



***MODELO DE ANÁLISE ESPACIAL EM
SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA
PARA REQUALIFICAÇÃO BIOFÍSICA DE
EXPLORAÇÕES MINEIRAS***

Nuno Ricardo Gracinhas Nunes Guiomar

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

**MODELO DE ANÁLISE ESPACIAL EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO
GEOGRÁFICA PARA REQUALIFICAÇÃO BIOFÍSICA DE
EXPLORAÇÕES MINEIRAS**

Dissertação orientada por

Professor Doutor Nuno Alexandre de Sousa Neves

Novembro de 2005

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos os colegas, professores e amigos sem os quais este trabalho não poderia ter sido finalizado, ou mesmo iniciado.

Em particular ao Professor Doutor Nuno Neves pela sua amizade, orientação e correcção deste trabalho, e preciosos ensinamentos que com ele fui adquirindo ao longo destes últimos anos.

Quero também agradecer ao Professor Doutor João Paulo Fernandes, do Departamento de Planeamento Biofísico e Paisagístico da Universidade de Évora pela sua amizade e por partilhar comigo os seus conhecimentos.

Um essencial agradecimento da minha parte vai para todos aqueles que não se relacionando directamente com o trabalho, o influenciaram positivamente, em particular aos meus grandes amigos Artur Gil, Nuno Alegria, Mamede Barreiros, Luís Fernandes e Nuno Fialho, ao Professor Doutor Alexandre Cancela d'Abreu, à Professora Doutora Isabel Ramos, ao Eng.º Carlos Ramalho e ao Eng.º João Pinho.

Por fim expresso a minha gratidão à minha namorada, Cláudia Guilherme, que conseguiu resistir aos meus momentos de mau humor e me deu o suporte emocional necessário para a conclusão da tese, e à minha Família, em especial ao meu pai, ao meu irmão, à minha avó, e muito especialmente à minha Mãe, que sempre me deram forças para continuar em frente. Sem vocês nada disto teria sido possível.

A todos,

Muito Obrigado

MODELO DE ANÁLISE ESPACIAL EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

PARA REQUALIFICAÇÃO BIOFÍSICA DE EXPLORAÇÕES MINEIRAS

RESUMO

O processo de desenvolvimento da actividade extractiva acumulou um importante passivo ambiental, que é tanto mais urgente começar a recuperar, devido aos riscos potenciais para as populações e para os ecossistemas. A solução destas situações passa pela requalificação biofísica, sendo no entanto necessário identificar os casos mais urgentes, de modo a estabelecer prioridades de intervenção.

Para tal é fundamental, em primeira instância, caracterizar e avaliar o território, para determinar os impactes no quadro de referência ecológico através de processos de Análise Espacial e Modelação Geográfica em SIG.

O que se pretende para os locais onde, durante e após o abandono, a exploração de rochas e minerais comprometeu, ou mesmo impossibilitou um imediato uso produtivo, é implantar um tipo de ocupação do espaço, que conforme o estado de maior ou menor degradação dos locais, vá preparando, promovendo e constituindo uma reconversão útil dos espaços afectados, evitando que estes sejam origem de distúrbios ecológicos graves, e de pesados danos económicos, não só pelos danos que causem, mas também pela ausência de rendimento. A definição de usos de solo potenciais e o estabelecimento de classes de uso do solo constituem um dos objectivos fundamentais da requalificação biofísica das áreas mineiras degradadas.

Por fim, pretende-se também que essa nova utilização se integre de forma harmoniosa na paisagem existente, a fim que não constitua como que um corpo estranho a tudo o resto, recorrendo a uma matriz de compatibilidade de usos.

MODELO DE ANÁLISE ESPACIAL EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA PARA REQUALIFICAÇÃO BIOFÍSICA DE EXPLORAÇÕES MINEIRAS

ABSTRACT

The development of mining activities contributed for the accumulation of environmental damages that is important to start to recover in order to avoid more potential risks for population and ecosystems. The possible solution for this problems can be reached trough the implementation of biophysical requalification processes. However it is necessary to identify the most urgent problems so there can be to establish intervention priorities.

In the first instance and so we can characterize and evaluate the field its fundamental that it will be determined the reference board of the ecological impact throught GIS Spatial Analysis and Geographic Modelling processes.

What is intended to do in the places where mining activities compromised or even impossibilitated other productive soil use, during and after exploitation, is to implement a specific use of space that, progressively prepare and promote the necessary requalification. The proposal aims to contribute for a more sustainable and useful land use and avoid further ecological and economical damages. Achieving definitions for the best soil usage and establishment a potential land use classes are the mayor goals for the requalification process of abandoned mine lands.

The new land use to be proposed for areas under requalification should be correctly integrated in the landscape, promoting a new structure for the general systems but preserving the existent values and characteristics, by using a compatible uses matrix.

PALAVRAS CHAVE

Requalificação Biofísica
Áreas Mineiras Abandonadas
Análise Espacial em SIG
Análise Integrada da Paisagem
Propagação de Contaminantes
Modelação Geográfica
Matriz de Compatibilidade de Usos do Solo

KEYWORDS

Biophysical Requalification
Abandoned Mine Land
GIS Spatial Analysis
Integrated Landscape Analysis
Contaminants Propagation
Geographic Modelling
Landuse Compatibility Matrix

ABREVIATURAS

ADC – Áreas de Deposição Comum de Resíduos
AE – Áreas de Exploração
AIA – Avaliação de Impacte Ambiental
AIEM – Área de Indústria Extractiva do Mármore
APA – Áreas de Aproveitamento Potencial
Au – Ouro
BD – Base de Dados
BRGM – *Bureau de Reserches Géologiques et Minières*
CAD – *Computer Aided Design*
CAOP – Carta Administrativa Oficial de Portugal
CCRA – Comissão de Coordenação da Região do Alentejo
CEEM – Centro de Estudo de Ecossistemas Mediterrânicos
CEG – Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa
CGM – *Computer Graphic Metafile*
CIG – Ciências da Informação Geográfica
CNIG – Centro Nacional de Informação Geográfica
COS – Carta de Ocupação do Solo
CUF – Companhia União Fabril
DGA – Direcção-Geral do Ambiente
DGOTDU – Direcção-Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano
DR – Detecção Remota
DRAOT – Direcção Regional de Ambiente e Ordenamento do Território
ECW – *Enhanced Compressed Wavelet*
EDM – Empresa de Desenvolvimento Mineiro
EIA – Estudo de Impacte Ambiental
EMAS – *Eco Management and Audit Scheme*
ESRI – *Environmental Systems Research Institute*
g/t – Gramas por Tonelada
GBD – Gestão de Bases de Dados
GEIX – Catálogo Europeu de Informação Geológica
GEOAMB – Visa o carregamento das bases de dados do GEOMIST
GEOMIST – Serviço de informação geológica e mineira sobre a Faixa Piritosa Ibérica
GIF – *Graphic Interchange Format*
GML – *Geography Markup Language*
GPS – *Global Position System*
GUI – *Graphical User Interface*
ha – Hectares

IG – Informação Geográfica
 IGeoE – Instituto Geográfico do Exército
 IGM – Instituto Geológico e Mineiro
 IGP – Instituto Geográfico Português
 ILA – *Integrated Landscape Analysis*
 INETI – Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação
 ISO – *International Organization for Standardization*
 ITGE – Instituto Tecnológico Geominero de España
 JPEG – *Join Photographic Expert Group*
 LIS – *Land Information Systems*
 LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil
 MA – *Mines d’Aljustrel*
 MAOT – Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território
 MDE – Modelos Digitais de Elevação
 MDT – Modelos Digitais de Terreno
 MGE – *Modular GIS Environment*
 Mt – Megatonelada
 NCGIA – *National Center for Geographic Information and Analysis*
 OGC – *Open GIS Consortium*
 PARP – Plano Ambiental e de Recuperação Paisagística
 PEDIP – Programa Estratégico de Modernização da Indústria Portuguesa
 POE – Plano Operacional da Economia
 PPC – Projecto de Produção de Concentrados
 PRIME – Programa de Incentivos à Modernização da Economia
 PROZOM – Plano Regional de Ordenamento da Zona dos Mármore
 SGA – Sistemas de Gestão Ambiental
 SGBD – Sistema de Gestão de Bases de Dados
 SGBDR – Sistemas de Gestão de Bases de Dados Relacionais
 SI – Sistemas de Informação
 SIG – Sistemas de Informação geográfica
 SIORMINP – Sistema de Informação sobre as Ocorrências Minerais Portuguesas
 SNIG – Sistema Nacional de Informação Geográfica
 SNPPRCN – Serviço Nacional de Parques, Reservas e Conservação da Natureza
 SQL – *Strutured Query Language*
 SROA – Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrário
 TIG – Tecnologias de Informação Geográfica
 TIN – *Triangulated Irregular Network*
 TMG – Tempo Universal
 UNOR – Unidades de Ordenamento

VCN – Valor de Conservação da Natureza

VFE – Valor de Formação de Ecótopos

VPN – Valor Potencial Natural

VR – *Virtual Reality*

WWW – *World Wide Web*

ÍNDICE DO TEXTO

Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Abstract	v
Palavras Chave	vi
Keywords.....	vi
Abreviaturas	vii
Índice de Tabelas	xiv
Índice de Figuras.....	xvi
1. Introdução	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objectivos	3
1.3 Metodologia.....	4
1.4 Enquadramento Geográfico.....	6
2. A Extracção Mineira	9
2.1 Perspectiva Histórico-Económica	9
2.2 Perspectiva Ambiental	11
2.2.1 Programa de Ordenamento da Zona dos Mármoreos	13
2.2.2 Programa de Requalificação de Áreas de Explorações abandonadas.....	15
2.2.3 Programa de Ordenamento Industrial e Melhoria do desempenho ambiental da Indústria Extractiva.....	18
3. Impactes Ambientais Gerados Pela Indústria Mineira	20
3.1 Considerações Genéricas sobre os Impactes Ambientais Gerados pela Actividade Mineira.....	22
3.1.1 Impactes Gerados antes da Exploração	23
3.1.2 Impactes Gerados durante a Exploração	23
3.1.3 Impactes decorrentes do Abandono da Exploração	26
4. As Tecnologias de Informação Geográfica.....	28
4.1 Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG)	29
4.1.1 Definições de SIG.....	29
4.1.2 Síntese da Evolução Histórica dos SIG.....	31

4.1.3 Modelos e Estruturas de Dados Gráficos.....	33
4.1.4 Modelos Digitais do Terreno.....	38
4.1.5 Algumas noções sobre Bases de Dados.....	41
4.2 Análise Espacial e Modelação Geográfica em SIG.....	42
4.2.1 Classificação Taxonómica das Operações Espaciais.....	43
4.2.1.1 Entrada de dados	44
4.2.1.2 Manipulação de Dados.....	45
4.2.1.3 Saída de Resultados	50
4.2.2 Análise Exploratória de Dados Espaciais.....	51
4.3 Tecnologia SIG Aplicada à Actividade Mineira.....	52
5. Fase Diagnóstico.....	56
5.1 Avaliação da Qualidade e Funcionalidade Ecológica da Paisagem	56
5.1.1 Modelo ILA – Análise Integrada da Paisagem	56
5.1.2 Identificação dos Principais Factores de Perturbação Associados a Explorações Mineiras	57
5.1.3 Desenvolvimento Metodológico.....	60
5.1.3.1 Determinação do Quadro de Referência Ecológico.....	61
5.1.3.2 Quadro de Afecção Actual do Solo	64
5.1.3.3 Descritores Primários de Avaliação	65
5.1.3.4 SIG e Análise Espacial	68
5.1.4 Análise dos Resultados	71
5.1.4.1 Quadro de Referência	71
5.1.4.2 Quadro de Uso Actual do Solo.....	73
5.1.4.3 Variação entre os Valores de Referência e os Valores do Quadro actual de Uso.....	75
5.1.5 Observações Finais sobre os Resultados Obtidos	77
5.2 Análise da Propagação de Contaminantes nos Solos e nas Águas Subterrâneas.....	79
5.2.1 Transporte de Poluentes em Águas Subterrâneas	81
5.2.2 Impactes na Hidrologia, Hidrogeologia e Qualidade da Água	83
5.2.3 Avaliação da Vulnerabilidade à Poluição das Águas Subterrâneas	86
5.2.3.1 Determinação dos Parâmetros DRASTIC.....	88
5.2.3.2 Determinação do Índice de Vulnerabilidade à Poluição	99
5.2.4 Modelação da Propagação de Contaminantes	101

5.2.4.1 Influência da Morfologia do Terreno no Fenómeno de Propagação – O Conceito de “Declive Funcional”	102
5.2.5 Observações Finais sobre os Resultados Obtidos	105
5.3 Delimitação Final da Área a Requalificar.....	107
6. Modelo de Análise Espacial para Obtenção das Potencialidades Territoriais das Explorações Mineiras em Estudo.....	109
6.1 Definição dos Usos do Solo Potenciais	109
6.1.1 Uso Urbanístico e/ou Industrial	111
6.1.2 Uso Recreativo, Desportivo e Educacional	111
6.1.3 Depósitos de Estéreis e Resíduos	112
6.1.4 Uso Agrícola	113
6.1.5 Uso Florestal.....	115
6.1.6 Integração Biofísica	115
6.1.7 Depósitos de Água para Abastecimento ou Afins	116
6.2 Critérios que Definem as Classes de Capacidade de Uso do Solo	116
6.3 Metodologia de Análise Espacial	118
6.3.1 Modelação Tridimensional.....	119
6.3.2 Cálculo do Risco de Erosão	121
6.3.3 Manipulação dos Dados	126
6.3.4 Saída de Resultados	128
6.4 Modelo Geral de Compatibilização de Usos do Solo	129
7. Considerações Finais.....	133
8. Referências Bibliográficas.....	136
Anexo 1 – Classificação dos Solos.....	154
Anexo 2 – Condicionantes Pedológicos.....	156
Anexo 3 – Correspondência entre os Agrupamentos Pedológicos e a Vegetação de Referência	158
Anexo 4 – Descritores Primários de Avaliação para a Vegetação de Referência.....	162
Anexo 5 – Descritores Primários de Avaliação para o Uso Actual do Solo.....	163
Anexo 6 – Hemerobia.....	165
Anexo 7 – Recursos Hídricos Subterrâneos	166
Anexo 8 – Dados Climatológicos	171
Anexo 9 – Material do Aquífero.....	174

Anexo 10 – Características dos Solos	175
Anexo 11 – Influência da Zona Vadosa	177
Anexo 12 – Factor de Erodibilidade Associado à Ocupação do Solo	178
Anexo 13 – Correspondência entre a Legenda de Uso do Solo adoptada e os Códigos da COS'90.....	180
Anexo 14 – Anexos Cartográficos.....	186

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Principais requisitos para SGDB (adaptado de FERREIRA <i>et al.</i> , 2005)	42
Tabela 2 – Parâmetros DRASTIC e factores de ponderação atribuídos (adaptado de ALLER <i>et al.</i> , 1987)	87
Tabela 3 – Índices atribuídos ao parâmetro D (adaptado de ALLER <i>et al.</i> , 1987).....	88
Tabela 4 – Índices atribuídos ao parâmetro R (adaptado de ALLER <i>et al.</i> , 1987).....	91
Tabela 5 – Índices atribuídos ao Parâmetro T (adaptado de ALLER <i>et al.</i> , 1987).....	94
Tabela 6 – Índices atribuídos ao parâmetro C (adaptado de ALLER <i>et al.</i> , 1987).....	96
Tabela 7 – Espessura na Zona de Armazenamento Permanente de Formações Fracturadas de Rochas Xistosas ou afins, incluindo Metavulcanitos	98
Tabela 8 – Importância relativa dos factores geoambientais e culturais na determinação do uso adequado do solo (modificado de ITGE, 1989)	111
Tabela 9 – Factores que influenciam as Classes de Capacidade de Uso (modificado de COPPIN e BRADSHAW, 1982)	117
Tabela 10 – Classes de capacidade de uso associadas aos usos do solo (adaptado de COPPIN e BRADSHAW, 1982)	118
Tabela A.1 – Classificação dos Solos.....	155
Tabela A.2 – Condicionantes Pedológicos	157
Tabela A.3 – Correspondência entre os agrupamentos pedológicos e biogeográficos, o tipo de coberto e a Vegetação de Referência	161
Tabela A.4 – Descritores Primários de Avaliação para a Vegetação de Referência	162
Tabela A.5 – Descritores Primários de Avaliação para o Uso Actual do Solo.....	164
Tabela A.6 – Hemerobia	165
Tabela A.7 – Recursos Hídricos Subterrâneos na Área de Estudo e Áreas Adjacentes	170
Tabela A.8.1 – Valores de temperatura medidos na Estação Climatológica de Beja no período, compreendido entre 1951-1980 (INSTITUTO DE METEOROLOGIA E GEOFÍSICA, 1991)	171
Tabela A.8.2 – Valores de humidade relativa do ar, nebulosidade, insolação, precipitação e evaporação medidos na Estação Climatológica de Beja, no período compreendido entre 1951-1980 (INSTITUTO DE METEOROLOGIA E GEOFÍSICA, 1991).....	171
Tabela A.8.3 – Valores de precipitação medidos na Estação Udométrica de Aljustrel, no período compreendido entre 1951-1980 (INSTITUTO DE METEOROLOGIA E GEOFÍSICA, 1991)	172
Tabela A.8.4 – Precipitação Máxima Anual e Médias das Temperaturas Máximas Diárias (INSTITUTO DE METEOROLOGIA E GEOFÍSICA, 1991)	172

Tabela A.8.5 – Precipitações Mensais Totais (INSTITUTO DE METEOROLOGIA E GEOFÍSICA, 1991)	173
Tabela A.9 – Parâmetro relativo ao Material do Aquífero.....	174
Tabela A.10 – Características dos Solos.....	176
Tabela A.11 – Influência da Zona Vadosa.....	177
Tabela A.12 – Factor de Erodibilidade associado ao Uso do Solo.....	179
Tabela A.13 – Correspondência entre a Legenda adoptada do Uso do Solo e a COS'90 ..	185

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Localização do Concelho de Aljustrel (Fonte: CAOP (IGP, 2005))	6
Figura 2 – Áreas de Estudo	6
Figura 3 – Exemplo de uma UNOR – UNOR 1 (Estremoz) (DRAOT ALENTEJO, 1999).....	15
Figura 4 – Mina dos Algares em Aljustrel – Uma das Áreas a Recuperar referenciada pela EXMIN (Foto: NUNO GUIOMAR, 2001)	17
Figura 5 – Aproximação a um Modelo de Ecogestão para Empresas do Sector das Pedras Naturais (MARTINS <i>et al.</i> , 1995)	18
Figura 6 – Avaliação de Impactes devido a Explorações Mineiras (modificado de COMETT, 1992).	21
Figura 7 – As TIG e a sua utilização no contexto de um Projecto SIG (JULIÃO, 2001).....	29
Figura 8 – Aplicações SIG (adaptado de GOODCHILD e KEMP, 1991)	30
Figura 9 – Diferentes resoluções de uma <i>grid</i> (CÂMARA e MONTEIRO, 2004)	34
Figura 10 – Dados analógicos vs. dados <i>raster</i> (adaptado de PUEBLA e GOULD, 1994)	35
Figura 11 – Formato vectorial (modificado de PUEBLA e GOULD, 1994)	36
Figura 12 – Modelo Vectorial vs. Modelo <i>Raster</i> (adaptado de ITAMI e RAULINGS, 1993)	37
Figura 13 – Ortofotomapa com dados Hipsométricos associados no ESRI® ArcScene™ 9.0	38
Figura 14 – Modelo tridimensional gerado pelo Surfer®	39
Figura 15 – Representação Tridimensional da Serra de S. Mamede (GUIOMAR, 2004).....	39
Figura 16 – Triangulated Irregular Network (adaptado de PUEBLA e GOULD, 1994)	40
Figura 17 – Triangulação de Delaunay e Diagrama de Voronoi.....	41
Figura 18 – Taxonomia das operações de Análise Espacial (SANTOS, 2001)	44
Figura 19 – Diagrama Conceptual referente à Análise Exploratória de Dados Espaciais (SANTOS, 2001).....	52
Figura 20 – Aspecto geral da paisagem degradada na Mina dos Algares (Foto: NUNO GUIOMAR, 2005).....	58
Figura 21 – Máquinas e equipamentos abandonados na Mina dos Algares (Foto: NUNO GUIOMAR, 2001).....	59
Figura 22 – Modelo Geral do ILA (FERNANDES, 2005a)	60
Figura 23 – Solos	61
Figura 24 – Estrutura Pedológica.....	62
Figura 25 – Biogeografia.....	63

Figura 26 – Vegetação de Referência	64
Figura 27 – Uso Actual do Solo	65
Figura 28 – Esquema de aplicação do modelo ILA (GUIOMAR, 2003)	68
Figura 29 – Modelo Geral em Sistemas de Informação Geográfica.....	69
Figura 30 – Valor de Formação de Ecótopos – Vegetação de Referência	72
Figura 31 – Valor Potencial Natural – Vegetação de Referência	72
Figura 32 – Valor de Conservação da Natureza – Vegetação de Referência.....	73
Figura 33 – Valor de Formação de Ecótopos – Uso Actual do Solo	74
Figura 34 – Valor Potencial Natural – Uso Actual do Solo	74
Figura 35 – Valor de Conservação da Natureza – Uso Actual do Solo.....	75
Figura 36 – Variação do Valor de Formação de Ecótopos	80
Figura 37 – Variação do Valor Potencial Natural.....	80
Figura 38 – Variação do Valor de Conservação da Natureza	80
Figura 39 – Resultados da Aplicação do Modelo ILA.....	80
Figura 40 – Sistemas Aquíferos do Alentejo (CCDRA, 2003)	80
Figura 41 – Aspecto da Contaminação das Águas na Mina dos Algaes em Aljustrel (Foto: NUNO GUIOMAR, 2001)	84
Figura 42 – Aspecto da Contaminação das Águas na Mina de S. Domingos em Mértola (Foto: NUNO GUIOMAR, 2005).....	85
Figura 43 – Profundidade do Topo do Aquífero.....	89
Figura 44 – Grandes Unidades Hidrogeológicas (Fonte: SNIRH/INAG, 2005)	90
Figura 45 – Capacidade de Recarga do Aquífero	91
Figura 46 – Material do Aquífero.....	92
Figura 47 – Parâmetro referente ao Tipo de Solo	93
Figura 48 – Fluxograma de Análise Espacial para Cálculo dos Declives.....	94
Figura 49 – Carta de Declives.....	94
Figura 50 – Influência da Zona Vadosa (Fonte: Carta Litológica do Atlas do Ambiente – DGA, 1998)	95
Figura 51 – Valores de Transmissividade.....	96
Figura 52 – Formações Geológicas (Fonte: Carta Litológica do Atlas do Ambiente – DGA, 1998).....	97
Figura 53 – Litologia (Fonte: Carta Litológica do Atlas do Ambiente – DGA, 1998)	98
Figura 54 – Condutividade Hidráulica	99

