de Arqueologia de Almada.

PIA (1994) – “Science and Archaeology: 11 questions to D. Harris and C. Tilley”. In *Papers from the Institute of Archaeology*, 5, pp. 11-18. London: University City of London (<http://www.ucl.ac.uk/archaeology/pia/prevcont/pia51994.htm>, consultado em Março de 2006).

PIMENTA, J. R. (1996) – *Geografia e Arqueologia: uma epistemologia comparada*. s.l.: Livraria Figueirinhas e J. R. Pimenta.

PNPOT (2006) – *Relatório do Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território*. Lisboa: Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional (<http://www.territorioportugal.pt>, consultado em Julho de 2006).

PÚBLICO (2006) – “O que o Governo quer mudar na Administração Central”. In *Público.pt* [versão online do Jornal Público], suplemento especial de 31 de Março de 2006 (<http://www.publico.clix.pt>, consultado em Março de 2006).

RAPOSO, L.; MARTINS, A. S.; CORREIA, V. (2000) – *Normas Gerais de Inventário de Arqueologia*. Lisboa: Instituto Português de Museus.

RENFREW, C.; BAHN, P. (1993) – *Arqueología: Teorías, Métodos y Práctica*. Madrid: Ediciones Akal, S.A.

RIBEIRO, M. C.; HENRIQUES, P. R. (2003) – *O Tratamento Normalizado do Registo Arqueológico. Uma proposta informática*. Comunicação feita no I Congresso da CAA Portugal. Tomar: não publicado.

RUA, M. H. (2004) – *Os Sistemas de Informação Geográfica na Detecção de Uillae em Meio Rural no Portugal Romano* [tese de dissertação de Doutoramento, policopiado]. Lisboa: Instituto Superior Técnico.

SCHLOEN, D. (1999) – “Database Design and the Electronic Publication of Archaeological Information”. In BARCELÓ, J. A.; BRIZ, I.; VILA, A., eds., *New Techniques for Old Times* (CAA98), BAR S757, pp. 299-302. Oxford: Archaeopress.

SHENNAN, S. (1992) – *Arqueología Cuantitativa*. Madrid: Editorial Crítica.

SILVA, A. C.; PERDIGÃO, J. (2000) – “Aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica à Minimização dos Impactes Arqueológicos. A Experiência do Alqueva”. In JORGE, V. O., ed., *Sistemas de Informação Arqueológica: SIG's aplicados à Arqueologia da Península Ibérica. Actas do 3º Congresso de Arqueologia Peninsular*. vol. 10, pp. 151-170. Porto: ADECAP.

SILVA, L. F. (2005) – *Balsa, Cidade Perdida. Tavira: Campo Arqueológico de Tavira* (<http://www.arqueotavira.com>, consultado em Janeiro de 2006)

SILVA, M. F. M. (1994) – “Carta Arqueológica do Concelho de Paredes de Coura – uma perspectiva de arqueologia espacial”. In JORGE, V. O. *Actas do 1º Congresso de Arqueologia Peninsular. Trabalhos de Antropologia e Etnologia*, vol. XXXIV, fasc. 1-2, pp. 477-494. Porto: Sociedade de Antropologia e Etnologia.

SOUSA, F. (1999) – *Introdução ao Desenho Arqueológico*. Almada: Núcleo de Arqueologia da Câmara Municipal de Almada.

STANCIC, Z.; KVAMME, K. (1999) – “Settlement Pattern Modelling through Boolean Overlays of Social and Environmental Variables”. In BARCELÓ, J. A.; BRIZ, I.; VILA, A., eds., *New Techniques for Old Times (CAA98)*, BAR S757, pp. 231-237. Oxford: Archaeopress.

SULLIVANT, R. (2003) – *Archaeologists Bring High-tech Space Tools to Earth*. (<http://www.nasa.gov/vision/earth/lookingatearth/archeologists.html>, consultado em Abril de 2005).

SULLIVANT, R. (2004) – *NASA Radar Aids High-tech Digs*. (http://www.nasa.gov/vision/earth/lookingatearth/clemente_airsar.html, consultado em Abril de 2005).

TOBLER, W. (1988) – “Resolution, Resampling, and all that”. In MOUNSEY, H.; TOMLINSON, R., eds., *Building Data Bases for Global Science*, pp. 129-137. London: Taylor& Francis.

UL (2006) – página do curso de Licenciatura em Arqueologia e História da Universidade de Lisboa. Lisboa: Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa (http://www.fl.ul.pt/licenciaturas/arqueologia_historia.htm, consultada em Julho de 2006).

UNL (2006) – página do curso de Licenciatura em Arqueologia da Universidade Nova de Lisboa. Lisboa: Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa (http://www.fesh.unl.pt/bolonha/lic_arq_plano.asp, consultada em Julho de 2006).

UP (2006) – página do curso de Licenciatura em Arqueologia da Universidade do Porto. Porto: Faculdade de Letras da Universidade do Porto (http://sigarra.up.pt/flup/cursos_geral.FormView?P_CUR_SIGLA=LARQ, consultada em Julho de 2006).

VASCONCELOS, J. L. (1897) – *Religiões da Lusitânia*, vol. 1. Lisboa: Imprensa Nacional.

VEIGA, S. P. M. E. (1880) – *Memórias da Antiguidades de Mértola*. Lisboa: Imprensa Nacional.

WARREN, R. E.; ASCH, D. L. (2000) – “A Predictive Model of Archaeological Site Location in the Easter Prairie Peninsula”. In WESTCOTT, K. L.; BRANDON, R. J., eds., *Practical Applications of GIS for Archaeologists: A Predictive Modeling Kit*, pp. 135-155. London-Philadelphia: Taylor & Francis.

WESCOTT, K. L.; KUIPER, J. A. (2000) – “Using a GIS to model prehistoric site distributions in the Upper Chesapeake Bay”. In WESCOTT, K. L.; BRANDON, R. J., eds., *Practical Applications of GIS for Archaeologists: A Predictive Modeling Kit*, p. 59-72. London-Philadelphia: Taylor & Francis.

WHEATLEY, D. (1995) – “Cumulative viewshed analysis: a GIS-based method for investigating intervisibility, and its archaeological application”. In LOCK, G.; STANCIC, Z., eds., *Archaeology and Geographical Information Systems*, pp. 171-185. London-Bristol: Taylor & Francis.

WHEATLEY, D.; GILLINGS, M. (2002) – *Spatial Technology and Archaeology: The Archaeological Applications of GIS*. London-New York: Taylor & Francis.

ANEXOS

ANEXO 1 – BIBLIOGRAFIA CONSULTADA NÃO REFERENCIADA

ARROYO-BISHOP, D. (1995) – “Organisation de l’Analyse et de l’Interpretation en Archéologie”. In VALDÉS, L.; ARENAL, I.; PUJANA, I., eds., *Aplicaciones Informáticas en Arqueología: teorías y sistemas*, 2, pp. 11-22. Bilbao: Denboraren Argia.

BAENA PREYSLER, J. (2003) – “La Arqueología Peninsular y los SIG: present y futuro”. In *ArqueoWeb – Revista sobre Arqueología en Internet*, 5(1), 15 pp. (<http://www.ucm.es/info/arqueoweb>, consultado em Junho de 2005).

BAENA, J.; BLASCO, C.; RECUERO, V. (1995) – “The spatial analysis of Bell Beaker sites in the Madrid region of Spain”. In LOCK, G.; STANCIC, Z., eds., *Archaeology and Geographical Information Systems*, pp. 101-116. London-Bristol: Taylor & Francis.

BAMPTON, M. (2002) – “Linking location and space to process using precision mapping”. In DJINDJIAN, F.; MOSCATI, P., eds., *Archeologia e Calcolatori*, 13, pp. 171-178. Firenze: All’Insegna del Giglio.

BARCELÓ, J. A.; PELFER, G.; MANDOLESI, A. (2002) – “The origins of the city. From social Theroy to archaeological description”. In DJINDJIAN, F.; MOSCATI, P., eds., *Archeologia e Calcolatori*, 13, pp. 41-63. Firenze: All’Insegna del Giglio.

BARCELÓ, J. A.; PIANA, E. L.; MARTINIONI, D. R. (2002) – “Archaeological Spatial Modelling. A case study from Beagle Channel (Argentina)”. In BURENHULT, G.; ARVIDSSON, J., eds., *Archaeological Informatics: Pushing the Envelope (CAA2001)*, BAR S1016, pp. 351-360. Oxford: Archaeopress.