Figura 55 – Cálculo do Índice DRASTIC (modificado de FRANCÈS e PARALTA, 2001)	100
Figura 56 – Índice de Vulnerabilidade dos Aquíferos	100
Figura 57 – Fórmulas de cálculo do custo das ligações verticais, horizontais e diagonais pela extensão <i>Cost distance</i> (adaptado de DEMERS, 2002).....	101
Figura 58 – Início do Processo de Cálculo do Custo de Atravessamento pela Extensão <i>Cost distance</i> (adaptado de DEMERS, 2002)	102
Figura 59 – Fluxograma de Análise Espacial para Cálculo das Orientações de Encosta....	103
Figura 60 – Orientações de Encosta.....	103
Figura 61 – Declive Funcional.....	104
Figura 62 – Fluxograma de Análise Espacial para Obtenção da Superfície de Propagação	104
Figura 63 – Fontes de Poluição	105
Figura 64 – Superfície de Propagação de Contaminantes a partir da Barragem de Água-forte a Oeste de Aljustrel.....	106
Figura 65 – Superfície de Propagação de Contaminantes a partir das Massas de Água Contaminadas de Algaes e Feitais	107
Figura 66 – Áreas a Requalificar.....	108
Figura 67 – Esquema da estratégia a seguir na requalificação de áreas afectadas por explorações mineiras (adaptado de ITGE, 1989)	110
Figura 68 – Declives máximos para diferentes usos dos terrenos (adaptado de COPPIN e BRADSHAW, 1982)	113
Figura 69 – Hipsometria.....	120
Figura 70 – Declives.....	121
Figura 71 – Isoerodentes	122
Figura 72 – Erodibilidade do Solo	124
Figura 73 – Factor Fisiográfico	124
Figura 74 – Erodibilidade associada ao Coberto Vegetal.....	125
Figura 75 – Risco de Erosão.....	126
Figura 76 – Modelo cartográfico relativo à elaboração da Carta de Síntese Preliminar de Ordenamento	128
Figura 77 – Aspecto geral da Carta de Síntese Preliminar de Ordenamento após a realização das análises	129
Figura 78 – Matriz de compatibilidade de usos do solo (adaptado de ITGE, 1989).....	130
Figura 79 – Vértices codificados e duplicados na fronteira entre dois polígonos adjacentes	131

Figura 80 – Vértices codificados e duplicados na fronteira entre dois polígonos adjacentes132

Figura 81 – Carta de Ordenamento e Intervenções Territoriais Prioritárias 132

1. INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO

O Homem assume-se como um consumidor espacial, extremamente exigente, exercendo uma influência significativa nos ciclos de matéria e energia no ambiente, alterando toda a dinâmica espacial, por vezes de forma drástica, para satisfazer necessidades, que para ele são fundamentais.

Esta capacidade, se por um lado confere a possibilidade de alterar a dinâmica espacial através da aceleração no uso de recursos, por outro permite igualmente a minimização, mitigação, ou mesmo abolição dos impactes ambientais, com o objectivo de satisfazer-se as necessidades das gerações presentes sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades, conceito este proposto pela comissão Brundtland (WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT, 1987).

De facto, a componente material do desenvolvimento é consumidora de recursos naturais, os quais, sendo finitos, colocam questões relativas à sua disponibilidade e distribuição, que se vão reflectir, em última análise, na sustentabilidade dos modelos de desenvolvimento que se adoptam. (COSTA, 1999a)

Portugal tem uma grande tradição na actividade extractiva, bem evidenciada pela existência de inúmeras explorações abandonadas. Não obstante o seu importante contributo para o desenvolvimento económico-social de regiões particularmente desfavorecidas, deixaram profundas marcas no ambiente natural das regiões afectadas. Em resultado da dispersão territorial da sua actividade, vem suscitando uma atenção crescente sobre o seu impacto ambiental, não tanto pelos seus efeitos danosos, mas pela particular visibilidade das suas operações, particularmente quando se situam próximo de aglomerados urbanos ou quando atingem grande dimensão ou apreciável concentração de unidades de exploração.

Com efeito, é hoje reconhecido que as minas inactivas ou em fase de abandono podem constituir fontes de impacte ambiental químico, físico e paisagístico nas áreas circundantes. O despertar actual para os problemas dos impactos ambientais passíveis de estarem a ser gerados pela actividade industrial mineira resulta, tal como no caso da restante indústria, de uma mudança de atitude por parte dos vários sectores da sociedade envolvidos. (COSTA E LEITE, 2000)

Enquanto, no passado, a exploração mineira se norteava, quase exclusivamente, pelo princípio do melhor aproveitamento das jazidas acompanhado, principalmente, por critérios económicos e de alguma segurança. (SANTOS OLIVEIRA, 1997)

Esta perspectiva legou-nos um número apreciável de sítios mineiros abandonados ou áreas degradadas de minas activas necessitando de reabilitação ambiental. Esta problemática tem hoje um âmbito global, tendo vindo a decorrer um razoável número de encontros internacionais sobre este tema, tendo em vista a formulação das estratégias e dos modelos de gestão e de financiamento mais adequados e, como não poderia deixar de ser, da difusão e concepção das metodologias e tecnologias de reabilitação conhecidas. (COSTA E LEITE, 2000)

Mais recentemente começou a ser observado pelos operadores, com maior insistência, um outro princípio baseado numa exploração capaz de garantir a protecção ambiental das áreas envolventes, susceptíveis de virem a ser agredidas. Procura-se assim, enquadrar a indústria extractiva nos conceitos e parâmetros do denominado desenvolvimento sustentável, pelos quais se garanta que a extracção mineral não possa prejudicar o uso subsequente da terra, nem o ordenamento das regiões. (SANTOS OLIVEIRA, 1997)

Ao mesmo tempo que se acentua o desenvolvimento industrial e a exploração dos recursos, deve crescer a consciência de que um desenvolvimento mineiro verdadeiramente sustentado tem que incluir uma componente ambiental. (ALLAN, 1995)

Uma das componentes dessa política residirá na aplicação da teoria da gestão do risco, segundo a qual se procuram relacionar os efeitos documentados de exposição e de contaminação e, a partir daí, reconhecer-se a necessidade de que os níveis de impacte ambiental baixem o suficiente de modo que a incidência desses efeitos venha a tornar-se tão baixa como nos ecossistemas vizinhos. (CRAWFORD, 1995)

Por outro lado, uma visão moderna e actual do exercício da actividade na indústria mineral tem que integrar a gestão ambiental, com o objectivo de apoiar a protecção ambiental, através da avaliação do impacto dos seus produtos, processos e serviços. Deste modo consegue-se a promoção da melhoria contínua do desempenho ambiental da indústria, pela implementação de políticas ambientais, bem como a avaliação sistemática, objectiva e periódica do desempenho, através de auditorias internas e, ainda, o fornecimento ao público de informação sobre o seu desempenho. Esta postura reclama, pois, a revisão sistemática das instalações produtivas e dos procedimentos de operação, segurança e protecção relativamente ao quadro normativo em vigor. (COSTA, 1999a)

Contudo, porque estes processos são bastante complexos, torna-se necessário adoptar períodos de transição, melhorando a capacidade de articulação da indústria às novas condições, possibilitando a assimilação de tecnologias, a preparação dos recursos humanos e o alargamento no tempo do esforço financeiro necessário.

A tendência no sentido de incluir a componente ambiental no projecto de exploração de recursos minerais, levou a que este sector interiorizasse a necessidade de tomar em conta

um conjunto de dados de grande diversidade e variabilidade, cuja integração num todo coerente exige o contributo dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG). (DURUCAN, 1992)

Na zona de influência das explorações mineiras, é imperioso monitorizar e controlar diferentes parâmetros ambientais, relacionados com a qualidade do ar, do solo e das águas, e com a preservação da flora e fauna, da paisagem e do património arqueológico e cultural (SARMENTO, 1992). A integração destes parâmetros no projecto mineiro apela forçosamente para o recurso a tecnologias de tratamento de informação baseadas em processos de Análise Espacial.

Segundo PEREIRA(1992), “a integração de dados espacialmente referenciados foi sempre uma questão central nas Geociências. Do ponto de vista das aplicações económicas, tanto na fase de prospecção de recursos geológico-mineiros como na etapa da sua avaliação e apropriação”, assim como do ponto de vista ambiental, na fase de post-mina¹, a Análise Espacial permite “efectuar essa integração de um modo simples e eficaz, combinando dados de diferente natureza num sistema único e coerente, cujas respostas constituem uma base indispensável para apoiar os modernos processos de decisão.”

1.2 OBJECTIVOS

Os modelos desenvolvidos têm como objectivo o apoio à tomada de decisão na requalificação biofísica de minas abandonadas, uma vez que o que se pretende para os locais onde, durante e após o abandono, a exploração de rochas e minerais comprometeu, ou mesmo impossibilitou um imediato uso produtivo, é implantar um tipo de ocupação do espaço, que conforme o estado de maior ou menor degradação dos locais, vá preparando, promovendo e constituindo uma reconversão útil dos espaços afectados, evitando que estes sejam origem de distúrbios ecológicos graves, e de pesados prejuízos económicos, não só pelos danos que causem, mas também pela ausência de rendimento, tornando-os de novo produtivos.

Pretende-se também que essa nova utilização se integre de forma harmoniosa na paisagem existente. A Requalificação Biofísica de áreas mineiras abandonadas tem como objectivos gerais (COSTA, 1999a):

- Eliminar os factores de risco, resultantes da poluição de águas, da contaminação de solos e da eventual existência de escombreyas instáveis ou de cavidades desprotegidas;

¹ Segundo COSTA (2000) podemos considerar três períodos de actividade numa mina: o ante-mina, a mina e o post-mina.

- Promover o equilíbrio biofísico;
- Reabilitar a envolvente paisagística e as condições naturais de desenvolvimento da flora e da fauna locais, tendo como referência os respectivos *habitats* anteriores às explorações;
- Assegurar a preservação do património abandonado pelas antigas explorações, sempre que este apresente significativa relevância económica ou como testemunho de arqueologia industrial;
- Promover a valorização económica das áreas recuperadas, em função da sua aptidão específica em cada caso concreto, designadamente para utilização agrícola ou florestal, promoção turística e cultural, além de outros tipos de aproveitamento que se revelem adequados e convenientes.

Estes objectivos apenas serão alcançados se houver uma correcta e extensiva avaliação da área total impactada, bem como das potencialidades da mesma para as diferentes alternativas de uso, para assim se proporem medidas práticas, para se conseguir uma integração de uma paisagem degradada, técnica e economicamente, de criação de uma paisagem com uma estrutura que promova uma funcionalidade positiva na dinâmica espacial, sem esquecer aspectos fundamentais como o risco de pessoas e bens, o estímulo da actividade económica (pela promoção turística, por exemplo) e a criação de emprego.

O recurso a metodologias de Análise Espacial e Modelação Geográfica, revelam-se de extrema importância na concepção de um modelo espacial baseado nas características reais do território e de incalculável relevância na tomada de decisão em planeamento, permitindo simular fenómenos e processos que têm uma dimensão espacial explícita, bem como identificar propriedades espaciais de dados, e a partir da localização destes, a identificação de padrões e a formulação de hipóteses, bem como a avaliação de aspectos de modelação espacial.

1.3 METODOLOGIA

Todo o modelo de análise foi desenvolvido num ambiente SIG, e a metodologia adoptada compreende essencialmente duas fases:

- Fase Diagnóstico, na qual foram aplicados modelos de caracterização e avaliação ecológica da paisagem, e modelos de propagação de poluentes, com o objectivo específico de determinar a área a requalificar;

- Avaliação das Potencialidades Territoriais das Áreas Afectadas pelas Explorações Mineiras, através da definição de usos do solo potenciais, do estabelecimento de classes de capacidade de uso, e da aplicação de um modelo relacional de compatibilidade de usos para a definição das áreas finais

A Fase Diagnóstico tem como objectivo primordial avaliar a extensão da zona que sofreu impactes negativos, e assim determinar a área que necessitará de intervenção. Esta fase será abordada segundo duas perspectivas. A primeira tem como objectivo a aplicação de metodologias de análise espacial dos sistemas ecológicos com vista à determinação das condições ecológicas ocorrentes em toda a região envolvente das zonas-objectivo. Esta abordagem, designada por Análise Integrada de Paisagem (FERNANDES *et al.*, 2002a), tem como principal vantagem a possibilidade de identificação precisa (ou pelo menos dentro dos limites do conhecimento pericial utilizado e da precisão e actualização dos dados geográficos disponíveis), do grau de perturbação associado a cada tipo de uso, da maior ou menor naturalidade da sua implantação ou fragmentação e estimar o seu valor relativo de acordo com diferentes combinações de critérios espelhando diferentes perspectivas ou objectivos de gestão. A segunda abordagem terá como objectivo modelar a propagação de poluentes nas águas subterrâneas e no solo, e assim determinar a área que sofreu impactes ao nível da contaminação dos solos e água, nos anos de laboração da mina, bem como nos anos que se seguirem, e consistirá na implementação de processos de análise espacial e modelação geográfica com o objectivo de gerar informação acerca dos processos de propagação de poluentes no sistema aquífero e no solo. Estes processos incluirão o estudo do movimento dos contaminantes nestas superfícies, bem como as impedâncias que constituem todo este fenómeno.

A segunda fase consiste em determinar as potencialidades do território para um conjunto de possíveis usos. Os usos possíveis são muito amplos, se bem que, em cada zona afectada, são as características das alterações, e os condicionantes sociais, económicos, técnicos, ecológicos e paisagísticos que vão determinar a eleição dos usos concretos. O desenvolvimento de um modelo relacional de compatibilidade de usos, irá conduzir à delimitação dos usos finais, tentando sempre que possível dar prioridade à multifuncionalidade do espaço. Em alguns projectos é relativamente fácil combinar diferentes usos, o qual permite uma maior flexibilidade e adaptação em resposta às circunstâncias de cada terreno. Por exemplo, normalmente combinam-se com êxito áreas de recreio com zonas florestais, armazenamento de água ou de conservação da natureza. Avaliar a compatibilidade de usos múltiplos e harmonizar valores que competem entre si, são difíceis processos de planeamento que podem ser auxiliados pelas técnicas de SIG. (ARONOFF, 1991).

1.4 ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO

O concelho de Aljustrel situa-se no Sul do País, no Baixo Alentejo, vila e sede de concelho pertencente ao Distrito de Beja. Ocupa uma superfície de cerca de 45832 ha, e encontra-se administrativamente repartido por cinco freguesias: Aljustrel, Ervidel, S. João de Negrilhos, Rio de Moinhos e Messejana.

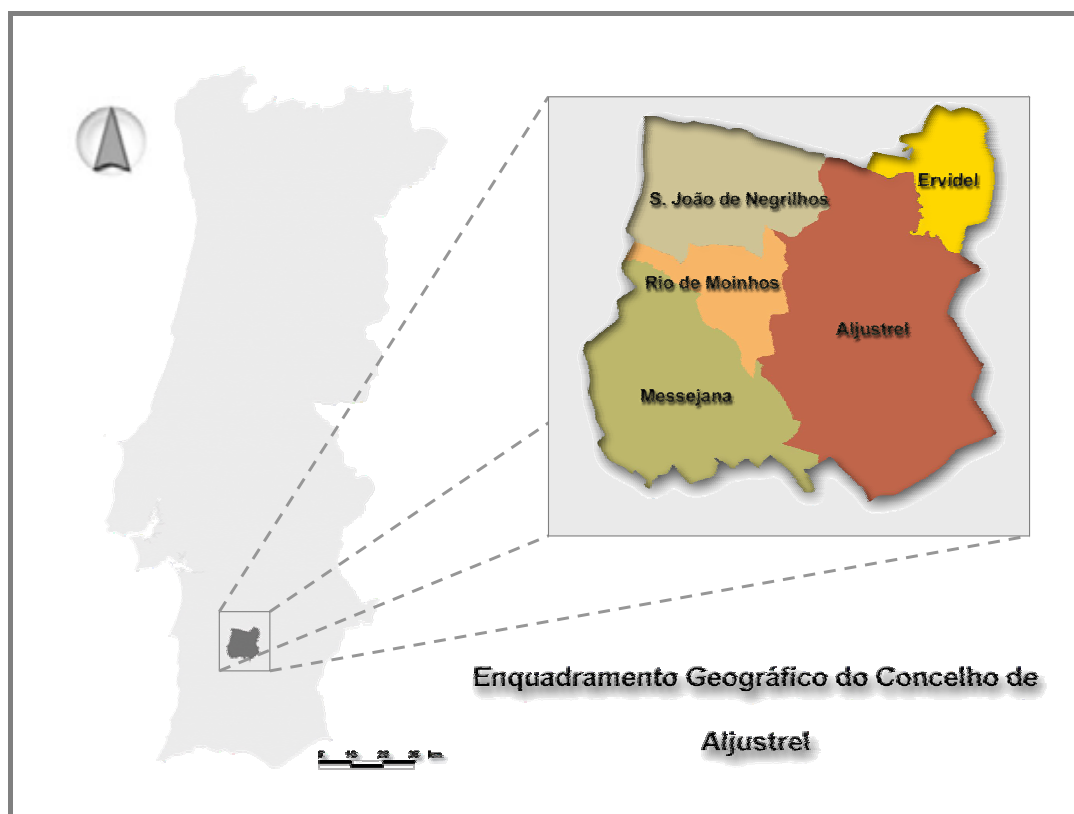


Figura 1 – Localização do Concelho de Aljustrel (Fonte: CAOP (IGP, 2005))

A economia do concelho está tradicionalmente ligada à cultura cerealífera extensiva, ao pastoreio e à indústria mineira. A introdução de culturas de regadio e de novas culturas no campo agrícola veio permitir o desenvolvimento de novas indústrias agro-alimentares e alterar a paisagem rural.

No entanto, no seu cerne, Aljustrel é uma vila mineira. Aljustrel é o mais importante jazido de sulfuretos maciços da Faixa Piritosa Ibérica quanto a reservas evidenciadas, e é constituído pelas massas de S. João do Deserto, Moinho, Algarès (esgotado para Pirite maciça) e Feitais.



Figura 2 – Áreas de Estudo

As Minas de Aljustrel têm uma longa história, havendo numerosos testemunhos da sua exploração pelos Romanos, entre os quais as tábuas de bronze com a legislação mineira da época, as quais indicam um elevado grau de organização da mineração.

Pouco mais se conhece sobre a situação e actividade das minas desde 1854, ano em que, segundo FREIRE D'ANDRADE (1967), se deu a primeira comunicação oficial sobre as minas de Aljustrel. A exploração estava vocacionada para a produção de cobre, e depois como matéria-prima de enxofre.

No final da década de 40, a importância destas minas aumenta em Portugal, com uma quota parte importante na exportação, e progressiva tomada preponderante de posição no abastecimento do mercado nacional produtor de ácido sulfúrico e de adubos fosfatados. Até à década de 70, assistiu-se ao crescimento destas indústrias na Península Ibérica, que exportavam em larga escala para diversos países europeus.

O sector entrou em declínio nos mercados externos com baixa registada no preço internacional do enxofre elementar. A recuperação do referido preço, na década de 80, embora tenha restituído a anterior competitividade e suscitado interesse bastante generalizado, não se traduziu em nova reconversão da actividade mineira.

O projecto PPC, em Aljustrel, para produção de concentrados diferenciais de cobre, zinco e chumbo, representou um investimento global de quase 20 milhões de contos, aplicado na construção de uma nova lavaria, barragem de estéreis e preparação e reequipamento da mina. Em 1991 iniciou-se a produção de concentrados cobre e de zinco, a partir de minérios provenientes da massa do Moínho, na mina de Aljustrel, a qual, contudo viria a ser interrompida em Maio de 1993, em resultado da baixa de cotações dos metais extraídos, circunstância agravada por um deficiente desempenho técnico dos processos de concentração de minérios (moagem e flutuação em coluna), conjugada com a utilização de um método de desmonte de inadequada selectividade e um planeamento mineiro que induzia acentuadas flutuações nos teores de alimentação da lavaria. (COSTA, 1999b, COSTA, 2002)

Em todo o decurso do século XX a exploração foi feita pela empresa belga Mines d'Aljustrel, SA (M.A.). Em 1973 o Estado (45%), a CUF (45%), e a empresa luxemburguesa SOGEMINDUS adquirem o património mineiro daquela e criam-se as Pirites Alentejanas S. A., na qual o Estado, a partir de Julho de 1975 e nacionalizado o capital da CUF, passou a deter 90% do capital. Actualmente a mina é pertença da Eurozinc, que visa o rearranque da laboração com a produção de concentrados de zinco e chumbo, a partir da massa de Feitais.