BELLAVIA, G. (2002) – “Extracting ‘Natural Pathways’ from a Digital Elevation Model”. In BURENHULT, G.; ARVIDSSON, J., eds., *Archaeological Informatics: Pushing the Envelope (CAA2001)*, BAR S1016, pp. 5-12. Oxford: Archaeopress.

BERG, E. (2001) – “National Registries of Sites and Monuments in Norway – Developing GIS-based Databases”. In STANCIC, Z.; VELJANOVSKI, T., eds., *Computing Archaeology for Understanding the Past (CAA2000)*, BAR S931, pp. 133-138. Oxford: Archaeopress.

BLASCO BOSQUED, C.; RECUERO VELAYOS, V.; DAVILLA SERRANO, A.; BAENA PREYSER, J. (1995) – “Sistemas de Informacion Geografica en la Gestión del Patrimonio: definicion de las zonas de proteccion arqueologia”. In VALDÉS, L.; ARENAL, I.; PUJANA, I., eds., *Aplicaciones Informáticas en Arqueologia: teorías y sistemas*, 2, pp. 155-172. Bilbao: Denboraren Argia.

BONDIOLI, L.; VIDALE, M.; PACELLI, A. (1995) – “The Labours of Sisyphus: computer simulation of downslope movement of artefacts”. In VALDÉS, L.; ARENAL, I.; PUJANA, I., eds., *Aplicaciones Informáticas en Arqueologia: teorías y sistemas*, 1, pp. 76-90. Bilbao: Denboraren Argia.

DEFARGES, P.; HELLY, B. (1995) – “L’Archeologie, Systeme d’Information Scientifique”. In VALDÉS, L.; ARENAL, I.; PUJANA, I., eds., *Aplicaciones Informáticas en Arqueologia: teorías y sistemas*, 1, pp. 171-174. Bilbao: Denboraren Argia.

DOANE, D. P. (1976) – “Aesthetic Frequency Classifications”. In *The American Statistician*, vol. 30, n. 4, pp. 181-183. American Statistical Association. (<http://www.jstor.org>, consultado em Junho 2006).

FONSECA, A. D.; FERNANDES, J. C. (2004) – *Detecção Remota*. Lisboa: Lidel.

FORTE, M.; GUIDAZZOLI, A. (1995) – “Archaeology and Computer Image Processing: applications in the aerial photographs analysis and perspectives in the landscape navigation”. In VALDÉS, L.; ARENAL, I.; PUJANA, I., eds., *Aplicaciones Informáticas en Arqueologia: teorías y sistemas*, 1, pp. 210-230. Bilbao: Denboraren Argia.

FRONZA, V.; NARDINI, A.; SALZOTTI, F.; VALENTI, M. (2001) – “A GIS Solution for Excavations: Experience of the Siena University LIAAM”. In STANCIC, Z.; VELJANOVSKI, T., eds., *Computing Archaeology for Understanding the Past (CAA2000)*, BAR S931, pp. 173-177. Oxford: Archaeopress.

GRAU MIRA, I. (2004) – “La construcción del paisaje ibérico: aproximación SIG al territorio protohistórico de la Marina Alta”. In *Sagvntvm*, 36, p.61-75.

HOBBS, E.; JOHNSON, C.; GIBBON, G. (2005b) – “Model Development and Evaluation”. In HUDAK, G.; HOBBS, E.; BROOKS, A.; SERSLAND, C.; PHILLIPS, C., eds., *A Predictive Model of Precontact Archaeological Site Location for the State of Minnesota*, cap. 7. Minnesota Department of Transportation (<http://www.mnmodel.dot.state.mn.us>, consultado em Junho de 2006).

HOBBS, E.; NAWROCKI, T. (2005a) – “Archaeological and Environmental Variables”. In HUDAK, G.; HOBBS, E.; BROOKS, A.; SERSLAND, C.; PHILLIPS, C., eds., *A Predictive Model of Precontact Archaeological Site Location for the State of Minnesota*, cap. 6. Minnesota Department of Transportation (<http://www.mnmodel.dot.state.mn.us>, consultado em Junho de 2006).

HRITZ, C. (2006) – “The Changing Mesopotamian Landscape as Seen from Spot and Corona Images”. In MEHRER, M.; WESCOTT, K., eds., *GIS and Archaeological Site Location Modeling*, pp. 413-436. Boca Raton: CRC Press.

ISAAKS, E.; SRIVASTAVA, R. (1989) – *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford: Oxford University Press.

KAMERMANS, H. (2000) – “Land evaluation as predictive modelling: a deductive approach”. In LOCK, G., ed., *Beyond the Map: Archaeology and Spatial Technologies*, p. 124-146, NATO Science Series A vol. 321. Amsterdam: IOS Press.

KAMERMANS, H. (2006) – “Problems in Paleolithic Land Evaluation: A Cautionary Tale”. In MEHRER, M.; WESCOTT, K., eds., *GIS and Archaeological Site Location Modeling*, pp. 97-122. Boca Raton: CRC Press.

KVAMME, K. (1997) – “Archaeological Spatial Analysis Using GIS: Methods and Issues”. In GOTTARELLI, A., ed., *Sistemi e Reti Geografiche in Archeologia: GIS-Internet*, 7 pp. Firenze: All’Insegna del Giglio (<http://archeologiamedievale.unisi.it/NewPages/COLLANE/QDS421.html>, consultado em Junho de 2006).

LLOYD, C.; ATKINSON, P. (2004) – “Archaeology and geostatistics”. In *Journal of Archaeological Science*, 31, pp. 151-165. (<http://www.elsevier.com>, consultado em Junho de 2006).

MACHADO, J. A. R. (2000) – *A Emergência dos Sistemas de Informação Geográfica na Análise e Organização do Espaço*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

MAGUIRE, D. J.; GOODCHILD, M. F.; RHIND, D. W. (1991) – *Geographic Information Systems: principles and applications*. Harlow: Longman, Ltd.

MANTAS, V. G. (1986) – “Arqueologia Urbana e Fotografia Aérea: Contributo para o Estudo do Urbanismo Antigo de Santarém, Évora e Faro”. In *Trabalhos de Arqueologia*, 3, pp. 13-26. Lisboa: Instituto Português do Património Cultural.

MARTINS, M.; GIESTAL, C. D. (2000) – “O Projecto SIABRA: Um Sistema de Informação para a Arqueologia Urbana em Braga”. In JORGE, V. O., ed., *Sistemas de Informação Arqueológica: SIG's aplicados à Arqueologia da Península Ibérica. Actas do 3º Congresso de Arqueologia Peninsular*. vol. 10, pp. 43-61. Porto: ADECAP.

MASSEY JR., F. J. (1951) – “The Kolmogorov-Smirnov Test for Goodness of Fit”. In *Journal of the American Statistical Association*, vol. 46, n. 253, pp. 68-78. American Statistical Association (<http://www.jstor.org>, consultado em Junho de 2006).

MEGANCK, M.; BOURGEOIS, J.; ROOVERS, I.; LODEWIJCKX, M. (2002) – “Processing Oblique Aerial Photographs in Flanders: The Havik Project at the Ghent University. A Contribution to Archaeological Resource Management”. In DJINDJIAN, F.; MOSCATI, P., eds., *Archeologia e Calcolatori*, 13, pp.151-160. Firenze: All’Insegna del Giglio.

MEILLI, D. (1995) – “Banques de Données et Systèmes d’Information Géographiques: concept pour la coordination des inventaires archéologiques en Suisse”. In VALDÉS, L.; ARENAL, I.; PUJANA, I., eds., *Aplicaciones Informáticas en Arqueologia: teorías y sistemas*, 1, pp. 312-316. Bilbao: Denboraren Argia.

MOSCATI, P. (1995) – “Choice, Representation and Structuring of Archaeological Information: a current problem”. In VALDÉS, L.; ARENAL, I.; PUJANA, I., eds., *Aplicaciones Informáticas en Arqueologia: teorías y sistemas*, 2, pp. 72-82. Bilbao: Denboraren Argia.

ORTON, C. (1988) – *Matemáticas para Arqueólogos*. Madrid: Alianza Editorial, S.A.