2. A EXTRACÇÃO MINEIRA

2.1 PERSPECTIVA HISTÓRICO-ECONÓMICA

Segundo MAGNO (2001) “a procura de minerais e sua utilização processa-se desde os primeiros tempos do *homo sapiens* desempenhando ao longo da história um papel fundamental à subsistência e progresso da Humanidade. Na Península Ibérica são conhecidas actividades extractivas que remontam aos tempos pré-históricos. Nos tempos do império romano ela atingiu expressão significativa sendo conhecidas explorações de ouro, chumbo, cobre, ferro e estanho. A procura destes recursos manteve-se durante a Idade Média, mas foi sobretudo com a Revolução Industrial e com as duas Grandes Guerras que ela se intensificou, em virtude da necessidade acrescida de matérias-primas minerais essenciais à industrialização, ao esforço de guerra e, depois, à reconstrução económica.”

Todavia, tal como acontece noutros sectores industriais, a indústria extractiva assenta num dado fundamental neste contexto: a expansão do mercado e a relação oferta/procura, e por volta de 1975/76 a actividade primária de extracção de minérios sofreu acentuado declínio.

Desde então entrou em franca expansão quer técnica, quer económica, determinada por um aumento de procura no mercado interno e externo. Apesar de uma certa euforia que se registou a seguir à recessão de 75/76, esta importante indústria sofre no contexto económico de graves limitações de índole estrutural, como sejam:

- A inexistência generalizada de estudos de geologia económica;
- A deficiente estrutura produtiva;
- A carência de regulamentos efectiva das pedreiras;
- Ausência de planificação e programação da lavra;
- Carência de infra-estruturas;
- Concorrência desregrada;
- Obsoleta estrutura do mercado;
- Inexistência de ensaios tecnológicos;
- Falta de aproveitamento dos subprodutos.

Segundo o Instituto Geológico e Mineiro (IGM, 2000), a evolução da Indústria Extractiva no período de 1989-1998, evidenciou a alteração provocada no subsector de minas, pelo

arranque dos projectos de produção de concentrados de cobre em 1988, e de estanho em 1990, essencialmente na mina Neves-Corvo. A partir de meados da década de 90, registou-se um decréscimo no valor do subsector de minas, consequência da regressão acentuada que se verificou nos minérios metálicos, preciosos e energéticos, efeito decorrente da quebra de cotações internacionais de metais básicos e preciosos e da redução verificada na produção de minerais energéticos (carvão e urânio).

Relativamente ao subsector de pedreiras, onde se incluem as rochas ornamentais e as rochas industriais, registou-se um significativo ritmo de crescimento no período considerado, devido ao aumento de competitividade das empresas, consequência da valorização interna dos produtos comercializados, melhoria dos padrões de qualidade e maior agressividade nos mercados externos. A Região Alentejo é o maior centro produtor de rochas ornamentais, onde se localiza a zona de mármore e granito ornamental mais importante do País. As rochas industriais têm tido forte incremento nos últimos anos, reflectindo os acréscimos de consumo destas matérias-primas no sector de construção civil e obras públicas sendo as Regiões Norte e Lisboa e Vale do Tejo, as Regiões que detêm maior importância em termos de valor de produção.

No que respeita ao subsector de águas minerais e de nascente, Portugal dispõe de um apreciável potencial hidromineral, evidenciado pelo elevado número de ocorrências e pela grande diversidade hidroquímica, decorrente de uma complexa e diversificada geologia do País. Constata-se que as Regiões Norte e Centro detêm cerca de 74% dos recursos hidrominerais e águas de nascente reconhecidos no território continental português, facto que é consequência das suas condições geológico-estruturais. No último decénio a produção, em volume, de águas minerais e de nascente aumentou cerca de 95 % registando uma taxa de crescimento anual de cerca de 12 %.

O IGM, e mais recentemente o INETI (Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação), têm vindo a desenvolver trabalhos de prospecção que incidiram essencialmente em três áreas (COSTA, 1999b):

- No jazigo de Castromil, a empresa Connary Minerals investigou mineralização aurífera, tendo definido para Covas de Castromil reservas provadas de 2,147 Mt, com um teor médio de 1,9 g/t Au, e reservas prováveis de 0,270 Mt, com 1,8 g/t Au, e para a zona denominada Serra da Quinta, reservas prováveis de 0,743 Mt, com 2,8 g/t Au.
- Na zona de Jales/Gralheira, o Consórcio EDM/SM Bourneix (posteriormente EDM/Target Europe) definiu recursos de 633 300 toneladas, com um teor médio de 7g/t Au.

- Na área de Montemor-o-Novo a Sociedade Mineira RioArtezia definiu recursos auríferos que foram posteriormente ampliados pelo consórcio Moriminas para números globais de 4,45 Mt, com teor médio de 2,81 g/t Au.

Encontram-se em fase de preparação dois projectos mineiros, tendo solicitado a licença para operar o projecto Eurozinc, visando a reabertura da mina de Aljustrel, com a produção de concentrados de zinco e chumbo, a partir da massa de Feitais; e o projecto de Nisa, para a produção de concentrados de urânio.

Ambos os projectos encontram-se em fase de avaliação do impacte ambiental, estando o projecto Eurozinc na fase final do estudo de viabilidade.

O projecto de produção de concentrados de zinco em Aljustrel beneficia grandemente da infra-estrutura existente. O escalão de produção é de 1,5 Mt por ano, que originarão 150 000 toneladas de concentrados de zinco e 30 000 toneladas de concentrados de chumbo/prata. A concretização do projecto exigirá a preparação e desenvolvimento mineiro da massa de Feitais e a readaptação da lavaria industrial.

2.2 PERSPECTIVA AMBIENTAL

Segundo FERNANDES (1991) “a gestão de um recurso pode orientar-se segundo perspectivas diversas; assegurar a renovabilidade deste, mantendo níveis de exploração adequados à taxa de renovação ou, pelo contrário, obter no curto prazo o máximo de benefícios dessa exploração. No entanto, a actividade de gestão do Homem tem-se caracterizado mais pela segunda perspectiva da que pela primeira, de tal modo que comprometeu, em muitos casos de forma irreversível, a capacidade do meio de responder às suas solicitações, comprometendo, por este motivo, as suas possibilidades de existência futura.”

Ainda segundo o mesmo autor “o processo de planeamento ambiental deverá constituir um sistema de decisão em que se articulem de forma dinâmica e evolutiva as seguintes componentes de gestão:

- Expressão da oferta ambiental conseguida através de uma definição das potencialidades e aptidões de cada ponto do espaço;
- Expressão dos riscos decorrentes dos impactes de cada uso sobre as áreas de diversa sensibilidade conseguida através da definição de riscos ambientais;

- Expressão dos balanços entre as potencialidades e aptidões ambientais e os riscos associados aos usos instalados ou a instalar, expressa através da avaliação de conflitos ambientais;
- Definição de medidas e instrumentos de correcção e gestão ambiental, como restrições absolutas e parcelares às diferentes tipologias de uso, de forma a resolver, a compensar ou a corrigir os conflitos detectados previstos.”

A extracção e transformação de minerais e rochas, pelas dimensões atingidas, tem sido alvo de estudos científicos na área ambiental, incidindo mais nas questões relacionadas no impacte desta actividade sobre os diversos valores biofísicos, bem como na mitigação destes impactes. A década passada confirmou plenamente a relevância das questões ambientais na actividade industrial, colocando novos desafios à indústria mineira.

Este novo cenário veio alterar profundamente as características do projecto mineiro, primeiramente ao introduzir um novo factor de risco, que se veio adicionar aos clássicos riscos geológico, tecnológico e de mercado, ao fazer depender a decisão de autorização administrativa para a exploração, da aprovação de um estudo de impacte ambiental. (COSTA, 2000)

Áreas sobre as quais não se pensou senão no progresso industrial, torna-se extremamente difícil, e por vezes economicamente inviável, a requalificação biofísica. É o caso da maior parte das pedreiras, bem como outras explorações minerais, que não foram (nem o são) exploradas a pensar na posterior requalificação espacial. Esta constatação poderá ser desmobilizadora de projectos parciais que algumas empresas com condições geoestratégicas particulares, poderão promover com vista a uma racional gestão ambiental.

A necessidade do encerramento e abandono do sítio da exploração ter que ser feito em moldes que assegurem a sua reabilitação e devolução à comunidade para utilizações alternativas, veio introduzir um perfil particular nos fluxos financeiros do projecto, com a realização de despesas, geralmente de montante elevado, após a sua vida útil, quando o volume de receitas já diminuiu muito ou cessou mesmo, o que implica que os meios necessários têm que ser acumulados ao longo da vida útil da mina. (COSTA, 1999a)

O IGM criou, em 1996, um programa de intervenção que designou por Geoindústria & Ambiente, e que incluiu alguns programas, dos quais se destacam:

- Programa de Ordenamento da Zona dos Mármore (PROZOM);
- Programa de Requalificação de Áreas de Explorações Abandonadas;
- Programa de Ordenamento Industrial do Desempenho Ambiental da Indústria Extractiva.

2.2.1 PROGRAMA DE ORDENAMENTO DA ZONA DOS MÁRMORES

A RESOLUÇÃO DO CONCELHO DE MINISTROS n.º 86/94 de 21 de Setembro, incumbiu a Comissão de Coordenação da Região do Alentejo (CCRA) de promover o Plano Regional de Ordenamento da Zona dos Mármore (PROZOM).

O prazo para a elaboração de tal plano, foi inicialmente criticado por CUPETO (1994) (o prazo inicial era de 12 meses, tendo sido prorrogado pela RESOLUÇÃO DO CONCELHO DE MINISTROS n.º 10/96 de 24 de Janeiro), sendo considerado curto para tão complicada missão. Com efeito todos os problemas que até aqui se levantaram no presente trabalho envolvem um número extremamente elevado de disciplinas e áreas científicas e por isso requerem investigação extremamente aprofundada. Outro obstáculo foi a cartografia temática que deve obedecer a critérios específicos, nomeadamente a escala e a actualização constantes, numa zona em que o espaço apresenta características extremamente dinâmicas dificultando o trabalho dos investigadores.

Foram consubstanciadas e sistematizadas diversas propostas de intervenção preconizadas nas seguintes Opções Estratégicas de intervenção (DRAOT ALENTEJO, 1999):

- Exploração racional e aproveitamento do recurso mármore;
- Reforço dos factores dinâmicos de competitividade da fileira dos mármore;
- Protecção e valorização dos sistemas naturais, incluindo recursos hídricos, solo agrícola e estruturas ecológicas;
- Protecção e valorização do património arqueológico e arquitectónico;
- Reorganização das redes internas de infra-estruturas e acessibilidade e respectiva articulação;
- Recuperação progressiva da zona afectada incluindo a recuperação paisagística do conjunto das explorações;
- Dinamização de outras actividades económicas da zona de intervenção.

A fase de consolidação da actividade na zona dos mármore passou pela alteração profunda dos moldes em que esta se vinha desenvolvendo, conferindo-lhe carácter sustentável, pela adopção de novos padrões de compatibilidade ambiental e planos integradores da exploração que reconhecem e contemplam a unidade geológica subjacente, e assim rompem com estritos critérios cadastrais, resultantes da divisão da propriedade. (COSTA, 1999a)

A fileira dos mármore é constituída pelo conjunto de áreas territoriais cuja ocupação se define, determinantemente, pelas necessidades resultantes da exploração do mármore. Este sistema inclui (DRAOT ALENTEJO, 1999):

- Área de indústria extractiva do mármore (AIEM), constituída pelas áreas territoriais em que exista, tenha existido ou venha a existir exploração do recurso mineral mármore ou deposição dos materiais resultantes da exploração e da transformação do mesmo, compreendendo:
 - Áreas de deposição comum (ADC), destinadas a constituir os locais de recolha e depósito de materiais resultantes da exploração e da transformação do recurso mármore;
 - Áreas de exploração (AE) em que actualmente predomina uma exploração intensiva do recurso;
 - Áreas com potencial para aproveitamento (APA), nas quais se considera que existe recurso geológico susceptível de ser explorado, mas que permanecem sem exploração ou pouco exploradas;
- Áreas de concentração industrial, constituídas por áreas territoriais associadas à exploração do mármore e destinadas, exclusivamente, às actividades industriais e suas funções complementares.

Com base nestas foram definidas 5 unidades de ordenamento (UNOR), que constituem zonas diversificadas e complementares no que diz respeito ao uso, funcionalidade e actividades, as quais deverão ser objecto de um ordenamento específico, e que podem também incluir Áreas de Concentração Industrial, para a localização e concentração de unidades de transformação de rochas ornamentais.

A partir da caracterização da situação existente deve definir-se a concepção geral das AE e das ADC, dos espaços livres, dos arranjos paisagísticos, do traçado da rede viária e das infra-estruturas principais, bem como a análise do impacte ambiental das explorações existentes e das medidas mitigadoras das incidências negativas sobre o ambiente. Estes planos constituirão o quadro de referência de base para a apreciação de propostas de ampliação, adaptação ou actualização de planos de lavra, bem como dos correspondentes planos de recuperação paisagística submetidos pelos exploradores aos competentes serviços de licenciamento da actividade industrial, seja na fase de exploração, de pesquisa ou de transformação. (COSTA, 1999a)

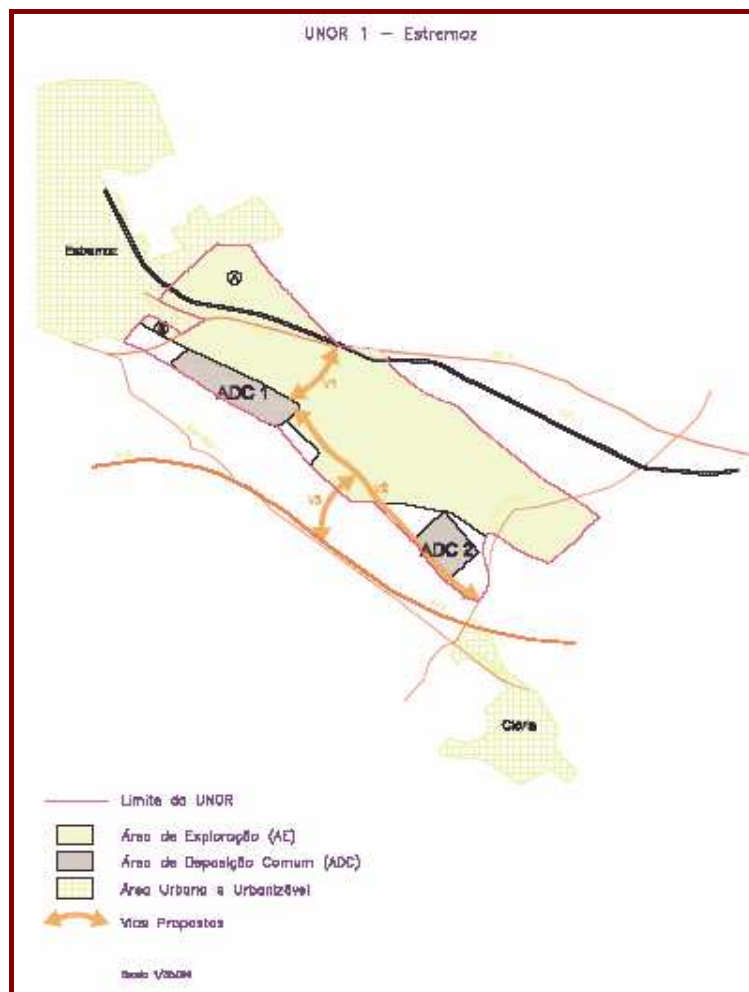


Figura 3 – Exemplo de uma UNOR – UNOR 1 (Estremoz) (DRAOT ALENTEJO, 1999)

A RESOLUÇÃO DO CONCELHO DE MINISTROS n.º 93/2002, aprovou o Plano Regional de Ordenamento do Território da Zona de Mármore (PROZOM), determinando que são incompatíveis com o mesmo as disposições constantes de plano municipal de ordenamento do território aplicáveis na zona cativa declarada pela PORTARIA n.º 441/90, de 15 de Junho, que admitam a ocupação do solo com qualquer tipo de estruturas permanentes.

2.2.2 PROGRAMA DE REQUALIFICAÇÃO DE ÁREAS DE EXPLORAÇÕES ABANDONADAS

Em 1995, o IGM e a Direcção-Geral do Ambiente lançaram um programa de caracterização da situação das áreas mineiras abandonadas, que foi financiado pelo Programa Estratégico de Modernização da Indústria Portuguesa (PEDIP II) e pelos orçamentos próprios das duas

instituições. O IGM identificou esta área como estratégica para o desenvolvimento de novas capacidades, aplicação de competências e exploração de informação recolhida ao longo dos anos de actividade relacionada com o aproveitamento de recursos minerais. (COSTA, 2000)

Foi então decidido executar um programa de requalificação ambiental de áreas mineiras abandonadas, realizado ao abrigo do protocolo celebrado entre os Ministérios da Economia e do Ambiente, e que visava promover a segurança e bem estar das populações e identificar os potenciais endógenos de criação de emprego e de desenvolvimento de actividade económica, nomeadamente nos aspectos turísticos e culturais.

As principais fases do desenvolvimento das acções de requalificação biofísica das áreas mineiras abandonadas, independentemente do uso do solo final, são: o diagnóstico definitivo, o projecto de requalificação e a implementação territorial do projecto de requalificação. O plano inicialmente proposto integra o seguinte conjunto de acções:

- Inventariação das áreas mineiras abandonadas;
- Priorização de acções, seleccionando as áreas cuja requalificação se afigurava mais urgente;
- Caracterização de elementos adicionais de diagnóstico quanto à natureza e extensão dos problemas existentes recorrendo a trabalhos de campo para a recolha de amostras e respectivas análises, medições de caudais e de volumes, e caracterização geral tanto dos sistemas ecológicos em causa, assim como das envolventes sócio-económica e cultural, incluindo a eventual relevância de construções recuperáveis e/ou de testemunhos de arqueologia industrial;
- Elaboração de projectos de requalificação que garantam o cumprimento dos objectivos propostos;
- Realização das obras de requalificação e sua fiscalização;
- Definição dos sistemas de monitorização a implementar posteriormente à requalificação biofísica da área afectada, e desenvolvimento de projectos de valorização económica ulterior das áreas reabilitadas.

O DECRETO-LEI n.º 198-A/2001, de 6 de Julho, atribuiu a actividade de recuperação e monitorização ambiental das áreas mineiras degradadas, nos termos definidos pelo mesmo diploma, à empresa EXMIN, empresa do Grupo EDM.

O Programa de Incentivos à Modernização da Economia (COMISSÃO DE ACOMPANHAMENTO DO POE/PRIME, 2003), anunciou o financiamento para a Recuperação Ambiental de Áreas Mineiras Abandonadas, através da realização da “requalificação dos sítios, promovendo a

segurança e o bem-estar das áreas envolventes. Daqui resulta também a promoção do desenvolvimento económico das regiões em que se localizam e que na maioria dos casos se situam em zonas economicamente deprimidas.”

O referido documento acrescenta ainda que “serão objecto de apoios neste âmbito as intervenções que, pelo seu impacto, têm um carácter marcadamente nacional, nomeadamente a realização de estudos preliminares e complementares ao longo do território nacional neste domínio.

A EXMIN, no exercício das suas funções, completou até ao final de 2004 os seguintes projectos:

- Estudo de Hierarquização para a Reabilitação de Áreas Mineiras Degradadas;
- Projecto de Recuperação Ambiental da Escombreira² da Mina de Jales;
- Estudo Director de Áreas de Minérios Radioactivos;
- Estudo Director de Sulfuretos Polimetálicos Maciços.



Figura 4 – Mina dos Algares em Aljustrel – Uma das Áreas a Recuperar referenciada pela EXMIN (Foto: NUNO GUIOMAR, 2001)

² Local de acumulação das partes não aproveitáveis dos minérios ou da matéria prima em exploração.

2.2.3 PROGRAMA DE ORDENAMENTO INDUSTRIAL E MELHORIA DO DESEMPENHO AMBIENTAL DA INDÚSTRIA EXTRACTIVA

A indústria extractiva, embora tendo já iniciado o processo de adaptação ambiental, necessita de prosseguir na introdução de métodos e processos produtivos que assegurem a qualificação ambiental das áreas de incidência da actividade, através da melhoria constante do seu desempenho ambiental. A melhoria deste desempenho envolve o conhecimento e divulgação das adequadas tecnologias, da disponibilidade de quadros técnicos qualificados e a monitorização da actividade, muito particularmente nas áreas de concentração de explorações, através da disseminação crescente da utilização de sistemas de gestão ambiental. (COSTA, 1999a)

O pleno aproveitamento destas orientações implica a definição das áreas do território nacional que, mercê da natureza dos recursos minerais nelas ocorrentes e da proximidade aos grandes núcleos de utilização, devem ser preservadas e submetidas a planos directores que orientem a intervenção da Administração e assegurem aos agentes económicos um quadro razoavelmente definido de oferta e procura de matérias-primas. Este processo cria, igualmente, as condições de agilização do licenciamento da actividade industrial extractiva, seja no acesso, seja na sua adaptação à evolução das condições externas do seu exercício, melhorando, deste modo, a envolvente empresarial. (COSTA, 2000)

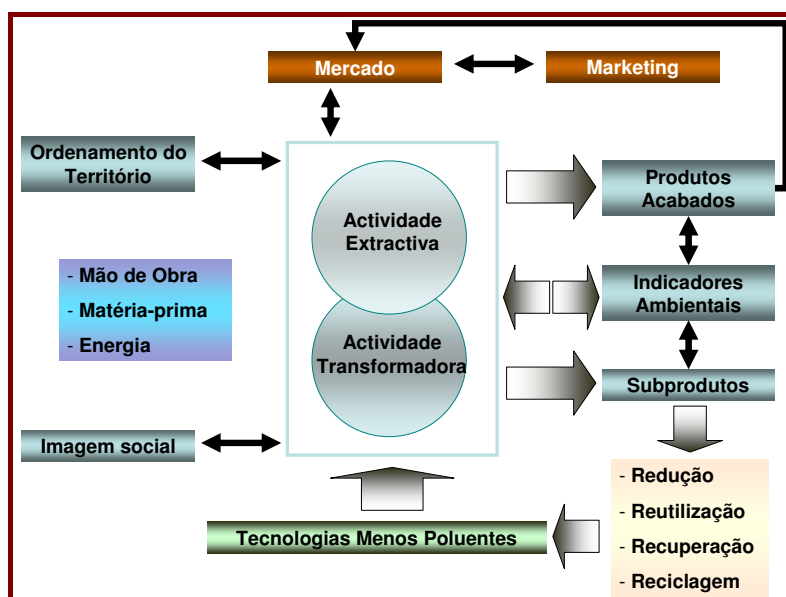


Figura 5 – Aproximação a um Modelo de Ecogestão para Empresas do Sector das Pedras Naturais (MARTINS *et al.*, 1995)

A experiência resultante dos Contrato de Adaptação Ambiental e dos projectos de Estudos Integrados de Ordenamento, Impacte Ambiental e Recuperação Paisagística, justificou o desenvolvimento de um Programa Ordenamento Industrial e Melhoria do Desempenho Ambiental da Indústria Extractiva. O programa engloba diversos tipos de acção, a saber (COSTA, 1999a):

- Elaboração de um plano sectorial de ordenamento da actividade extractiva, suportado nas convenientes funcionalidades informáticas que possibilitem a sua permanente actualização, bem como o acesso de todas as entidades da Administração que necessitam desta informação.
- Elaboração de planos directores de abastecimento para as substâncias minerais de maior procura (areias e britas), para as áreas de maior intensidade de utilização;
- Realização da cobertura dos principais núcleos de extracção com a elaboração dos correspondentes planos integrados de exploração e recuperação ambiental;
- Promoção da realização de projectos de demonstração de aproveitamento racional de jazidas minerais, numa óptica de maximização do seu aproveitamento e minimização dos resíduos de exploração;
- Melhoria da qualificação profissional dos quadros e formação da mão-de-obra através da publicação de manuais, sessões de sensibilização e informação, divulgação de tecnologias e códigos de boas práticas;
- Promoção da melhoria da imagem da indústria através da certificação ambiental e divulgação de casos de sucesso.

A COMISSÃO DE ACOMPANHAMENTO DO POE/PRIME (2003) publicou, no Programa de Incentivos à Modernização da Economia, financiamento para iniciativas de melhoria do desempenho da indústria extractiva, que incluíam a dinamização de esforços com os seguintes objectivos:

- A melhoria constante do desempenho da indústria extractiva, em termos de aproveitamento de recursos e em termos de impacto ambiental e/ou de segurança;
- Contribuir para a fundamentação do ordenamento da indústria extractiva em termos ambientais e de acesso aos recursos.

3. IMPACTES AMBIENTAIS GERADOS PELA INDÚSTRIA MINEIRA

A indústria mineira acumula apreciáveis impactes ambientais. Contudo existem tecnologias disponíveis para que tais impactes se mantenham dentro dos valores regulamentares, ainda que a sua utilização implique custos de produção mais elevados.

Um aspecto muito importante relaciona-se com a quase inexistência de estudos de impactes ambientais das explorações. A legislação portuguesa em vigor relativa à matéria ambiental prevê a necessidade de submeter a Avaliação de Impacte Ambiental (AIA) determinados projectos, nomeadamente os relacionados com a extracção de minerais. DIAS *et al.* (2002) refere que a AIA é “o principal instrumento específico de tutela ambiental” e pode ser definida, segundo FERRÃO (1998), como o “processo de identificação e avaliação das consequências das acções humanas sobre o ambiente e, quando apropriado, da forma de minimizar essas consequências.”

O DECRETO-LEI n.º 186/90, de 6 de Junho (estabelecia as normas relativas a Avaliação de Impacte Ambiental), alterado pelo DECRETO-LEI n.º 278/97, de 8 de Outubro, juntamente com o DECRETO-REGULAMENTAR n.º 38/90, de 27 de Novembro, e conjugado com o DECRETO-LEI n.º 89/90, de 16 de Março (aprovava o regulamento de pedreiras), apenas previam a obrigatoriedade de Estudos de Impacte Ambiental (EIA) para explorações que excedessem 5 ha (incluindo a área ocupada pela escavação, escombreyras e diversos anexos de apoio à pedreira, caminhos internos, etc.) ou para explorações em que a produção anual atingisse valores superiores a 150.000 toneladas.

Entretanto o DECRETO-LEI n.º 69/2000, de 3 de Maio, revogou os 3 primeiros, não se registando alterações significativas em matéria de exploração de inertes, e o DECRETO-LEI n.º 270/2001, de 6 de Outubro, revogou o último, cuja alteração mais relevante é a “substituição do plano de recuperação paisagística, tal como contemplado pelo DECRETO-LEI n.º 89/90, por um plano muito mais abrangente do ponto de vista ambiental, o PARP (Plano Ambiental e de Recuperação Paisagística)”.

Em explorações relativamente pequenas como são o caso das que ocorrem em praticamente todo o país, os limites dificilmente são atingidos, nomeadamente os relacionados com os limites de produções anuais. Os impactes ambientais causados por explorações isoladas e de pequenas dimensões, embora importantes apresentam-se pouco significativos, no entanto a magnitude destes agrava-se quando se tratam de várias pedreiras em laboração. Para corroborar esta filosofia veja-se o explicitado na afirmação de CUPETO *et al.* (1995) na qual salienta que o elemento a avaliar “não pode ser uma pedreira, nem várias, mas todo o contexto. Não apenas uma actividade mas o complexo de todas as actividades procurando contribuir para o desenvolvimento integrado.”

Na Figura 6, podemos observar o esquema de avaliação de impactes devido a explorações mineiras.

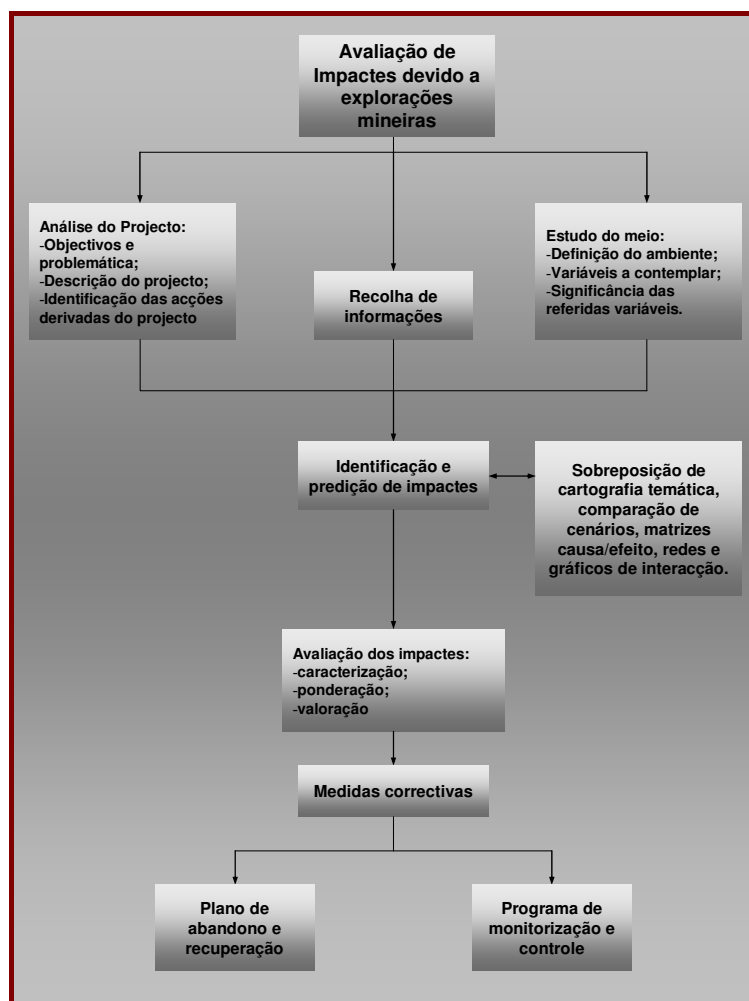


Figura 6 – Avaliação de impactes devido a explorações mineiras
(modificado de COMETT, 1992)

De acordo com o disposto no n.º 1 do artigo 26º do DECRETO-LEI n.º 270/2001 "o explorador deve delinear e executar os programas de trabalhos de pesquisa segundo critérios de gestão ambiental responsáveis, avaliando, prevenindo e minimizando os impactes que possam ser causados ao solo, flora, águas superficiais e subterrâneas, inteirando-se e cumprindo as leis e regulamentos aplicáveis e cingindo, ao mínimo necessário, as interferências com a tipologia de uso dominante vertida em planos de ordenamento eficazes", através da adopção de medidas mitigadoras dos impactes que em muitos casos,

atenuam ou reduzem os danos causados por esta actividade e são economicamente viáveis.

A AIA está a tornar-se uma ferramenta cada vez mais utilizada no processo de licenciamento. O compromisso da indústria com uma gestão ambiental sustentada tem vindo a aumentar de dia para dia à medida que vão aparecendo novas normas e instrumentos ambientais, tais como a norma ISO 14000³, o EMAS⁴ (*Eco Management and Audit Scheme*), os SGA⁵, entre outros. (BRODKOM, 2000)

3.1 CONSIDERAÇÕES GENÉRICAS SOBRE OS IMPACTES AMBIENTAIS GERADOS PELA ACTIVIDADE MINEIRA

Segundo ÁVILA *et al.* (1999) “as actividades de exploração mineira quando exercidas sem um devido acompanhamento técnico e tecnológico podem originar situações de impacte ambiental, em particular de natureza química, para o meio envolvente devido às possibilidades de contaminação dos solos, águas e biótopos.” Para que seja possível delinear estratégias que visem a requalificação das áreas afectadas pelas explorações mineiras, é de vital importância o conhecimento profundo dos impactes que estas actividades têm no espaço.

Dentro do conjunto das explorações de rochas e de minerais, poderemos distinguir dois tipos de situações bem diferenciadas: as explorações a céu aberto e as minas propriamente ditas, constituídas por galerias subterrâneas. No caso das primeiras, os efeitos e impactes são bem evidentes e visíveis, enquanto que no que respeita às segundas, embora aparentemente escondidas, delas podem resultar impactes muito mais significativos em comparação com as unidades a céu aberto. (OLIVEIRA, 2005).

Genericamente, consideram-se várias fases que medeiam entre o início e o termo do processo explorativo de uma pedreira ou de uma mina (COSTA, 1992). Segundo o mesmo autor, podemos dividir os impactes resultantes da exploração, numa escala temporal:

³ As ISO 14000 são uma série de normas ambientais internacionais voluntárias reconhecidas pelos principais países industrializados e organizações de regulação de comércio. (SEQUEIRA, 1998)

⁴ EMAS é o Sistema Comunitário de Ecogestão e Auditoria que se encontra aberto à participação voluntária das empresas que desenvolvam actividades industriais e que visa a avaliação e melhoria do comportamento ambiental das actividades industriais e a prestação de informações ao público na matéria. (FERRÃO, 1998)

⁵ Um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) constitui uma ferramenta estratégica para o empresário, possibilitando a identificação de oportunidades de melhoria que reduzam ou minimizem os impactes sobre o Ambiente das actividades da organização. Esta ferramenta deverá estar sempre associada às questões de conquista de cota de mercados e de geração de retorno de investimento. (SEQUEIRA, 1998)

impactes resultantes de acções levadas a cabo antes da exploração, impactes resultantes de acções directamente ligados à exploração e impactes decorrentes do abandono da exploração.

É precisamente nas fases explorativa e de abandono que se verificam impactes mais significativos no quadro de referência ecológico, principalmente ao nível do solo (pela remoção do mesmo, alterando a dinâmica espacial natural), ao nível da morfologia e paisagem (condicionando usos futuros do território) e da água (pela alteração do regime hidrológico e da qualidade da água).

3.1.1 IMPACTES GERADOS ANTES DA EXPLORAÇÃO

Nesta fase não se têm impactes directos sobre o ambiente mas apenas potenciais impactes. Poder-se-ão aqui considerar duas vertentes:

O não aproveitamento dos recursos pedológicos para a agricultura ou outra actividade agro-silvo-pastoril, se os proprietários dos terrenos estiverem mais interessados economicamente na actividade de extracção;

A fase de prospecção e pesquisa tem como consequências a destruição de solo assim como da vegetação existente, e consequentemente os habitats da fauna nativa, através da destapagem, por exemplo, das "cabeças de mármore", onde por vezes o interesse económico é bastante baixo.

Com o surgimento das sondagens, as intervenções negativas sobre o ambiente, foram em parte ser colmatadas nesta fase, assim como a exploração futura, uma vez que se poderão estimar os valores de qualidade e quantidade das jazidas, havendo uma tendência para minorar as dimensões das futuras escombreyras. A corroborar esta tese, segundo CABRAL (1995), as probabilidades de êxito são maiores pois o grau de confiança para os factores de risco aumenta consideravelmente. No entanto, ainda de acordo com o mesmo autor, "ainda hoje a pesquisa é baseada, na maior parte dos casos, na existência de afloramentos na vizinhança de outras pedreiras ou na existência de trabalhos antigos".

3.1.2 IMPACTES GERADOS DURANTE A EXPLORAÇÃO

Quando a fase de prospecção e pesquisa levam a considerar a jazida com interesse económico, inicia-se a fase de preparação para a instalação dos equipamentos necessários ao início da exploração. Estes trabalhos incluem o saneamento geral do terreno, consistindo

na remoção de terra vegetal e dos restantes solos de cobertura, recorrendo-se ao abate de vegetação típica da região, introduzindo variações importantes nos habitats existentes, tal como na estrutura e funcionalidade do espaço.

Os impactes sob a vegetação não se limitam a estes, podendo verificar-se ainda a danificação das raízes devido à extracção nas suas proximidades, à elevada compactação do solo, à formação excessiva de poeiras susceptíveis de atingir a vegetação a uma distância relativamente grande devido à sua facilidade de transporte. A interferência no sistema de águas subterrâneas conduz a um abaixamento do seu nível, e ainda à contaminação por partículas sólidas, gases e poeiras.

Os principais impactes que ocorrem nesta fase são:

- o Impacte na Estrutura Geológica – As escavações no substrato rochoso e a remoção dos terrenos de cobertura permitem a aceleração dos processos erosivos e potenciam a possibilidade de ocorrer a instabilidade de taludes;
- o Impacte sobre o Solo – Esta tipologia de impacte pode ser de duas naturezas (ITGE, 1989):
 - Ocupação irreversível de solo fértil pela decapagem, escavação e formação de escombreyras, e pela construção de vias de comunicação, edifícios e áreas de tratamento dos minerais;
 - Alterações edáficas nas zonas limítrofes à exploração, através das operações derivadas dos processos de escavação, formação de escombreyras e construção de vias, provocando impactes locais moderados, devido à acumulação de resíduos, poeiras, etc;
- o Impacte na Hidrologia, Hidrogeologia e Qualidade da Água – Para SANTOS OLIVEIRA *et al.* (2002) os efluentes líquidos portadores de metais pesados, poeiras e outros resíduos (escorrências das escombreyras e águas drenadas das minas), que correm livremente para as linhas de água e penetram nos aquíferos subterrâneos constituem uma fonte geradora de contaminação antropogénica do meio hídrico na envolvente das explorações mineiras, quer tenham sido a céu aberto, ou por lavra subterrânea;
- o Impacte na Qualidade do Ar – Os principais impactes na qualidade do ar resultam essencialmente pela emissão de poeiras, induzidas pelos processos que decorrem da laboração das explorações e circulação de veículos, a emissão de poluentes atmosféricos libertados pelo escape dos veículos e máquinas envolvidos nos trabalhos e transporte de materiais na fase de exploração, e a emissão de gases tóxicos resultantes do tratamento dos minerais;
- o Ruído e Vibrações – Os impactes causados no ambiente sonoro resultam do ruído gerado principalmente na fase de exploração, sobretudo o ruído produzido pelas

escavadoras, equipamento de perfuração e corte, dos veículos pesados e uso de explosivos;

o Impacte na Morfologia e Paisagem – Os impactes sobre a morfologia do terreno decorrem sobretudo por impacte directo e possuem um significado acrescido pela influência que tem sobre outros descritores, como sejam a destruição de solo, a destruição física de habitats ocorrentes, desvalorização do valor cénico da paisagem, alterações do regime de escoamento superficial e subterrâneo e infiltração, etc;

o Impacte na Vegetação – Os impactes a este nível podem ser avaliados em:

- Impactes directos, derivados da degradação ou destruição do coberto vegetal por remoção de terra, abertura de caminhos, áreas de escavação, instalação de anexos e deposição de materiais (escombros, terras, entulhos, blocos de pedra, etc.);
- Impactes indirectos, derivados da alteração do ambiente por alteração do nível freático, deposição de poeiras nas superfícies foliares impedindo a realização da fotossíntese, danificação e arranque das raízes;

o Impacte na Fauna – A remoção do solo e cobertura e vegetação assim como a compactação do solo, mobilização de terras inerentes à construção de caminhos e implantação de estruturas de apoio às pedreiras provocam a eliminação física de indivíduos de vida hipógea⁶ e da microfauna. Os impactes sonoros e visuais contribuem significativamente para afectar as comunidades orníticas⁷ embora seja difícil quantificá-los tanto isoladamente como por acção sinérgica com outros factores de perturbação;

o Impacte de Âmbito Sócio-Cultural – Os impactes no património construído, nomeadamente no património histórico-cultural, monumental e arquitectónico, podem ocorrer por acção indirecta com a degradação das fachadas pela acumulação de poeiras, fumos e gases, ou por acção directa através das vibrações que danificam edifícios próximos ou locais de interesse arqueológico. Ao nível socio-económico, podemos encontrar impactes (PINHO, 1994):

- Demográficos – efeitos sobre a dimensão e distribuição das populações, padrões de povoamento, etc;
- Socio-económicos – efeitos sobre as características das populações, vulgarmente ilustradas pelos “indicadores de qualidade de vida”;

⁶ Indivíduos que vivem abaixo do nível do solo.

⁷ Comunidades de aves.

- Sociais e Culturais – prendem-se com o funcionamento e afectação de valores dos diversos grupos sociais que constituem uma comunidade;
- Económicos – podem ser estimados pela avaliação do volumes de emprego, níveis de rendimento e sua distribuição comunitária, etc.

As minas a céu aberto são ainda susceptíveis de intervir na dinâmica do espaço de várias formas conforme o tipo de exploração (flanco de encosta, fossa, etc.). Para as rochas ornamentais exploradas em flanco de encosta, refere MARTINS (1998), que os impactes específicos decorrentes da extracção variam com as seguintes fases:

- Preparação da área de escavação;
- Serragem de bancadas;
- Esquadreamento dos blocos;
- Transporte;
- Deposição dos estéreis.

Durante esta fase, para além dos danos paisagísticos (visuais), deve-se ainda apontar os principais problemas ambientais directos que poderão constituir também problemas de segurança.

3.1.3 IMPACTES DECORRENTES DO ABANDONO DA EXPLORAÇÃO

A fase de abandono ocorre após a cessação da actividade explorativa ou após os trabalhos de pesquisa e prospecção. Quando as alterações do solo são mínimas, os impactes são pouco significativos pelo seu carácter localizado e temporal no uso do solo. Quando as alterações do solo são profundas e por vezes irreversíveis dificilmente são reunidas as características e as condições necessárias para uma organização estrutural e funcional da área e do meio físico envolvente.

Podem registar-se impactes bastante importantes sobre a vegetação mesmo depois do fim da laboração, nomeadamente os resultantes de interferências no regime hídrico, quer subterrâneo quer superficial, que em maior ou menor grau necessitam sempre de um intervalo de tempo bastante considerável para a sua recuperação.

No caso particular das minas metálicas e afins, o principal problema ambiental relaciona-se com resíduos de exploração, muito particularmente quando são radioactivos ou a sua

paragénese⁸ contém sulfuretos metálicos, os quais, se não forem convenientemente depositados, podem originar águas ácidas, a contaminação de solos e aquíferos por elementos metálicos e radioactivos. (COSTA, 2001)

Segundo BRGM (2001), os principais riscos para o ambiente associados aos desperdícios mineiros são:

- Riscos associados, não só directamente com potenciais fontes poluidoras, mas também com o contexto ambiental em que a actividade se insere. A avaliação dos riscos provenientes dos potenciais focos de poluição é dependente da caracterização mineral dos sólidos, das características biofísicas (solo, água subterrânea, água de superfície, qualidade do ar, etc.) e dos alvos potenciais (ser humano, fauna e flora).
- Riscos associados com a estabilidade dos taludes das escombreyras, com a abertura de poços, etc.

O abandono a que não se associam medidas com tendência a instalar ou reinstalar vegetação origina uma maior morosidade e dificuldade, no restabelecimento das comunidades vegetais, tão próximo quanto possível das originais. As condições gerais são sempre muito diferentes das que existiam antes da exploração, e se o abandono se traduz na concepção de que o que a vegetação dispõe para se instalar e evoluir não passa de um fosso, paredes íngremes, taludes escarpados e grandes montes de rochas. A possibilidade da vegetação se instalar e desenvolver é muito difícil pois as condições oferecidas são tudo menos favoráveis.

No entanto, o abandono das pedreiras pode gerar impactes positivos na fauna de vertebrados dado que proporciona a presença de espécies de nidificação rupícola, entre outras. É importante salientar que algumas espécies se adaptaram de tal forma a este micro-habitat que, provavelmente, já não sofrem grandes pressões negativas. As pedreiras abandonadas funcionam como refúgio para certas espécies (habitat de refúgio) e como habitat de alimentação (acumulação de água).

⁸ A paragénese mineral é uma associação originada no decurso de um processo limitado no espaço e no tempo, e que tem lugar em determinadas condições físico-químicas, pode ser descrita como a maior ou menor tendência que os minerais têm para uma ocorrência comum.