ORTON, C. (2000) – *Sampling in Archaeology*. Cambridge: Cambridge University Press.

RECUERO, V.; BLASCO, M. C.; BAENA, F. J. (1995) – “Estudio Espacial del Bronce Final-Hierro I en el Bajo Manzanares Apoyado en los SIG”. In VALDÉS, L.; ARENAL, I.; PUJANA, I., eds., *Aplicaciones Informáticas en Arqueología: teorías y sistemas*, 2, pp. 430-439. Bilbao: Denboraren Argia.

RUIZ DEL ÁRBOL, M.; OREJAS, A. (2000) – “Estructura Social y Territorio en el Noroeste Peninsular: el Uso de los SIG y la Teledetección Espacial”. In JORGE, V. O., ed., *Sistemas de Informação Arqueológica: SIG's aplicados à Arqueologia da Península Ibérica. Actas do 3º Congresso de Arqueologia Peninsular*. vol. 10, pp. 111-124. Porto: ADECAP.

SÁEZ FERNÁNDEZ, P.; ORDOÑEZ AGULLA, S.; GARCÍA VARGAS, E.; GARCÍA-DILS DE LA VEGA, S. (2000) – “Aplicaciones de los SIG al Territorio y Casco Urbano de Écija (Sevilla) (Proyecto AstiGIS)”. In JORGE, V. O., ed., *Sistemas de Informação Arqueológica: SIG's aplicados à Arqueologia da Península Ibérica. Actas do 3º Congresso de Arqueologia Peninsular*. vol. 10, pp. 15-42. Porto: ADECAP.

SCHWARZ, K.; MOUNT, J. (2006) – “Integrating Spatial Statistics into Archaeological Data Modeling”. In MEHRER, M.; WESCOTT, K., eds., *GIS and Archaeological Site Location Modeling*, pp. 163-189. Boca Raton: CRC Press.

SCOTT, D. (1979) – “On Optimal and Data-Based Histograms”. In *Biometrika*, vol. 66, n. 3, pp. 605-610. Biometrika Trust (<http://www.jstor.org>, consultado em Junho de 2006).

STANCIC, Z.; VELJANOVSKI, T. (2000) – “Understanding Roman settlement patterns through multivariate statistics and predictive modelling”. In LOCK, G., ed., *Beyond the Map: Archaeology and Spatial Technologies*, p. 147-156, NATO Science Series A vol. 321. Amsterdam: IOS Press.

TOKMAKIDIS, K.; KALYVIOTI, M.; NANAKOU, P. (2004) – *Geographic Information System Applied in Archaeological Site*, 12 pp. (http://www.fig.net/pub/athens/papers/wsa3/WSA3_2_Tokmakidis_et_al.pdf, consultado em Janeiro de 2006).

TSCHAN, A. (1999) – “An Introduction to Object-Oriented GIS in Archaeology”. In BARCELÓ, J. A.; BRIZ, I.; VILA, A., eds., *New Techniques for Old Times (CAA98)*, BAR S757, pp. 303-316. Oxford: Archaeopress.

VAN LEUSEN, P. (1995) – “GIS and archaeological resource management: a European agenda”. In LOCK, G.; STANCIC, Z., eds., *Archaeology and Geographical Information Systems*, pp. 27-41. London-Bristol: Taylor & Francis.

WANSLEEBEN, M.; VERHART, L. (1995) – “GIS on different spatial levels and the Neolithization process in the south-eastern Netherlands”. In LOCK, G.; STANCIC, Z., eds., *Archaeology and Geographical Information Systems*, pp. 153-169. London-Bristol: Taylor & Francis.

WHITE, A. (2002) – *Archaeological Predictive Modeling of Site Location Through Time: An Example from the Tucson Basin, Arizona*, 172 pp. Calgary: University of Calgary (<http://www.ucalgary.ca/~amwhit/home.htm>, consultado em Junho de 2006).

WHITLEY, T. (2006) – “Predictive Modeling in a Homogenous Environment: an Example from the Charleston Naval Weapons Station, South Carolina”. In MEHRER, M.; WESCOTT, K., eds., *GIS and Archaeological Site Location Modeling*, pp. 355-391. Boca Raton: CRC Press.