4. AS TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

A generalização do uso das Tecnologias de Informação Geográfica (TIG), nomeadamente os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e Detecção Remota (DR), e os resultados, proporcionados pela crescente investigação nas Ciências da Informação Geográfica (CIG), tem-se revelado uma ferramenta de imprescindível e extraordinária relevância no conhecimento e gestão dos sistemas ambientais, assim como um suporte de apoio à decisão no planeamento territorial. Esta perspectiva permite concluir que as TIG são importantes recursos estratégicos para as diferentes ciências que as utilizam enquanto disciplinas, assim como para a sociedade como um todo. (FERREIRA, 2002, PONS e PÉREZ, 2003)

Segundo JULIÃO (2001) “o termo TIG procura abranger o tipo de plataformas e sistemas informáticos utilizados no processamento de informação georreferenciada.” Incluem-se, neste grande grupo, os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), os Sistemas de *Desktop Mapping*, os Sistemas de Detecção Remota, os Sistemas de Posicionamento Global (GPS), tecnologias de Realidade Virtual (*Virtual Reality* – VR) e Internet (*World Wide Web* – WWW), assim como todos os tipos de plataformas híbridas e sub-sistemas relacionados com o processamento de Informação Geográfica (IG)⁹. A tecnologias VR e WWW não são TIG, na sua essência, todavia são cada vez mais utilizadas, quer na divulgação de resultados, quer como veículos de acesso a funções de análise.

Segundo PAINHO *et al.* (1999), as TIG estão cada vez mais integradas com outras tecnologias de informação. Como tal “a adopção de processos e metodologias de desenvolvimento padronizados trazem grandes vantagens na implementação de aplicações de IG”, permitindo assim uma diminuição do tempo de desenvolvimento, uma maior integração das TIG com os Sistemas de Informação (SI) das organizações e a disponibilização de soluções mais ajustadas às necessidades dos utilizadores.

Estas tecnologias são exploradas de forma diferenciada consoante as diferentes fases de um projecto SIG, como ilustra a Figura 7.

⁹ O conceito de IG não se limita à informação cartográfica; ele deverá ser entendido num sentido lato que engloba todo o tipo de dados directamente materializáveis sobre a representação cartográfica e susceptíveis de análise espacial. (JULIÃO, 2001)

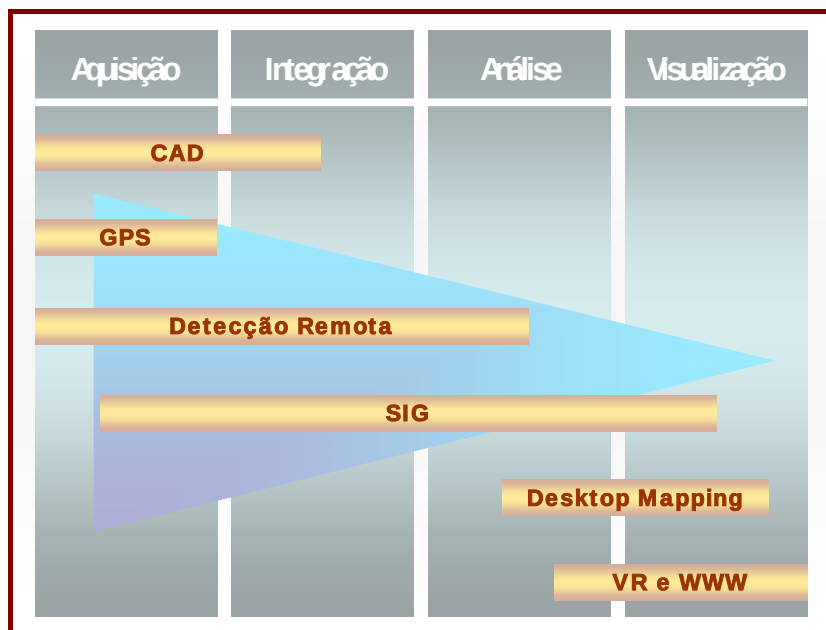


Figura 7 – As TIG e a sua utilização no contexto de um Projecto SIG (JULIÃO, 2001)

Convém ainda referir que muitas vezes são utilizadas outras designações que se referem igualmente a esta tecnologia, nomeadamente LIS – *Land Information Systems* – SIG de uso municipal que integra informação geográfica de uso municipal relativa a direitos de propriedade com outros tipos de informação sobre o uso do solo, valor da terra e distribuição de recursos naturais e culturais. (FONSECA *et al.*, 1992)

4.1 OS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)

4.1.1 DEFINIÇÕES DE SIG

Os sistemas de informação correspondem a conjuntos específicos de instruções para a manipulação de um determinado tipo de dados que, neste caso, operam sobre informações e natureza geográfica ou seja, dados geográficos¹⁰, assumindo assim a designação de SIG.

¹⁰ Dados onde se incluam referências a localizações no espaço podem ser designados como informação geográfica. Segundo FALCONER e FORESMAN (2002) há dois componentes fundamentais nos dados geográficos: a sua posição geográfica e os seus atributos ou propriedades.

BURROUGH (1986), define SIG como "um conjunto de ferramentas para recolher, armazenar, transformar e visualizar dados de natureza espacial do mundo real, para um conjunto particular de objectivos".

Um SIG pode ser considerado não só como pelo conjunto de ferramentas de *software*, mas incluindo também outros elementos sem os quais não seria possível atingir os objectivos preconizados. Um conceito de SIG pode ser assim alargado de forma a constituir "um sistema de *hardware*, *software* e procedimentos, desenhado para realizar a captura, armazenamento, manipulação, análise, modelação e apresentação de dados referenciados espacialmente para a resolução de problemas complexos de planificação e gestão" (GOODCHILD e KEMP, 1991).

A definição dada por ARONOFF (1989) coloca em destaque a característica de um SIG, que o pode distinguir de outros sistemas de análise, no facto de ser especialmente vocacionado para lidar com "objectos e fenómenos em relação aos quais a localização geográfica é uma característica importante ou crucial para o problema em análise".

O SIG pode ser considerado também pela sua aplicação final: "um SIG é um sistema de apoio à decisão que envolve a integração de dados geo-referenciados, num ambiente orientado para a resolução de problemas" (COWEN, 1988).

A Figura 8 ilustra as aplicações de SIG classificadas por GOODCHILD e KEMP (1991) nos seguintes grupos:



Figura 8 – Aplicações SIG (adaptado de GOODCHILD e KEMP, 1991)

Segundo KRAAK e ORMELING (2003), o desenvolvimento extremamente rápido dos SIG tem sido beneficiado e intensamente estimulado pelos seus diferentes campos de actuação, uma vez que estes têm diferentes necessidades, permitindo simultaneamente a adaptação de processos e modelos entre as diferentes áreas de aplicação.

Os SIG podem então ser encarados como um meio de armazenar, editar e manipular informação sobre características da superfície da Terra. No entanto, eles podem ter uma função mais nobre, servindo como locais de experimentação para estudar processos ambientais, para analisar os resultados de tendências, para estudar fenómenos cujo comportamento tenha uma componente espacial e/ou temporal, ou ainda para simular os possíveis cenários resultantes de determinadas decisões ao nível de planeamento e ordenamento do território. Um SIG é um sistema que apresenta, como característica nuclear, um grande potencial no campo da análise espacial¹¹.

Os SIG permitem ainda a intercomunicabilidade entre diferentes sistemas, o que viabiliza trocas de informação gráfica e alfanumérica.

Um mesmo SIG deve servir simultaneamente diferentes objectivos e vários tipos de utilizadores. Distinguem-se três diferentes perspectivas: a produção de cartografia, a construção de bases de dados e a análise espacial. (MAGUIRE, 1991).

A primeira perspectiva encara os SIG como sistemas para processamento e visualização de mapas (TOMLIN, 1991).

A segunda, realça a importância dos SIG terem subjacente uma base de dados bem construída e possuírem um sistema de gestão de base de dados potente (FRANK, 1988).

A terceira, distingue a capacidade dos SIG para efectuarem análise espacial, defendendo a existência de uma ciência da informação espacial em alternativa à perspectiva tecnológica com que geralmente os SIG são abordados (OPENSHAW, 1991, GOODCHILD, 1992).

4.1.2 SÍNTESE DA EVOLUÇÃO HISTÓRICA DOS SIG

COPPOCK e RHIND (1991) distinguem quatro fases distintas na evolução dos SIG. A primeira fase desenrolou-se entre o início da década de 60 e meados de 70, em que predominaram contribuições individuais por parte de diversas personalidades. RIMBERT (1995) refere que, nos finais dos anos 60, na Suécia, por razões fiscais, e no Canadá¹², para o inventário de

¹¹ Entende-se por análise espacial o conjunto de métodos analíticos que se baseiam na informação relativa à localização no espaço dos objectos, eventualmente em conjunto com outros tipos de informação.

¹² Há autores que consideram que o primeiro SIG foi implementado no Canadá em 1962, denominado *Canadian Geographic Information System* (CGIS).

terras agrícolas, surgiu o conceito SIG, que focava o computador como um instrumento de gestão da informação espacial.

A segunda fase durou até ao início da década de 80 e caracterizou-se pela realização de diversas experiências desenvolvidas e promovidas por organismos oficiais, enquanto que as experiências e acções locais se efectuaram de um modo muito independente. Em Portugal, MACHADO (2000) relata as experiências da Junta Nacional de Investigação Científica, do Gabinete da Área de Sines, da Empresa Geral de Fomento, entre outras instituições, ao nível da concepção e funcionamento com estes sistemas nestes dois períodos.

SILVA (1982) salienta que a “produção de dados sobre o terreno sob a forma digital, pode considerar-se como início do caminho para a execução de cartas de características formais inovadoras, sendo de esperar um rápido desenvolvimento desta forma de encarar a execução da cartografia.”

Na terceira fase, até finais de 80, predominou a actividade comercial. No início dos anos 80 a ESRI lança no mercado o ArcInfo, para alguns anos mais tarde desenvolver a versão PC ArcInfo. Paralelamente a Intergraph cria o seu sistema, o MGE (*Modular GIS Environment*). Por sua vez a Map Info Corporation lança produtos vocacionados para o negócio.

Em Portugal, no início dos anos 80, iniciava-se o projecto da Base de Dados para Análise Regional, projecto conjunto entre o Centro de Estudos Geográficos da Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa (CEG) e o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC). MACHADO (2000)

Na quarta e actual fase, a preocupação dominante centra-se nos utilizadores, motivada pela concorrência existente entre os numerosos vendedores de produtos destinados à realização de SIG e à preocupação crescente relativamente à normalização dos sistemas abertos. Surgem soluções mais apelativas na relação qualidade-preço (o Manifold[®] e o Idrisi Kilimanjar[®] são produtos com grande potencialidades e de baixo custo), surgem *softwares* especializados (o Surfer[®] é uma aplicação para a análise topográfica e o Hec-Ras[®] para modelação hidrológica, constituem bons exemplos), os *softwares* de domínio gratuito começam a ter alguma expressão (o [®]Spring e o [®]Grass surgem como os mais citados).

De salientar ainda o surgimento o *Open GIS Consortium* (OGC), em 1994, como um marco relevante do início da padronização de um formato para SIG cujo objectivo é possibilitar o intercâmbio de dados entre plataformas de *software* de forma transparente para os diversos utilizadores. MOTA *et al.* (2001) salientam a responsabilidade da OGC no desenvolvimento da *Geography Markup Language* (GML), cujos objectivos são:

- Codificar IG, nomeadamente as suas propriedades espaciais e não espaciais;
- Realizar esta codificação de uma forma aberta, independentemente do SIG e da plataforma utilizados;

- Partilhar tanto os esquemas de organização da IG, como os conteúdos que a eles recorram.

Em Portugal, em 1995, é inaugurada a rede do Sistema Nacional de Informação Geográfica (SNIG), implementado pelo Centro Nacional de Informação Geográfica (CNIG). Segundo FAVA e HENRIQUES (1999) “os objectivos da implementação do SNIG, inicialmente dirigidos para os inventários dos dados digitalizados existentes no país, diversificaram-se passando a incluir novas vertentes, designadamente a que visa “povoar” de IG a rede do SNIG.”

Actualmente os SIG são utilizados como ferramentas de análise espacial e modelação geográfica, e podem ser considerados como ponto de convergência entre várias áreas, tais como: Geografia, Cartografia, Fotogrametria, Detecção Remota, Geodesia, Estatística, Investigação Operacional, Informática, entre outras.

4.1.3 MODELOS E ESTRUTURAS DE DADOS

Um modelo de dados é um conjunto de ferramentas conceituais utilizado para estruturar dados num sistema computacional. O modelo descreve como a realidade geográfica será representada no computador. Nenhuma outra decisão limita tanto a abrangência e o desenvolvimento futuro do sistema quanto a escolha dos dados. (CÂMARA, 1995)

Segundo NEVES *et al.* (2001) “no que respeita aos modelos de dados SIG, os desenvolvimentos mais recentes vão no sentido do desenvolvimento de estruturas altamente especializadas em função do tipo de análise a efectuar. Estes modelos de dados são inegavelmente vantajosos para a realização de certos tipos de análise espacial como é o caso da análise de redes, mas, ao excluírem a dimensão compósita impossibilitam a compreensão do espaço enquanto cenário de relações complexas, só susceptíveis de serem desvendadas num contexto de integração vertical do maior número de temas de informação possível para cada ponto no território”.

Existem basicamente dois tipos de informação que se podem representar geograficamente num mapa:

- Informação de Carácter Espacial, que descreve a localização e a forma dos elementos geográficos, e as relações espaciais com os outros elementos;
- Informação Descritiva, ou atributos associados aos elementos geográficos.

A representação, em formato digital, da distribuição espacial das entidades geográficas assume duas formas fundamentais: *Raster* e *Vectorial*.

O modelo *raster* consiste numa rede ortogonal de células de formas regulares, que podem ser grelhas quadrangulares, tipo matriz (*grid*) ou hexagonais, e foi inicialmente desenvolvido para modelar entidades contínuas. Este modelo representa a informação em quadrícula, na qual a localização de cada célula ou *pixel* da *grid* é definida por um par de coordenadas x e y, respectivamente o identificador da linha e o identificador da coluna.

O elemento representado por cada *pixel* depende do tipo de informação que a imagem representa. Segundo DEMERS (2002) para cada elemento da matriz *raster* existe uma representação numérica, que por sua vez caracteriza os elementos que se pretendem representar. Para CÂMARA e MONTEIRO (2004) os dados são codificados, célula a célula, atribuindo a cada uma o código correspondente à classe referente ao fenómeno estudado. Para tal é necessário estabelecer critérios como por exemplo, atribuir a cada célula o código da classe sobre a qual estiver o centro da quadrícula, ou adoptar-se o critério da maior ocorrência, correspondendo o código à classe que ocupar a maior parte da célula.

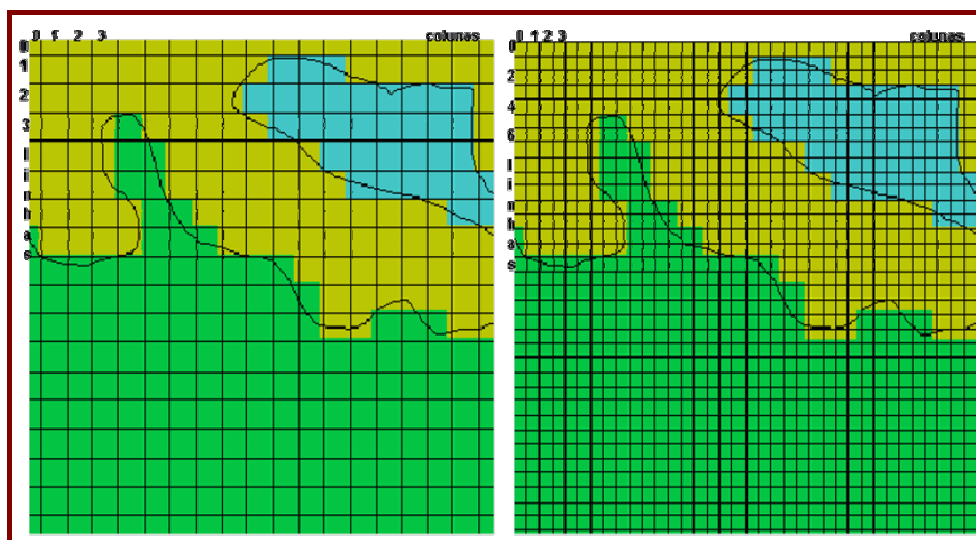


Figura 9 – Diferentes resoluções de uma *grid* (CÂMARA e MONTEIRO, 2004)

A resolução das *grids* constitui um factor relevante na análise, uma vez que quanto menor for a área representada por cada célula, maior será a resolução da informação.

A informação armazenada pode ser de dois tipos: de carácter contínuo representada por um número real (*floating point grid*), ou de forma discreta, representada por um número inteiro ou alfanumérico. Conforme a *grid* seja do tipo *floating point* ou discreta também varia bastante o espaço de armazenamento dessa *grid* e, conseqüentemente o acesso à informação, e o tratamento e análise dessa informação.

Os métodos baseados em dados *raster* são especialmente vocacionados para aplicações em que uma precisão posicional elevada não constitui um elemento prioritário, sendo muito utilizados na simulação computacional e análise de processos espaciais como no caso da gestão de recursos naturais, inventários florestais, análise de habitats ou modelação hidrológica (BURROUGH e McDONNEL, 1998).

O facto de as imagens obtidas evidenciarem linhas de contorno não reais, constitui uma limitação deste tipo de estruturas de dados, uma vez que estas se formam a partir de lados de polígonos que constituem a grelha.

As funções de tipo *spline* para atenuar este aspecto e produzir imagens esteticamente mais aceitáveis. Todavia não constituem uma mais exacta aproximação à realidade. O cálculo de perímetros e áreas pode ser influenciado negativamente por este tipo de imprecisão.

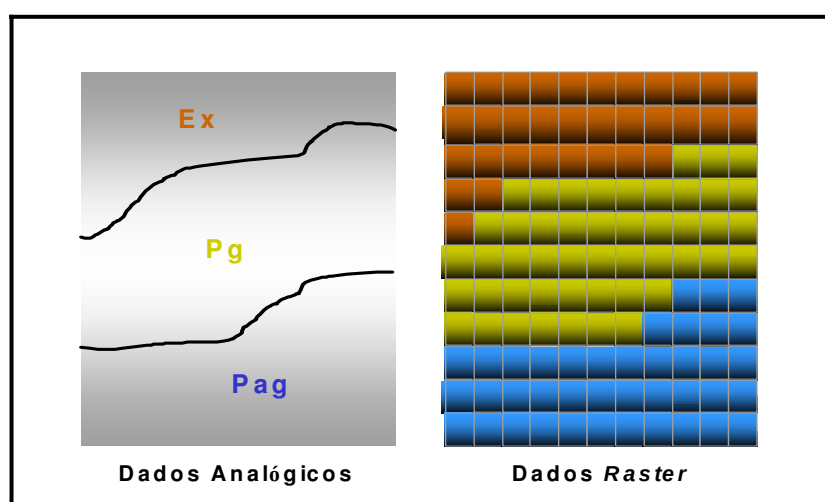


Figura 10 – Dados analógicos vs. dados *raster* (adaptado de PUEBLA e GOULD, 1994)

As vantagens do modelo *raster* são várias, nomeadamente:

- Estrutura simples dos dados;
- Facilidade de sobreposição de diferentes *layers*;
- Adopção do mesmo conjunto de células para cada variável, permitindo consequentemente comparações individuais.

Os SIG do tipo vectorial, mais adequado para representar entidades discretas, utilizam como base de referência informação geográfica organizada em entidades que podem ser de quatro tipos:

- Pontos – representam toda a informação que possa ser descrita através de um par de coordenadas;
- Linhas – representam todos os elementos lineares através de segmentos de recta;
- Polígonos – são regiões delimitadas, constituindo as entidades mais utilizadas nos SIG, e podem ser adjacentes, quando partilham a fronteira com pelo menos outro polígono, ou encaixados quando se encontram totalmente circundados por outro polígono.
- Superfícies – implicam uma representação tridimensional com comprimento, largura e altitude/profundidade.

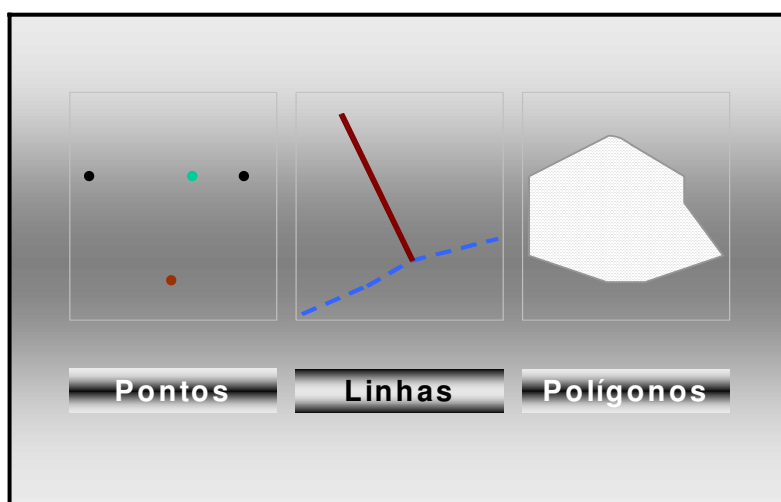


Figura 11 – Formato vectorial (modificado de PUEBLA e GOULD, 1994)

Esta informação, uma vez introduzida no sistema, é objecto de uma reestruturação interna, com o objectivo de proporcionar as operações complexas de análise espacial para os quais os SIG forma desenvolvidos. (CNIG, 1994)

A primitiva geométrica fundamental é o ponto, sendo que os objectos são criados através da ligação de pontos e segmentos de recta, sendo os polígonos definidos por um conjunto de linhas. A localização de uma entidade ponto pode ser descrita como conjuntos de pares ordenados, enquanto que as entidades lineares podem ser armazenadas como um colecção de pontos coordenados. Por sua vez, as entidades poligonais podem ser armazenadas como uma sequência fechada de coordenadas.

Aos pontos, linhas e polígonos podem ser adicionados atributos temáticos que os caracterizam. (KONECNY, 2003)

Segundo LARA *et al.* (1998) os modelos vectoriais mais vulgares são o modelo *spaghetti* e o modelo topológico. Na estrutura em *spaghetti*, cada polígono é referenciado na base de dados como uma entidade determinada definida por um conjunto de coordenadas correspondentes a uma área delimitada, também referenciados como polígonos simples. Um ficheiro construído deste modo é essencialmente uma colecção de vectores sem nenhuma ligação entre si.

No modelo topológico, as relações espaciais entre as diversas entidades são claramente definidas. Dentro destes modelos podemos destacar os modelos de estrutura relacional, em que o arco é considerado a entidade linear básica, sendo as entidades complexas representadas por arcos que começam e acabam em nós que constituem os pontos de intersecção entre dois arcos.

As vantagens do modelo vectorial podem resumir-se nos seguintes itens:

- Boa representação da estrutura geral dos dados;
- Pequena ocupação de espaço de armazenamento;
- Melhor visualização e *outputs* gráficos.

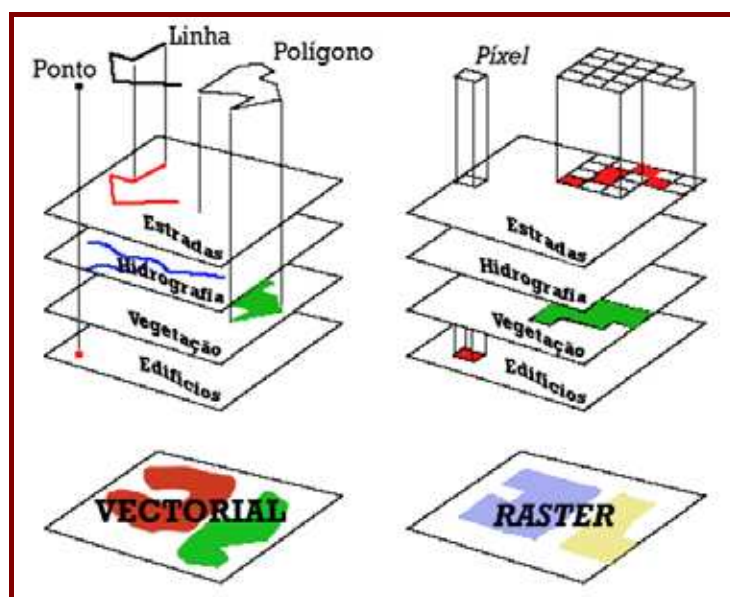


Figura 12 – Modelo Vectorial vs. Modelo *Raster* (adaptado de ITAMI e RAULINGS, 1993)

Qualquer dos modelos, vectorial e *raster*, para armazenar dados geográficos têm vantagens únicas e desvantagens. Segundo SENDRA (1997) a comparação entre os modelos de dados mencionados refere-se sobretudo ao volume de armazenamento, qualidade da

representação gráfica, exaustividade da representação e facilidade de processamento. Enquanto que o modelo vectorial está mais vocacionado para a representação de dados com níveis de precisão elevados, o modelo *raster* é mais indicado nos processos de modelação geográfica e análise espacial.

4.1.4 MODELOS DIGITAIS DO TERRENO

Os Modelos Digitais de Elevação (MDE), ou também chamados Modelos Digitais de Terreno (MDT) são representações digitais de variações contínuas do relevo no espaço (BURROUGH, 1986). FELICÍSIMO (1994) define um MDT como uma estrutura numérica de dados que representa a distribuição espacial da altitude da superfície do terreno.

Embora tenham sido originalmente concebidos para modelar a topografia, eles podem ser utilizados para modelar a variação contínua de qualquer variável numa superfície bidimensional. Podem ter ainda uma função de suporte à representação de uma variável, de imagem de satélite ou ortofotomapa, como ilustra a imagem seguinte.



Figura 13 – Ortofotomapa com dados Hipsométricos associados no ESRI® ArcScene™ 9.0

A análise morfológica do terreno, em particular a caracterização dos declives, orientações e exposições constitui um instrumento essencial para a caracterização de um conjunto de processos naturais e avaliação de condicionantes de uso desse território. (GUIOMAR *et al.*, 2001)

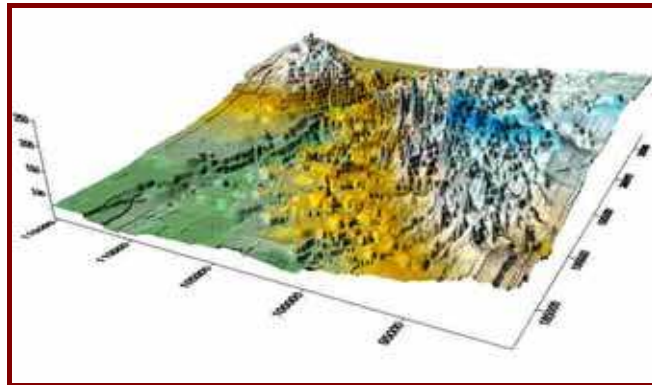


Figura 14 – Modelo tridimensional gerado pelo Surfer®

A resolução de um MDT é determinada pelo número de observações utilizado. Os MDT são criados a partir de séries de pontos, espacialmente distribuídos de forma regular ou irregular, que para além das suas coordenadas (x,y) ainda possuem valores relativos à sua cota. (HEYWOOD *et al.*, 1998)

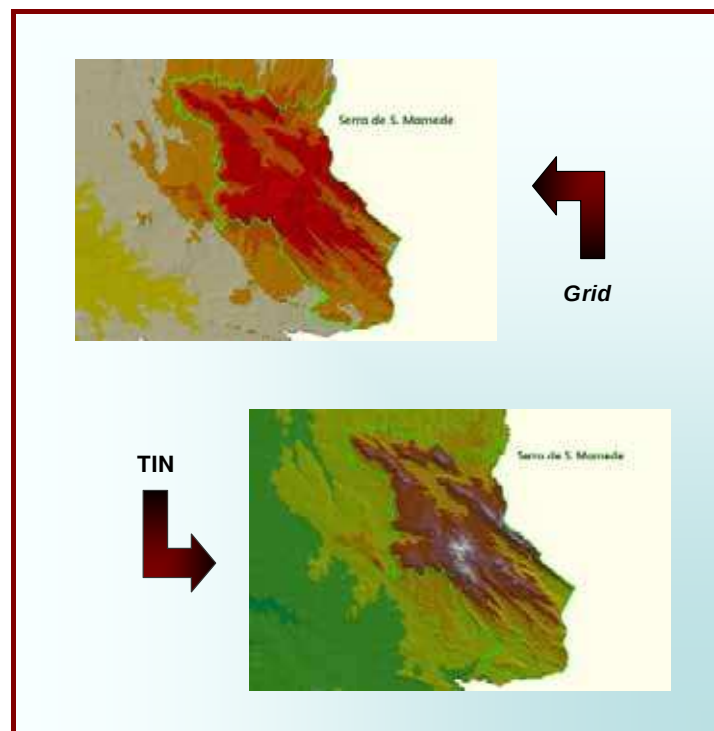


Figura 15 – Representação Tridimensional da Serra de S. Mamede (GUIOMAR, 2004)

Segundo SIMÃO e RODRIGUES DE CARVALHO (1999) a estrutura de dados dos MDT “enquadra-se num dos dois tipos de modelo: Grelha Rectangular de Pontos (*grid*) ou Rede Irregular de Triângulos (TIN). A escolha do tipo de representação a utilizar na construção do modelo será condicionada, entre outros factores, pela própria morfologia do terreno e pelo fim a que se destina”.

Outra das potencialidades das estruturas de dados vectoriais, reside na representação de MDT, através de uma *Triangulated Irregular Network* (TIN) representada na Figura 19.

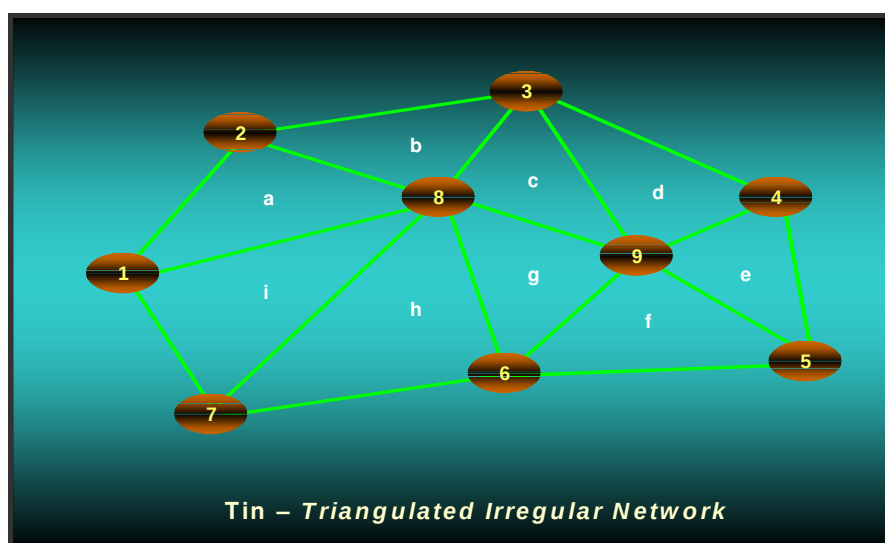


Figura 16 – Triangulated Irregular Network (adaptado de PUEBLA e GOULD, 1994)

Esta estrutura utiliza uma amostra de pontos de distribuição irregular no espaço, com mais observações nas áreas de maior rugosidade. Tanto o método de construção de triângulos de *Delaunay*, como o seu dual de criação de Polígonos de *Thiessen* ou Diagrama de *Voronoi*, são estruturas geométricas que relacionam pontos num plano, gerando-se áreas caracterizadas pelo respectivo declive e orientação.

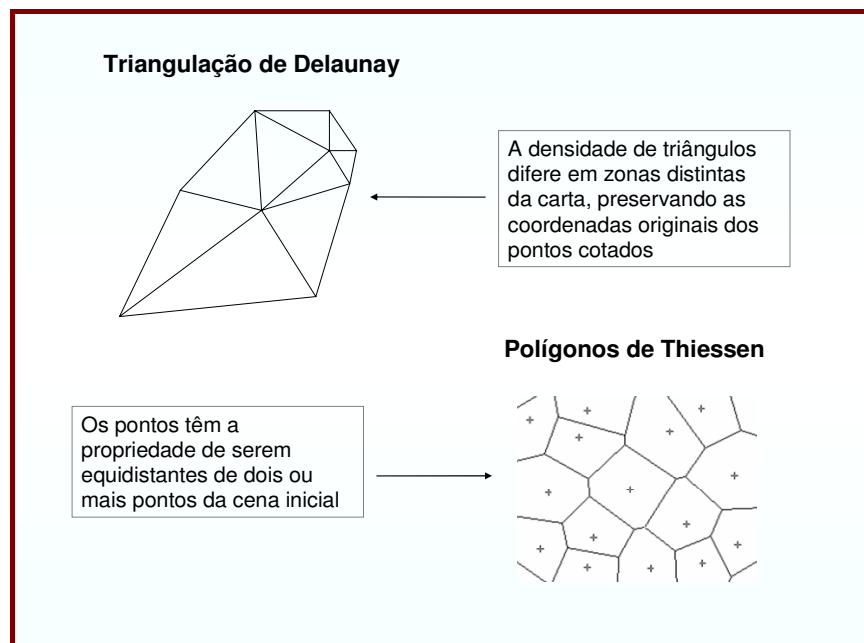


Figura 17 – Triangulação de Delaunay e Diagrama de Voronoi

Segundo SILVA e SOUSA (2001), o diagrama de Voronoi é uma estrutura geométrica que representa a informação de proximidade entre um conjunto de objectos, enquanto que a triangulação de Delaunay, como dual do diagrama de Voronoi, consiste na interligação, através de segmentos de recta, dos pontos cujos polígonos de Voronoi são adjacentes. (Figura 20)

Segundo MATOS (2001) “a triangulação de Delaunay é a mais frequentemente utilizada na construção de modelos de terreno. Esta triangulação tem a propriedade de a circunferência definida pelos três pontos de um triângulo não conter qualquer outro ponto do conjunto de pontos que definem a triangulação.”

A representação de MDT através das estruturas de dados raster pode ser feita através de uma *grid lattice* ou de uma *surface grid*. A primeira consiste numa *grid* regular, ortogonal, onde o valor de z se situa no centro da célula, enquanto que a segunda considera que toda a superfície de cada célula dessa *grid* tem valor constante.

4.1.5 ALGUMAS NOÇÕES SOBRE BASES DE DADOS

Pode-se definir uma Base de Dados (BD) como um conjunto integrado de dados que serão partilhados e utilizados concorrentemente para múltiplos objectivos por múltiplos tipos de utilizadores. Como suporte da base de dados existe um Sistema de Gestão de Base de

Dados (SGBD) que permite a organização, armazenamento e manipulação da informação da base de dados. O SGBD gere a partilha de informação de uma forma ordenada e assegura a integridade dos dados. (CNIG, 1994)

Requisito	Definição
Manipulação	A modelação da base de dados deve reflectir a realidade das aplicações e o acesso aos dados deve ser feito de forma simples
Correcção	Os dados armazenados na base de dados devem reflectir a realidade modelada
Manutenção	As alterações na forma de armazenamento não devem afectar as aplicações
Confiabilidade	As actualizações não devem provocar perdas de dados e não devem interferir umas com as outras
Segurança	O acesso aos dados deve ser controlado de acordo com os direitos definidos para cada aplicação ou utilizador
Desempenho	O tempo de acesso aos dados deve ser compatível com a complexidade da consulta

Tabela 1 – Principais requisitos para SGDB (adaptado de FERREIRA *et al.*, 2005)

Acrescidamente, podem realizar-se operações sobre tabelas, através de um conjunto de operadores relacionais que "simulam" a Álgebra Relacional. São exemplos destas a restrição, a projecção, a união, a diferença, a intersecção, o produto e a junção (*Join*).

4.2 ANÁLISE ESPACIAL E MODELAÇÃO GEOGRÁFICA EM SIG

Um SIG é um sistema que apresenta, como característica nuclear, um grande potencial no campo da análise espacial e modelação geográfica de conjuntos de dados espaciais.

Todavia, as possibilidades de análise espacial disponíveis num SIG, sendo significativas, não são ainda largamente utilizadas, e este facto prende-se sobretudo com a escassa formalização teórica das metodologias de análise (NEVES, 1995).

Segundo WYATT e RALPHS (2003) uma das vantagens principais da tecnologia SIG consiste na sua capacidade para adquirir conhecimento a partir de padrões geográficos.

A noção de análise espacial num SIG comporta a ideia da integração de dados espaciais e atributos alfanuméricos e traduz-se numa série de funções relacionadas com a selecção e pesquisa de dados, por um lado, e com modelação, por outro (NEVES e CONDESSA, 1993).

Têm-se verificado progressos substanciais nas técnicas de análise espacial em SIG, principalmente na forma de apreender mais fielmente as relações inerentes aos fenómenos geográficos, algo que, segundo MILLER (1999), a investigação provou não ser possível por técnicas não espaciais.

A associação de procedimentos estatísticos espaciais aos SIG tem revelado enorme relevo. Actualmente a Geoestatística consiste num conjunto de técnicas usadas para analisar e inferir valores a variáveis com distribuição no espaço e/ou no tempo. (CAMARGO *et al.*, 1999)

Segundo NEVES (2000) “uma nova era da análise espacial deve também considerar as possibilidades de integração de inteligência artificial em processos de simulação em ambientes computadorizados em estreita relação com a verificação dos modelos desenvolvidos em situações reais. Este processo interactivo constituirá uma fecunda base de desenvolvimento de novos métodos e processos de análise espacial e representação de conhecimento.”

A modelação espacial pretende simular fenómenos e processos que têm uma dimensão espacial explícita. Os métodos tradicionais de simulação não acomodam a dimensão espacial dos dados, pelo que têm vindo a ser adaptados e desenvolvidos. O cerne da modelação espacial reside em duas componentes: o comportamento do *pixel* em função das suas propriedades/atributos e o comportamento do *pixel* em função das propriedades/atributos de *pixels* vizinhos. (NEVES, 1996)

Os SIG emergiram como úteis ferramentas nos processos de modelação geográfica permitindo responder a questões sobre a variabilidade da estrutura da paisagem com o tempo (TURNER, 1990, MITCHELL *et al.*, 2002), estudar o comportamento do fogo (ANDREWS e QUEEN, 2001, SAIDI, 2002), prever áreas de expansão urbana (YEH e LI, 2002, MARIA DE ALMEIDA *et al.*, 2005), analisar fenómenos de propagação (PIJANOWSKI *et al.*, 2001, NEVES *et al.*, 2002), modelar o movimento e comportamento animal (CRANSTON, 2004, FORMICA *et al.*, 2004), determinar períodos e áreas de elevado risco de inundabilidade (PAULO, 1999, GARCIA, 2000), entre outros fenómenos.

4.2.1 CLASSIFICAÇÃO TAXONÓMICA DAS OPERAÇÕES ESPACIAIS

Pelo facto das operações em ambiente SIG serem muito dependentes do contexto em que se inserem, a seguinte taxonomia corresponde a uma disposição conceptual e independente de qualquer sistema (LANTER e VEREGIN, 1992).

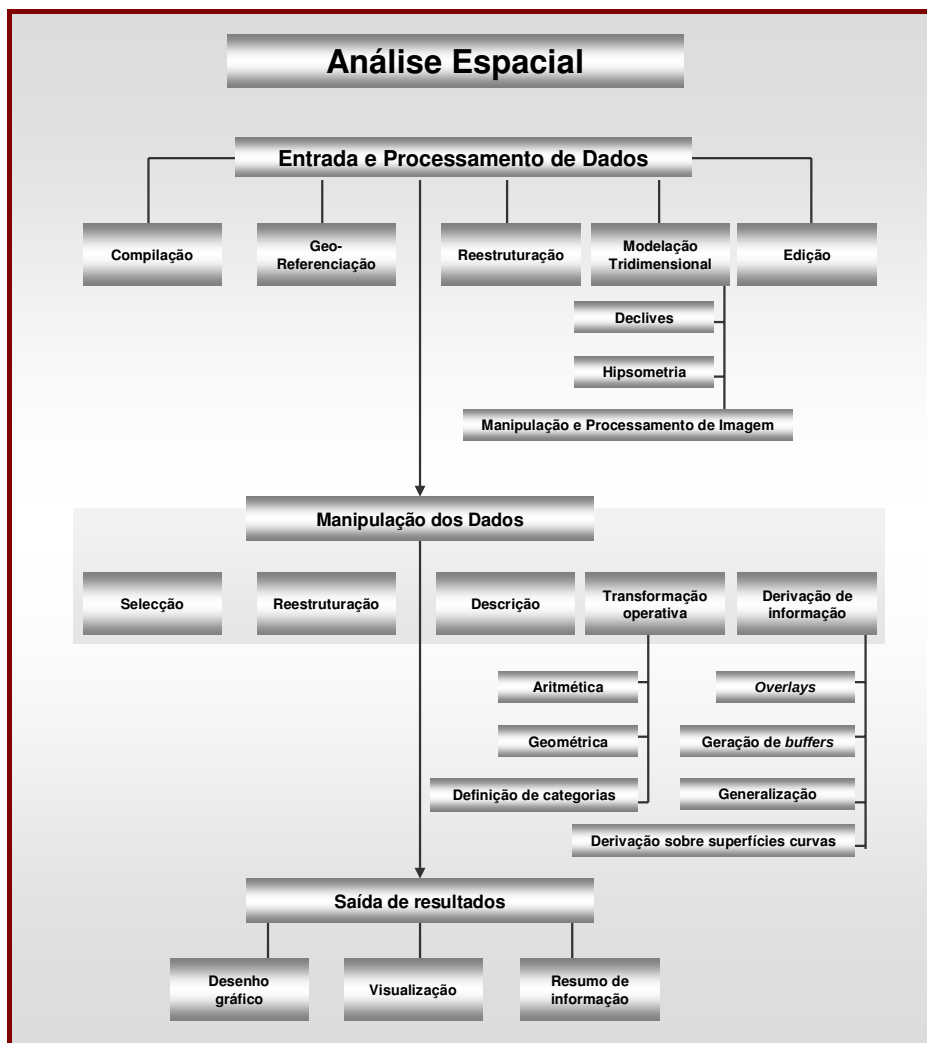


Figura 18 – Taxonomia das operações de Análise Espacial (SANTOS, 2001)

4.2.1.1 ENTRADA DE DADOS

Antes dos dados geográficos poderem ser utilizados num SIG, os dados deverão ser rasterizados e/ou vectorizados. Podemos distinguir quatro fases ou etapas neste capítulo: a compilação, a georreferenciação, a reestruturação e a edição dos dados.

O primeiro processo pode ser automatizado de forma completa, servindo-se de diversas tecnologias: *scanning*, codificação de dados geográficos complementares para o sistema, digitalização, registo de atributos, etiquetagem de objectos, codificação de material proveniente de trabalho de campo, construção de topologias e acertos entre folhas de mapas.

Tais dados terão que ser, num passo seguinte, geo-referenciados¹³, desde a referência espacial de conjuntos de dados, até à conversão de coordenadas entre diferentes sistemas de referência espacial.

A reestruturação dos dados consiste na modificação estrutural de dados importados de modo a compatibilizá-los com o sistema. Estas operações incluem: reformatação dos dados, conversão entre variantes de um mesmo tipo de estrutura de dados, conversão entre diferentes estruturas de dados.