WIEMER, R. (1995) – “Another way to deal with maps in archaeological GIS”. In LOCK, G.; STANCIC, Z., eds., *Archaeology and Geographical Information Systems*, pp. 301-311. London-Bristol: Taylor & Francis.

ANEXO 2 – TESTES ESTATÍSTICOS PARA CADA VARIÁVEL INDEPENDENTE

Legenda:

Área – número de células, cada uma equivalente a 625m²

%C – percentagem cumulativa

% – valor percentual da classe

Sítios – número de células de sítios arqueológicos

E – número esperado de células de sítios arqueológicos, para cada classe da variável independente, calculado como o produto entre a percentagem da área da classe e o total de sítios ($\% * \Sigma \text{sítios}$)

P – peso da classe, calculado com base na razão entre sítios observados e esperados ($\text{Sítios} / E$)

D – diferença entre as percentagens cumulativas da classe e de sítios, em valor absoluto

A2.1 – Sítios arqueológicos e declives

Declive (em graus)	Área	%C	%	Sítios	%C	E	P	D
0 - 2,80	556180	43,3%	43,3%	55	42,3%	56	0,9775	0,00972
2,80 - 9,77	372211	72,2%	29,0%	47	78,5%	38	1,2482	0,06218
9,77 - 16,73	231070	90,2%	18,0%	22	95,4%	23	0,9412	0,05160
16,73 - 23,69	95295	97,6%	7,4%	3	97,7%	10	0,3112	0,00052
23,69 - 47,12	30322	100,0%	2,4%	3	100,0%	3	0,9780	0,00000

Tabela A2. 1 - Estatísticas de sítios arqueológicos e declives

$$D_{\text{máx}} = 0,06218$$

$$D_{\text{KS}} = 0,11928$$

H_0 – a distribuição de sítios arqueológicos por declives é aleatória

H_1 – a distribuição de sítios arqueológicos por declives não é aleatória

$D_{\text{máx}} < D_{\text{KS}}$ – pelo que H_0 deverá ser aceite e a variável independente deve ser excluída do modelo

A2.2 – Sítios arqueológicos e orientação de encostas

Orientação de encostas	Área	%C	%	Sítios	%C	E	P	D
Plano	388242	30,2%	30,2%	46	35,4%	39	1,1712	0,05173
N (337,5° - 22,5°)	120940	39,6%	9,4%	19	50,0%	12	1,5530	0,10377
NE (22,5° - 67,5°)	154323	51,6%	12,0%	24	68,5%	16	1,5373	0,16830
E (67,5° - 112,5°)	108597	60,1%	8,5%	6	73,1%	11	0,5462	0,12995
SE (112,5° - 157,5°)	120138	69,4%	9,3%	4	76,2%	12	0,3291	0,06723
S (157,5° - 202,5°)	105071	77,6%	8,2%	18	90,0%	11	1,6935	0,12393
SO (202,5° - 247,5°)	107361	86,0%	8,4%	7	95,4%	11	0,6445	0,09423
O (247,5° - 292,5°)	72768	91,6%	5,7%	0	95,4%	7	0,0000	0,03761
NO (292,5° - 337,5°)	107638	100,0%	8,4%	6	100,0%	11	0,5510	0,00000

Tabela A2. 2 - Estatísticas de sítios arqueológicos e orientação de encostas

$$D_{\text{máx}} = 0,16830$$

$$D_{\text{KS}} = 0,11928$$

H_0 – a distribuição de sítios arqueológicos por orientação de encostas é aleatória

H_1 – a distribuição de sítios arqueológicos por orientação de encostas não é aleatória

$D_{\text{máx}} > D_{\text{KS}}$ – H_0 deverá ser rejeitada e H_1 aceite, devendo a variável independente ser incluída do modelo