Por fim a edição, a detecção e resolução de inconsistências não espaciais, espaciais ou topológicas. Segundo NUNES e DOMINGUES (1999) a diversidade de formatos e a coexistência de variadíssimas formas de definição dos objectos geográficos, resultou na necessidade imperiosa de uma actividade de normalização neste domínio. Neste processo são definidas uma série de regras sobre: tipo de elementos gráficos a utilizar, parametrização desses elementos, codificação, topologia, etc. (LOURENÇO *et al.*, 1999)

4.2.1.2 MANIPULAÇÃO DE DADOS

É provável que os tipos de dados necessários para um projecto SIG específico, necessitem de ser transformados ou manipulados de forma a torná-los compatíveis com o seu sistema. A tecnologia SIG oferece muitas ferramentas para a manipulação de dados espaciais. Podemos distinguir três funções básicas:

- A selecção utiliza a lógica *booleana* e um conjunto de critérios sobre um determinado conjunto de características. As selecções que se baseiam em características espaciais podem ainda classificar-se como sendo de associação espacial (com base nos conceitos de contiguidade e conectividade), de inclusão ou baseado em endereços (muito utilizado nos sistemas de referência discreta). As selecções sobre atributos permitem que sejam utilizados critérios sobre os valores de atributos temáticos ou de características temporais;
- A descrição de informação está relacionada com as propriedades geométricas dos objectos (forma, dimensão ou ângulo);
- A transformação de dados espaciais ou modificação do valor das características, podem ainda ser subdivididas em aritméticas e de categoria, para atributos, e geométricas, para características espaciais.

¹³ Geo-referenciação de dados – referenciação espacial de conjuntos de dados num sistema de coordenadas pré-seleccionado, e transformação entre sistemas de coordenadas. (ESTEVES, 2004)

- As operações aritméticas sobre um mapa temático resultam da aplicação de uma constante (mediante uma operação elementar ou função trigonométrica, logarítmica ou exponencial) para modificação de um atributo.
- As operações de definição de categorias consistem na modificação de valores referentes aos atributos, reclassificando-os em novas categorias. Dentro destas distinguem-se as operações de classificação, para conversão de atributos quantitativos contínuos em discretos ou nominais, e de reclassificação, para conversão de categorias nominais noutras do mesmo tipo ou de tipo numérico expressando pesos.
- Por fim, as operações geométricas derivam de alteração das características espaciais dos objectos, agrupando-se em três tipos: transformações por projecções (resultam da representação da superfície da terra por meio de um plano), transformações lineares (alteração da escala, rotação, translação, etc.) e não-lineares (definidas pelos utilizadores).

Podemos ainda descrever uma série de operações SIG muito importantes, tais como as operações de derivação de informação espacial, que permitem extrair informações novas por inferência sobre os dados existentes:

- *Overlay*: Distinguem-se as operações aritméticas, as operações lógicas e as operações de comparação e selecção. As operações aritméticas incluem a adição, subtracção, divisão e multiplicação de cada *layer* com/por um valor numérico, um ou outros *layers*. As operações lógicas utilizam os operadores and, or, nor e xor (a aplicação do operador and é a intercepção dos dois conjuntos, o operador or dá a união dos conjuntos, no resultado da aplicação do nor interessa apenas a parte de um dos conjuntos que não inclui a intercepção entre os dois conjuntos, finalmente para o operador xor interessa a área dos dois conjuntos menos a intercepção dos dois). Exemplos de operadores de comparação são o “maior que”, “menor que”, o valor mínimo ou máximo, relações de igualdade e diferença. (FONSECA *et al.*, 1992)
- Funções de análise de conectividade: são funções características da modelação de dados *raster* e caracterizam-se por permitirem a descrição e modelação de processos de difusão e influência espacial. É necessário definir igualmente o âmbito ou domínio de aplicação deste tipo de funções, aqui em função de vizinhança de células, recorrendo à topologia implícita de uma estrutura em quadrícula. A definição e simulação de processos de movimento, difusão e acumulação tem que ser explicitada na realização de uma operação de análise espacial. (NEVES, 1996)

- Funções de análise de vizinhança: as operações mais usualmente desenvolvidas são as de pesquisa, topográficas e de interpolação. A definição de funções de vizinhança envolve a análise das características da área envolvente a um local específico. Nas funções de análise de vizinhança é necessário definir o domínio de aplicação da função e o tipo de função a aplicar numa sequência de análise específica. (NEVES, 1996)
- Generalização, que pode ser resumida numa simplificação dos objectos capturando apenas as suas características espaciais mais salientes. MÜLLER *et al.* (1989) propôs a distinção entre generalização geométrica e generalização de legenda ou atributos. Redução, expansão e deslocação são os componentes essenciais da generalização geométrica, enquanto que a generalização conceptual compreende a selecção, classificação e modificação de legenda. Existem três categorias de operações de generalização:
 - Simplificação de linhas, ou seja, redução do número de pontos utilizado na sua definição;
 - Atenuação de linhas, para reduzir ângulos mediante recurso a funções de *bezier*, *splines* ou outras;
 - Generalizações complexas que podem incluir mudança do tipo do objecto, agregações de polígonos e detecção e correcção de conflitos entre a localização dos objectos.
- Derivação sobre superfícies curvas, envolvem a extracção de informações tridimensionais. Estão incluídas as funções de interpolação e de filtro (muito utilizadas no processamento de imagens recolhidas por detecção remota para acentuar ou atenuar as formas) (ABRANTES, 1998);
- Métodos estatísticos:
 - Estatística descritiva: a distribuição de características pontuais pode ser descrita pela: frequência, densidade, dispersão espacial e arranjo espacial;
 - Modelos de regressão espacial: permitem estabelecer as relações entre as variáveis, tendo em conta distribuições espaciais (CARVALHO *et al.*, 2004);
 - *Kriging*: A diferença entre o *kriging* e outros métodos de interpolação consiste na forma como os pesos são atribuídos às diferentes amostras. No *kriging* o procedimento é semelhante ao de interpolação por média móvel ponderada, todavia os pesos são determinados a partir de uma análise espacial através de modelação num semivariograma (CAMARGO *et al.*, 2004);

- Análise de *clusters*: têm por finalidade verificar se a distribuição espacial de casos. Segundo OLIVEIRA e BAÇÃO (1999) a “Análise de *Clusters* é um nome genérico para uma grande variedade de metodologias que são usadas para classificar entidades. Estas metodologias constroem *clusters* ou grupos de entidades com muitas semelhanças entre si. Mais especificamente, a Análise de *Clusters* é um conjunto de metodologias de estatística multivariada que, a partir de um conjunto de informação sobre um grupo de entidades, procura reorganizá-las em grupos relativamente homogêneos”;
- Técnicas de geoestatística que envolvem análises e inferências¹⁴ de fenómenos espaciais e/ou temporais. A geoestatística permite descrever a estrutura espacial e fazer inferência estatística na presença de relações espaciais dependentes. (GUISAN e ZIMMERMAN, 2000) As técnicas computacionais inspiradas nos processos biológicos como as técnicas *fuzzy logic*, redes neuronais artificiais e algoritmos genéticos são hoje amplamente utilizadas em estudos de modelação ecológica. Destas, as mais utilizadas são (RECKNAGEL, 2003, FERNANDES *et al.*, 2005a, FERNANDES *et al.*, 2005b):
 - o Autómatos celulares para simulação fenómenos no espaço e no tempo. Segundo GONÇALVES (2003) nos Autómatos Celulares, o estado interno do sistema é dado pelo conjunto dos estados internos de cada célula. Por sua vez, cada célula tem internamente um conjunto finito de estados sendo actualizado segundo regras que dependem do estado anterior da célula, e do estado anterior das vizinhas. Os Autómatos Celulares são utilizados em muitas áreas para simular a dinâmica associada à transformação do espaço geográfico;
 - o Segundo (LONGO e DINIS DA GAMA, 2003) a *fuzzy logic* é uma generalização da lógica tradicional, que interpreta num sentido mais amplo o conceito verdadeiro/falso. Na *fuzzy logic* os conjuntos deixam de ser fechados e um elemento pode pertencer ao mesmo tempo a mais do que um conjunto (com diferente grau de probabilidade e veracidade). A *fuzzy logic*, tem por objectivo modelar, de modo aproximado, o raciocínio humano, visando manipular informações num ambiente de incerteza e imprecisão, fornecendo uma resposta aproximada para uma questão baseada num conhecimento que é inexacto, incompleto ou não totalmente confirmável. (BÖNISCH *et al.*, 2004) A *fuzzy logic* é amplamente utilizada na representação e modelação a incerteza dos dados

¹⁴ “A inferência espacial consiste na predição de valores de uma determinada propriedade de interesse em pontos geo-referenciados não observados, utilizando-se amostras coletadas numa determinada região.” (FUKS, 1998)

espaciais e representa as soluções em termos de probabilidade. (NOGUCHI *et al.*, 1998);

o As redes neuronais artificiais têm sido utilizadas na modelação de memória associativa, reconhecimento de padrões, representação de funções booleanas, representação de funções contínuas, previsão de séries temporais, optimização etc. (MOREIRA, 1997);

o Algoritmos genéticos muito utilizados em problemas de optimização Os algoritmos genéticos são modelos de busca adaptativos que começam com um conjunto de soluções para um determinado problema e que formam a população inicial. O algoritmo cria a população de soluções de forma aleatória, às quais aplica operadores genéticos, para que a população de soluções evolua, com o objectivo de se encontrarem soluções mais satisfatórias. (JHA *et al.*, 2001);

Todas as funções complexas de análise espacial podem ser obtidas a partir do uso sequencial de duas ou mais funções primitivas. Como são funções utilizadas com frequência em análise espacial, a maioria dos *software* tem estas funções já construídas, podendo ser utilizadas directamente pelo utilizador (NEVES e CONDESSA, 1993):

- Geração de *buffers*: Um *buffer* é uma área que se define por uma determinada distância a um determinado ponto, linha ou zona contígua. A função *buffer* é usada sempre que a distância a uma determinada entidade espacial seja uma condicionante do problema a analisar.
- Bacia de Visão (*viewshed*): a bacia de visão (*viewshed*) de um determinado ponto inclui todas as áreas que podem ser visíveis desse ponto. Esta noção tem sido aplicada por exemplo em estudos de planeamento paisagístico, onde a estética tem adquirido uma dimensão cada vez mais importante.
- Análise de Redes (*network analysis*), está associada ao estudo de grafos constituídos por entidades lineares (arcos e nós) topologicamente relacionadas. A análise de redes tem sido frequentemente tratada em investigação operacional em variados domínios como a optimização de percursos e afectação de recursos rodoviários.
- Funções de Arrastamento (*spread*), centram-se na definição e implementação de relações de propagação entre os elementos constituintes de um cenário geográfico que de alguma forma sejam dependentes da distância a um determinado local. Basicamente, *spread* é uma função que a partir de um ponto inicial, vai calculando valores para cada um dos locais por onde passa. O ficheiro de *input* para uma função

de arrastamento, tem para cada entidade espacial a forma como essa entidade vai alterar a função que está a ser avaliada. Ainda que a variável a analisar seja na maioria das vezes a distância, outras podem ser usadas, como por exemplo a propagação de fogos florestais a partir de focos de incêndio

A tecnologia SIG revela-se na sua plenitude quando utilizada para analisar dados geográficos para detectar padrões e tendências e para a análise de cenários alternativos. Esta é uma das grandes aplicações possibilitada pelos Sistemas de Informação Geográfica é a capacidade de gerar cenários virtuais que permitam antecipar acções e procedimentos. Estas aplicações são baseadas no processamento de modelos que podem ser descritos como sequências de operações de análise espacial como um mecanismo que representa as relações entre elementos. (NEVES *et al.*, 1997)

4.2.1.3 SAÍDA DE RESULTADOS

Conjunto de operações que possibilitam a exportação do SIG para uso prático, de um mapa ou de um outro tipo de informação (por exemplo, uma base de dados alfanumérica):

- Desenho gráfico, para construção de símbolos, uso de cores, padrões e anotações de modo a facilitar a composição de mapas e respectivas legendas;
- Visualização, para representar a informação geográfica graficamente em periféricos (terminais gráficos, impressoras, etc.);
- Reestruturação, que permite a exportação de dados para outros sistemas.
- Resumo de informação sob a forma de índices (descritivos, de inferência estatística, da estatística multivariada, ou outros).

Actualmente estão em permanente evolução os mecanismos que permitem o acesso à informação geográfica, sendo que um dos mais utilizados prende-se com o desenvolvimento de aplicações WebGIS. WebGIS é, genericamente, um SIG distribuído através de uma rede de computadores com a finalidade de integrar, disseminar e comunicar visualmente informação geográfica na WWW através da Internet. Estas aplicações devem ter interfaces de fácil aprendizagem, com uma aparência natural e independente das complexidades de implementação, tal como estruturas de dados e algoritmos. (EGENHOFER e FRANK, 1988)

Quanto às estruturas de dados as mais comuns são:

- Formato de arquivos vectoriais – o formato CGM (*Computer Graphic Metafile*) tem sido adoptado como padrão para utilização de dados na Internet. O formato Active CGM é uma extensão do CGM que permite manter o vínculo com a Base de Dados.
- Formato de Arquivos *Raster* – Para um bom desempenho de arquivos matriciais na Internet existe a necessidade de se compactar estes arquivos. Os formatos mais utilizados na Internet, devido ao facto de se utilizarem técnicas de compactação eficientes são: GIF (*Graphic Interchange Format*) e JPEG (*Join Photographic Expert Group*). O formato de arquivo MrSID que tem um poder de compactação da ordem de 1:50 sem ocorrer degradação da imagem e muitos sistemas que trabalham com fotografias aéreas, imagens de satélite e orto-imagens estão a adoptar este formato. Um outro formato, com o mesmo poder de compactação do MrSID é o ECW.

4.2.2 ANÁLISE EXPLORATÓRIA DE DADOS ESPACIAIS

Segundo MURTEIRA (1993) “uma das características principais das Análise Exploratória de Dados é, num primeiro estágio, a pouca exigência com os dados objecto de tratamento exploratório e descritivo.

A análise exploratória dos dados espaciais possibilita a identificação de propriedades espaciais de dados, permitindo, a partir da localização destes, a identificação de padrões e a formulação de hipóteses, bem como a avaliação de aspectos de modelação espacial.

ANSELIN (1998) apresenta quatro áreas técnicas na Análise Exploratória de Dados Espaciais:

- Visualização de distribuições espaciais;
- Visualização de associações espaciais;
- Indicadores locais de associações espaciais;
- Indicadores multivariável de associações espaciais.

A base da aplicação de técnicas estatísticas a dados espaciais encontra-se na avaliação das propriedades destes, directamente relacionadas com a sua localização.

Os SIG permitem a integração de formas de análise diferenciadas, tais como a análise de tendências, a geoestatística ou a complementaridade com análise estatística multivariada, permitindo a geração de dados, através de interpolações, constituindo a base para posterior análise, interpretação e modelação geográfica.

Consideram-se, normalmente, duas classes de estatísticas na Análise Exploratória de Dados Espaciais:

- Estatísticas globais que processam os dados de toda a área com vista à obtenção de um atributo;
- Estatísticas locais que processam subconjuntos de dados para a obtenção de atributos locais.

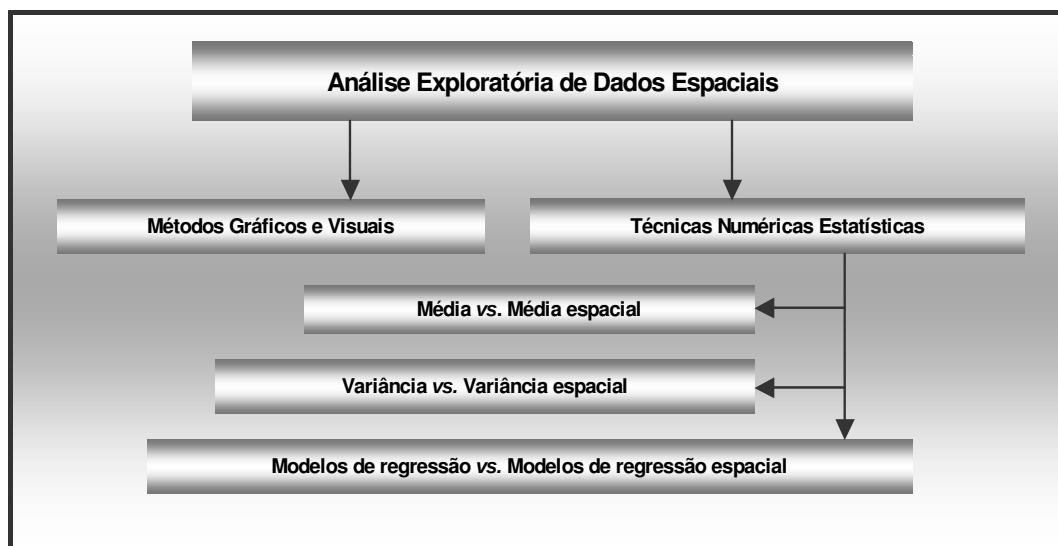


Figura 19 – Diagrama conceitual referente à Análise Exploratória de Dados Espaciais (SANTOS, 2001)

4.3 TECNOLOGIA SIG APLICADA À ACTIVIDADE MINEIRA

O desenvolvimento mais significativo dos SIG para recursos minerais verifica-se no âmbito da prospecção, com o objectivo de integrar dados geológicos, geofísicos e geoquímicos num mapa de favorabilidade de uma zona de estudo, relativamente a alvos pré-definidos numa zona de controle (KATZ, 1989)

Recentemente têm sido desenvolvidos através de métodos Geoestatísticos modelos de simulação estocástica com o objectivo de cartografar o comportamento extremo dos atributos. Do conjunto de cenários obtido à custa destes métodos de simulação é possível deduzir zonas onde a probabilidade de ocorrência dos valores extremos de determinado atributo é maior, assumindo papel de grande relevância no processo de prospecção de minério. (BIERKENS e BURROUGH, 1992).

Actualmente existem sistemas que, segundo CHAMBEL (1999), incluem “aplicações de cartografia geológica e mineira, de gestão de concessões, de planeamento e controlo de produção, entre outras.”

Para contemplar todos os factores que intervêm no processo de planeamento mineiro, adicionalmente ao modelo geológico do jazigo, o desenvolvimento de modelos tridimensionais que permitam sobrepor ao sub-sistema geológico, os parâmetros tecnológicos ligados, por exemplo, ao método de desmonte e de concentração, revelam-se de grande utilidade (ALMEIDA, 1992).

No que diz respeito à integração dos aspectos ambientais no projecto mineiro, a escala de trabalho a utilizar é distinta da que foi considerada anteriormente. De facto, o primeiro objectivo neste contexto consiste em monitorizar um vasto conjunto de variáveis que possam ter impacte no ambiente regional. Para a gestão ambiental, essas variáveis têm de ser cruzadas com outros dados que contenham numa base cartográfica regional que contenha as características naturais e culturais da área de influência da mina, o que apela imediatamente para a consideração de um SIG. (PEREIRA, 1992)

No início do ano de 1995 o IGM criou um projecto para introdução de tecnologias digitais no processamento de informação cartográfica e de outra informação geológica alfanumérica, cujos objectivos principais do projecto eram os seguintes:

- Produção de cartografia geológica por métodos digitais;
- Digitalização do arquivo de cartografia geológica 1/25.000;
- Criação de bases de dados geológicas e integração da informação cartográfica e alfanumérica num SIG;
- Implementação de cartografia geológica temática.

Outros projectos na área dos sistemas de informação têm sido desenvolvidos (COSTA, 1999c):

- O GEOMIST é um serviço de informação geológico-mineira sobre a Faixa Piritosa Ibérica, que engloba os seguintes serviços básicos (COSTA, 1999c, TORRES, 1999a):
 - o Metadados;
 - o Mapas Interactivos;
 - o Pesquisa nas bases de dados e transferência de dados;
 - o Visualizador 3D;
 - o Outros serviços genéricos (toponímia, transformação de coordenadas, etc);

- GEOAMB – visa o carregamento das bases de dados do GEOMIST e criar novos serviços voltados para o ambiente (COSTA, 1999c, TORRES, 1999b);
- Cadastro Industrial – Encontra-se concluída a primeira fase de instalação do Sistema de Gestão de Bases de Dados (SGBD) e SIG dos serviços de administração industrial (minas, prospecção e pesquisa, recursos hidrogeológicos e geotérmicos);
- SIORMINP – visa o desenvolvimento de um sistema de informação sobre as ocorrências minerais portuguesas e aproveitará as funcionalidades do GEOMIST para a representação cartográfica, permitindo assim a organização, aprofundamento e acessibilidade a conhecimento geocientífico, técnico e económico sobre as ocorrências e recursos minerais. (COSTA, 1999c, PARRA e LOPES, 1999);
- SIGGeo – é um sistema de informação desenvolvido no Centro de Informação Científica e Técnica do IGM, cujo objectivo principal é o de permitir a consulta e análise da informação científica e técnica devidamente estruturada e localizada geograficamente à escala nacional. (LAIGINHAS e AMADO, 1999b)

O IGM elaborou ainda uma proposta de projecto, designada GEOINFO XXI que visa o reforço do seu Sistema de Informação Científica no domínio das geociências, melhoria da rede informática, desenvolvimento de sistemas avançados de gestão de base de dados e SIG, potenciando plenamente a informação geológico-mineira do IGM. O projecto contemplará:

- A criação de um arquivo digital/fotográfico dos testemunhos de sondagens;
- A criação de um catálogo fotográfico digital de referência dos fósseis e microfósseis de importância estratigráfica;
- A criação de uma base de dados gráficos e alfanuméricos e de um sistema de consulta informática (via Internet e transmissão de dados) para os aderentes a um convénio com o IGM.