A2.3 – Sítios arqueológicos e distância a rios

Distância a rios	Área	%C	%	Sítios	%C	E	P	D
0 - 200m	132695	10,3%	10,3%	24	18,5%	13	1,7879	0,08136
200 - 1276m	130475	20,5%	10,2%	24	36,9%	13	1,8183	0,16444
1276 - 2351m	305357	44,2%	23,8%	34	63,1%	31	1,1007	0,18836
2351 - 3427m	248277	63,6%	19,3%	28	84,6%	25	1,1148	0,21055
3427 - 4503m	221006	80,8%	17,2%	7	90,0%	22	0,3131	0,09241
4503 - 5578m	117833	89,9%	9,2%	5	93,8%	12	0,4195	0,03918
5578 - 6654m	59812	94,6%	4,7%	5	97,7%	6	0,8264	0,03110
6654 - 7730m	31549	97,0%	2,5%	0	97,7%	3	0,0000	0,00655
7730 - 8805m	14260	98,1%	1,1%	0	97,7%	1	0,0000	0,00455
8805 - 15005m	23814	100,0%	1,9%	3	100,0%	2	1,2453	0,00000

Tabela A2. 3 - Estatísticas de sítios arqueológicos e distância a rios

$$D_{\text{máx}} = 0,21055$$

$$D_{\text{KS}} = 0,11928$$

H_0 – a distribuição de sítios arqueológicos por distância a rios é aleatória

H_1 – a distribuição de sítios arqueológicos por distância a rios não é aleatória

$D_{\text{máx}} > D_{\text{KS}}$ – H_0 deverá ser rejeitada e H_1 aceite, devendo a variável independente ser incluída do modelo

A2.4 – Sítios arqueológicos e distância a minas

Distância a minas	Área	%C	%	Sítios	%C	E	P	D
0 - 1537m	310443	24,2%	24,2%	68	52,3%	31	2,1653	0,28150
1537 - 3594m	335492	50,3%	26,1%	40	83,1%	34	1,1786	0,32813
3594 - 5651m	229233	68,1%	17,8%	10	90,8%	23	0,4312	0,22667
5651 - 7707m	176200	81,8%	13,7%	9	97,7%	18	0,5049	0,15879
7707 - 9764m	97080	89,4%	7,6%	0	97,7%	10	0,0000	0,08324
9764 - 11821m	54245	93,6%	4,2%	0	97,7%	5	0,0000	0,04103
11821 - 13878m	29445	95,9%	2,3%	3	100,0%	3	1,0072	0,04120
13878 - 25761m	52940	100,0%	4,1%	0	100,0%	5	0,0000	0,00000

Tabela A2. 4 - Estatísticas de sítios arqueológicos e distância a minas

$$D_{\text{máx}} = 0,32813$$

$$D_{\text{KS}} = 0,11928$$

H_0 – a distribuição de sítios arqueológicos por distância a minas é aleatória

H_1 – a distribuição de sítios arqueológicos por distância a minas não é aleatória

$D_{\text{máx}} > D_{\text{KS}}$ – H_0 deverá ser rejeitada e H_1 aceite, devendo a variável independente ser incluída do modelo

A2.5 – Sítios arqueológicos e distância a topónimos

Distância a topónimos	Área	%C	%	Sítios	%C	E	P	D
0 - 272m	10212	0,8%	0,8%	7	5,4%	1	6,6417	0,04574
272 - 1016m	115093	9,9%	9,1%	9	12,3%	12	0,7577	0,02360
1016 - 1761m	206238	26,3%	16,4%	19	26,9%	21	0,8926	0,00602
1761 - 2505m	237661	45,2%	18,9%	14	37,7%	25	0,5708	0,07497
2505 - 3245m	216571	62,4%	17,2%	19	52,3%	22	0,8501	0,10075
3245 - 3993m	187851	77,3%	14,9%	19	66,9%	19	0,9800	0,10373
3993 - 4737m	159443	90,0%	12,7%	28	88,5%	16	1,7016	0,01492
4737 - 5482m	83735	96,6%	6,6%	4	91,5%	9	0,4629	0,05063
5482 - 6226m	42805	100,0%	3,4%	3	93,8%	4	0,6791	0,06154
6226 - 6970m	19781	101,6%	1,6%	8	100,0%	2	3,9186	0,01570
6970 - 8113m	5688	102,0%	0,5%	0	100,0%	1	0,0000	0,02022

Tabela A2. 5 - Estatísticas de sítios arqueológicos e distância a topónimos

$$D_{\text{máx}} = 0,10373$$

$$D_{\text{KS}} = 0,11928$$

H_0 – a distribuição de sítios arqueológicos por distância a topónimos é aleatória

H_1 – a distribuição de sítios arqueológicos por distância a topónimos não é aleatória

$D_{\text{máx}} < D_{\text{KS}}$ – pelo que H_0 deverá ser aceite e a variável independente deve ser excluída do modelo

A2.6 – Sítios arqueológicos e distância a poços

Distância a poços	Área	%C	%	Sítios	%C	E	P	D
0 - 127m	268689	20,9%	20,9%	40	30,8%	27	1,4716	0,09861
127 - 1326m	364501	49,3%	28,4%	55	73,1%	37	1,4916	0,23804
1326 - 2526m	292391	72,0%	22,8%	16	85,4%	30	0,5409	0,13359
2526 - 3725m	163134	84,7%	12,7%	3	87,7%	17	0,1818	0,02973
3725 - 4924m	79315	90,9%	6,2%	6	92,3%	8	0,7478	0,01416
4924 - 6124m	39701	94,0%	3,1%	4	95,4%	4	0,9960	0,01403
6124 - 7323m	24051	95,9%	1,9%	4	98,5%	2	1,6440	0,02609
7323 - 8522m	17014	97,2%	1,3%	2	100,0%	2	1,1620	0,02823
8522 - 19747m	36282	100,0%	2,8%	0	100,0%	4	0,0000	0,00000

Tabela A2. 6 - Estatísticas de sítios arqueológicos e distância a poços

$$D_{\text{máx}} = 0,23804$$

$$D_{\text{KS}} = 0,11928$$

H_0 – a distribuição de sítios arqueológicos por distância a poços é aleatória

H_1 – a distribuição de sítios arqueológicos por distância a poços não é aleatória

$D_{\text{máx}} > D_{\text{KS}}$ – H_0 deverá ser rejeitada e H_1 aceite, devendo a variável independente ser incluída do modelo

A2.7 – Sítios arqueológicos e tipos de ocupação de solo

Tipo de Ocupação de Solo	Área	%C	%	Sítios	%C	E	P	D
Meios Semi-Naturais	511279	55,6%	55,6%	54	41,5%	72	0,7473	0,14043
Áreas Agrícolas	276518	85,6%	30,1%	54	83,1%	39	1,3818	0,02566
Superfícies com Água	16894	87,5%	1,8%	7	88,5%	2	2,9319	0,00982
Áreas Artificiais	3909	87,9%	0,4%	2	90,0%	1	3,6203	0,02096
Floresta	111265	100,0%	12,1%	13	100,0%	16	0,8267	0,00000

Tabela A2. 7 - Estatísticas de sítios arqueológicos e tipos de ocupação de solo

$$D_{\text{máx}} = 0,14043$$

$$D_{\text{KS}} = 0,11928$$

H_0 – a distribuição de sítios arqueológicos por tipos de ocupação de solo é aleatória

H_1 – a distribuição de sítios arqueológicos por tipos de ocupação de solo não é aleatória

$D_{\text{máx}} > D_{\text{KS}}$ – H_0 deverá ser rejeitada e H_1 aceite, devendo a variável independente ser incluída do modelo

A2.8 – Sítios arqueológicos e tipos de solo

Tipo de Solo	Área	%C	%	Sítios	%C	E	P	D
Área Social	6191	0,7%	0,7%	5	3,8%	1	5,7163	0,03173
Solos Argiluvitados	22151	3,1%	2,4%	3	6,2%	3	0,9586	0,03074
Litossolos	888649	99,7%	96,6%	121	99,2%	126	0,9637	0,00428
Aluviossolos Modernos	2893	100,0%	0,3%	1	100,0%	0	2,4466	0,00026
Coluviossolos	243	100,0%	0,0%	0	100,0%	0	0,0000	0,00000

Tabela A2. 8 - Estatísticas de sítios arqueológicos e tipos de solo

$$D_{\text{máx}} = 0,03173$$

$$D_{\text{KS}} = 0,11928$$

H_0 – a distribuição de sítios arqueológicos por tipos de solo é aleatória

H_1 – a distribuição de sítios arqueológicos por tipos de solo não é aleatória

$D_{\text{máx}} < D_{\text{KS}}$ – pelo que H_0 deverá ser aceite e a variável independente deve ser excluída do modelo