O IGM colaborou ainda na criação do Catálogo Europeu de Informação Geológica, chamado GEIXS. Segundo LAIGINHAS e AMADO (1999a) “todo o sistema foi estruturado com base nos princípios dos SIG, tendo sido dada especial atenção aos tão importante critérios de normalização, apresentação e cedência de dados”. Do ponto de vista operacional, estão disponíveis duas formas distintas de pesquisa: a pesquisa geográfica e a pesquisa temática. Ao nível Europeu há ainda a realçar a participação de Portugal no “Atlas dos Recursos Geotérmicos da Europa”. Foram feitos esforços na agregação de informação geotérmica por

forma a poder facilitar a sua consulta digital, e potenciar a sua utilização em estudos crustais e /ou hidrogeológicos. (RAMALHO, 1999)

ANDRÉ (2004) desenvolveu e experimentou um protótipo de um sistema geocolaborativo para levantamentos geológicos, que permite a troca de informações entre o geólogo que está no campo e os especialistas ou geólogo coordenador que se encontram nos gabinetes. Este protótipo interage com ferramentas de SIG e permite o levantamento de pontos georeferenciados com associação de dados de texto (notas e mensagens), de imagem (fotografia e desenho) e de som. Automaticamente é gerado o *e-book* de campo que é uma ferramenta centralizadora de toda a informação da colaboração, capaz de reduzir a morosidade do processo de recolha de dados geológicos, sendo a informação posteriormente transferida via internet.

5. FASE DIAGNÓSTICO

5.1 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE E FUNCIONALIDADE ECOLÓGICA DA PAISAGEM

5.1.1 MODELO ILA – ANÁLISE INTEGRADA DA PAISAGEM

Os processos de caracterização e avaliação ecológica defrontam-se crescentemente com um conjunto de dificuldades práticas de que se poderia, sem qualquer intuitos de ordenação hierárquica fazer um apanhado muito grosseiro e preliminar (FERNANDES *et al.*, 2004):

1. A unidade espacial de referência dos estudos ecológicos varia extraordinariamente com as metodologias e os objectos de trabalho, implicando a necessidade de compatibilizar quer unidades espaciais de referência com níveis escalares distintos em termos geográficos mas idênticos em termos ecológicos, quer unidades ou objectos de gestão distintos, em termos económicos ou ecológicos ou mesmo dentro de cada uma destas disciplinas (ALLEN e HOESKTRA, 1992).
2. A avaliação dos objectos ecológicos ao variar com os seus utilizadores implica a consideração e a operação simultânea de dados de diferentes níveis escalares e percepções e níveis de influência na gestão completamente distintos indo do indivíduo ao sócio-político dos sistemas globalizantes (BERTHOUD *et al.*, 1989).
3. O desenvolvimento de sistemas viáveis de gestão implicando uma compatibilização entre as abordagens ecológicas, económicas e psico-sociológicas, implica também ela a necessidade de consideração simultânea de objectos e relações distintos desde a unidade empresarial ou a mancha de uso ao nível sócio-económico, ao biótopo, e ao nicho necessários à existência de uma população mínima viável de uma espécie objectivo.
4. Na definição de objectivos de conservação pode-se verificar a existência de conflitos claros entre os valores da diversidade com as necessidades de espécies objectivos, ou a própria natureza da paisagem.
5. As dificuldades na avaliação de sistemas complexos de um ponto de vista ecológico decorrentes da diversidade do conceito e realidade e das formas de manifestação dos objectos ecológicos, implica uma enorme complexidade na destrição das diferentes funções relevantes para cada objecto ecológico concreto.

A Análise Funcional da Paisagem apresenta enorme complexidade, devido aos diferentes tipos de funções susceptíveis de nela ocorrerem, ao seu diferente padrão de ocorrência

espacial e temporal e à enorme diversidade de factores que os influenciam (também eles espacial e temporalmente diferenciados). (FERNANDES *et al.*, 2003)

A principal vantagem das metodologias desenvolvidas (globalmente designadas por Análise Integrada de Paisagem (ILA – do acrónimo inglês *Integrated Landscape Analysis* (FERNANDES, 1999)) consiste na possibilidade de identificação precisa (ou pelo menos dentro dos limites do conhecimento pericial utilizado e do grau de precisão e actualidade dos dados geográficos disponíveis), do grau de perturbação associado a cada tipo de uso, da maior ou menor naturalidade da sua implantação ou fragmentação e estimar o seu valor relativo de acordo com diferentes combinações de critérios espelhando diferentes perspectivas ou objectivos de gestão.

A metodologia apresentada centra-se essencialmente no desenvolvimento e aplicação de metodologias de análise espacial dos sistemas ecológicos com vista à determinação pericial das condições ecológicas ocorrentes no Concelho de Aljustrel.

Na prática houve que proceder à definição de um quadro de referência que permitisse analisar os habitats potenciais e estimar, decorrentemente, os níveis de perturbação associados aos quadros de uso actuais. A posse desse quadro de referência tornou possível realizar um número extremamente diversificado de análises sobre a estrutura actual de uso do território, análises não só de diagnósticos, mas também de simulação dos impactes de alternativas de gestão. (FERNANDES *et al.*, 2002a)

5.1.2 IDENTIFICAÇÃO DOS PRINCIPAIS FACTORES DE PERTURBAÇÃO ASSOCIADOS A EXPLORAÇÕES MINEIRAS

Um dos principais factores de perturbação associados à actividade extractiva ocorre ao nível da estrutura e qualidade da paisagem. Estes impactes na paisagem podem ocorrer pela degradação da qualidade cénica da paisagem, ou ser uma consequência de impactes de outra natureza como os impactes na estrutura pedológica que ocorrem muitas vezes sem a implantação do empreendimento extractivo, com a decapagem e remoção de solos e com a construção de vias de comunicação, ou nos recursos aquíferos superficiais e subterrâneos através da contaminação por metais pesados que correm livremente para as linhas de água e penetram nos aquíferos subterrâneos através de processos de infiltração e percolação.

Os impactes sobre a morfologia do terreno têm origem na destruição do coberto vegetal e a remoção das terras de cobertura, que põem a descoberto extensas áreas de solo permitindo os processos erosivos, ou com a alteração do relevo preexistente através da realização de aterros e escavações necessárias à actividade extractiva. Estas alterações na morfologia condicionam os sistemas de drenagem superficial e subterrâneo e provocam o aumento da

susceptibilidade de fenómenos erosivos nas zonas onde o solo fica exposto e sem cobertura vegetal.

Estes impactes são factores de perturbação na dinâmica da vegetação, começando muito antes dos trabalhos de implantação da pedreira e continuando mesmo depois do abandono da pedreira, o que dá origem a uma distinção no terreno entre vegetação de referência e vegetação actual. A vegetação actual é geralmente composta por formações que marcam uma regressão climática, caminhando vertiginosamente para uma degradação praticamente irreversível ilustrada pela presença de espécies herbáceas Gramíneas e porventura algumas Leguminosas e Compostas.



Figura 20 – Aspecto geral da paisagem degradada na Mina dos Algares (Foto: NUNO GUIOMAR, 2005)

Os impactes podem ser avaliados em:

- Impactes directos, derivados da degradação ou destruição do coberto vegetal por remoção de terra, abertura de caminhos, áreas de escavação, instalação de anexos e deposição de materiais (escombros, terras, entulhos, blocos de pedra, etc.);
- Impactes indirectos, derivados da alteração do ambiente por alteração do nível freático, deposição de poeiras nas superfícies foliares impedindo a realização da fotossíntese, danificação e arranque das raízes.

A fase de abandono ocorre após a cessação da actividade explorativa ou após os trabalhos de pesquisa e prospecção. Quando as alterações do solo são mínimas, os impactes são pouco significativos pelo seu carácter localizado e temporal no uso do solo. Quando as alterações do solo são profundas e por vezes irreversíveis dificilmente são reunidas as características e as condições necessárias para uma organização estrutural e funcional da área e do meio físico envolvente.

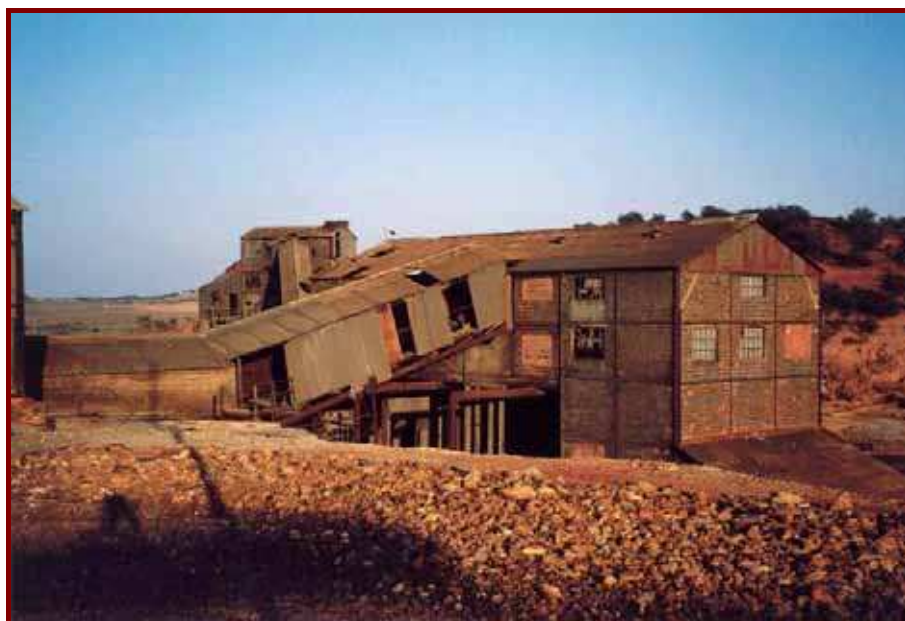


Figura 21 – Máquinas e equipamentos abandonados na Mina dos Algarves (Foto: NUNO GUIOMAR, 2001)

Os principais impactes na paisagem deste tipo de actividade, resultam essencialmente das características do meio envolvente e da sua relação com as características da paisagem industrial gerada, nomeadamente no que se refere à superfície ocupada pelas áreas de escavação e de depósito (aterros de desperdícios, lamas, sucatas, etc.) e as alturas máximas alcançadas por estes últimos, assim como das infra-estruturas existentes, a que se junta a existência de novos caminhos e consequente aumento de tráfego, tempo de exploração, etc. (MARTINS, 1998) Segundo BRODKOM (2000) “é muito difícil, se não mesmo impossível, medir quantitativamente o impacto visual através de normas e regulamentos. É geralmente aceite, que o valor de uma paisagem é algo de subjectivo, existindo mesmo casos em que as autoridades invocaram razões paisagísticas para recusarem uma exploração, quando a mesma não tinha qualquer oposição por parte das populações locais ou dos grupos de protecção ambiental.”

5.1.3 DESENVOLVIMENTO METODOLÓGICO

O modelo ILA parte do seguinte pressuposto básico: a estrutura actual de uso (antrópico ou biológico) não é independente, bem pelo contrário, dos recursos naturais subjacentes (geológicos, pedológicos, hidrológicos e climatológicos). Por esse motivo, o uso ou o coberto de cada local exprimem, um padrão diferente de utilização ou de perturbação desses recursos, padrão esse que corresponde a uma energia que garante a sua manutenção ou que é exigida para a sua alteração para qualquer outra tipologia de uso ou coberto. Este pressuposto determina que a análise de uma qualquer região tenha de ser realizada em dois planos consecutivos (FERNANDES *et al.*, 2002a):

- Um plano de referência que exprima o referido quadro de recursos;
- Um plano correspondente ao presente quadro de uso.

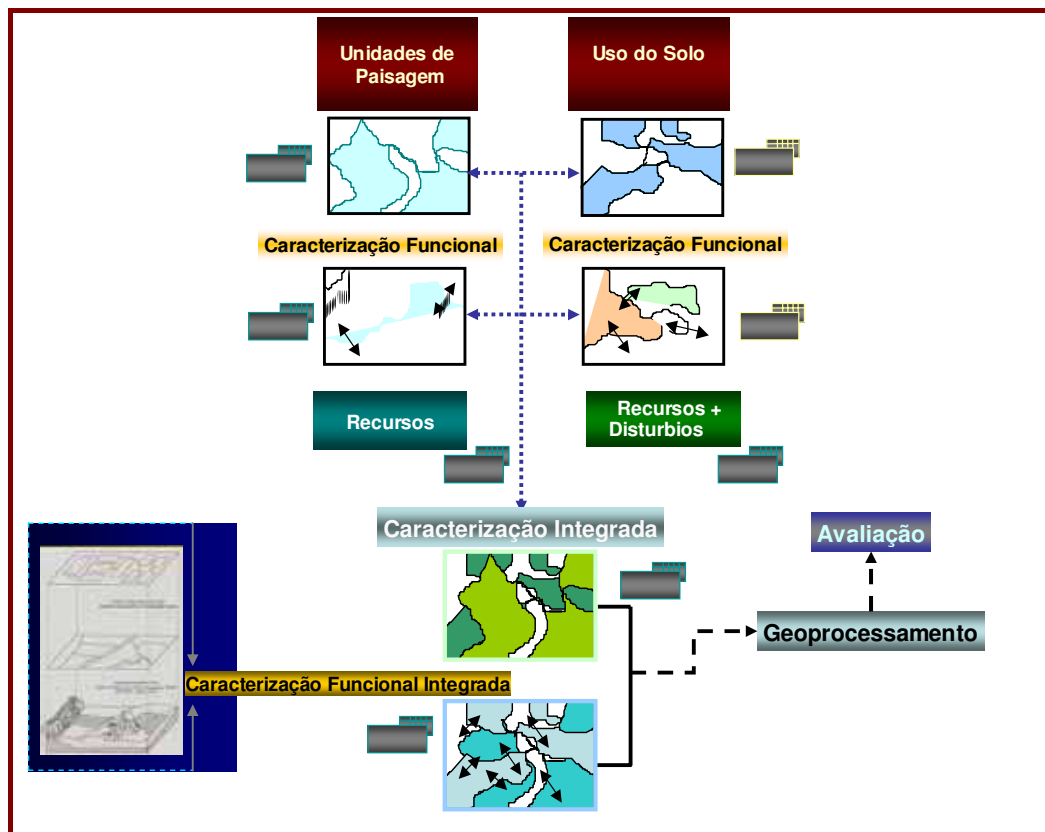


Figura 22 – Modelo Geral do ILA (FERNANDES, 2005a)

Esta análise, em termos de expressão geográfica, refere-se não só a manchas de recursos ou de usos, mas também a padrões de relações funcionais entre essas áreas, já que quer

os quadros de recursos, quer os seus padrões de afectação se exprimem em termos de afectação local, mas também de alterações de padrões de fluxos laterais entre áreas adjacentes.

5.1.3.1 DETERMINAÇÃO DO QUADRO DE REFERÊNCIA ECOLÓGICO

O procedimento metodológico inicia-se com a definição das unidades ecológicas de referência, a qual foi realizada com base na cartografia da carta complementar de solos, disponível em papel, à escala 1:25000 (SROA, 1962), e que está representada na Figura 23.

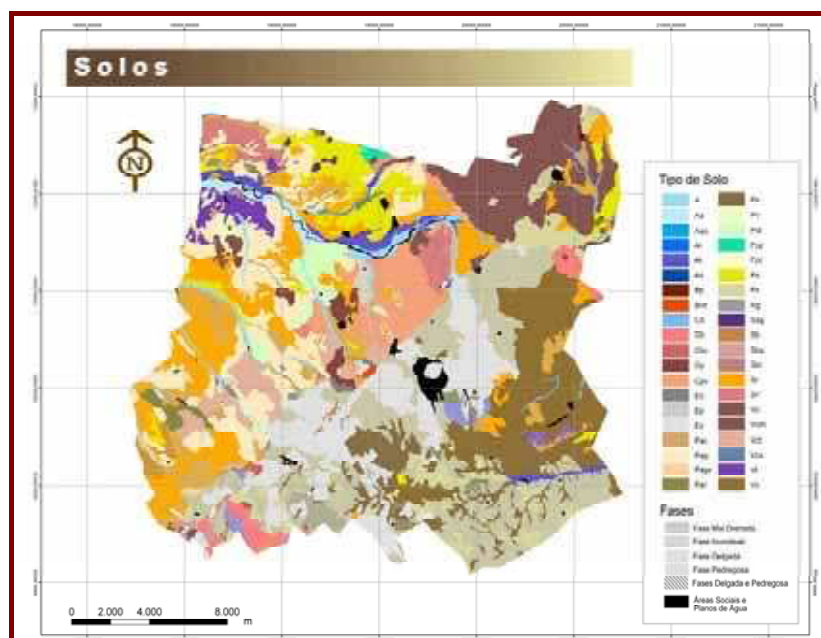


Figura 23 – Solos (Carta 1 dos ANEXOS CARTOGRÁFICOS)

Apesar das restrições de precisão e qualidade, justifica-se o uso desta cartografia por constituir o único suporte informativo com carácter coerente e capaz de representar as condicionantes ecológicas essenciais relevantes para a análise. (ANEXO I)

A carta de solos em formato digital foi objecto de um processo de agregação pericial de forma a melhor exprimir os factores ecológicos relevantes para a análise em causa, e que consistiu essencialmente no agrupamento dos diferentes solos e associações de solos de acordo com os seguintes critérios:

- Produtividade – representada numa escala de 1 a 5 de acordo com os critérios de classificação da fertilidade desenvolvidos por TELES GRILLO (1996 *in* CEEM, 1996);
- Calcário – representado por uma escala de presença/ausência (1/0);
- Encharcamento – representado por uma escala de presença/ausência (1/0);
- Salinidade – representada por uma escala de presença/ausência (1/0);

Estes quatro descritores foram seleccionados por se considerar que representam os condicionantes pedológicos essenciais em termos do desenvolvimento e diferenciação da vegetação natural. Evidenciaram-se também tipos particulares de solos, apesar de apresentarem associações idênticas dos quatro descritores referidos, mas que correspondem a tipologias particulares de habitats (ANEXO II):

- Nos solos de reduzida fertilidade, individualização dos regossolos e dos afloramentos rochosos;
- Nos solos de elevada fertilidade, individualização dos solos turfosos;
- Nos solos de máxima fertilidade, separação dos aluviões e dos barros.

Foi assim obtida a Carta da Estrutura Pedológica representada na Figura 24.

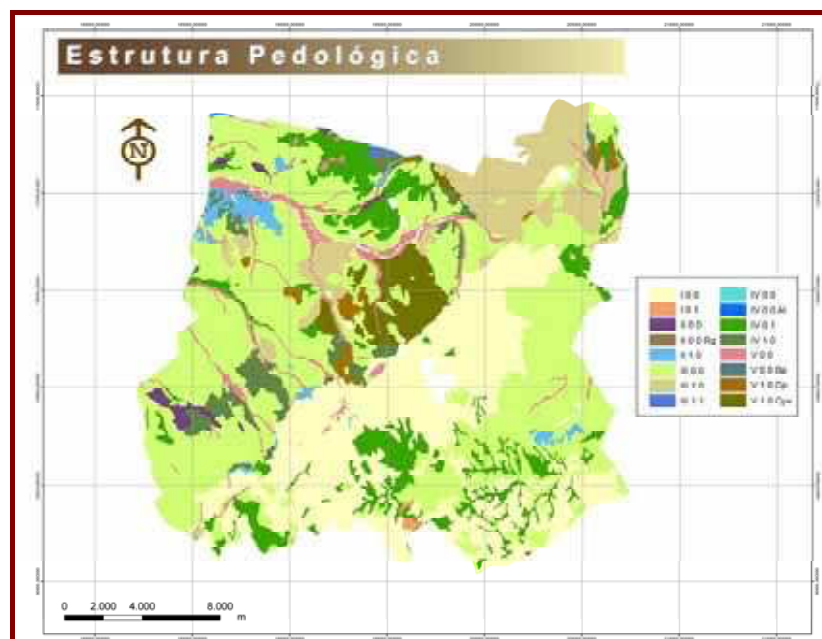


Figura 24 – Estrutura Pedológica

Uma vez que as características de desenvolvimento da vegetação dependem, não somente das características pedológicas do território, mas também das suas características climáticas, procedeu-se a uma diferenciação dos agrupamentos pedológicos definidos, através do zonamento biogeográfico definido na Carta Biogeográfica de Portugal. (COSTA *et al.*, 1998)

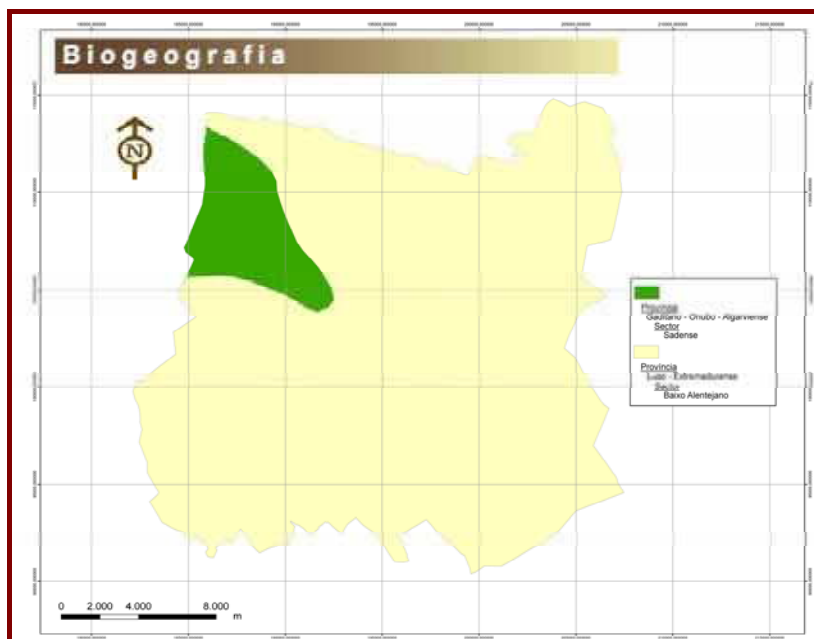


Figura 25 – Biogeografia (Carta 2 dos ANEXOS CARTOGRÁFICOS)

Obtidas as classes de solos agrupados e biogeograficamente diferenciadas, procedeu-se a um levantamento exaustivo no sentido da identificação das formações vegetais susceptíveis de corresponderem, em termos potenciais, às condições ecológicas representadas pelos agrupamentos identificados. (ANEXO III)

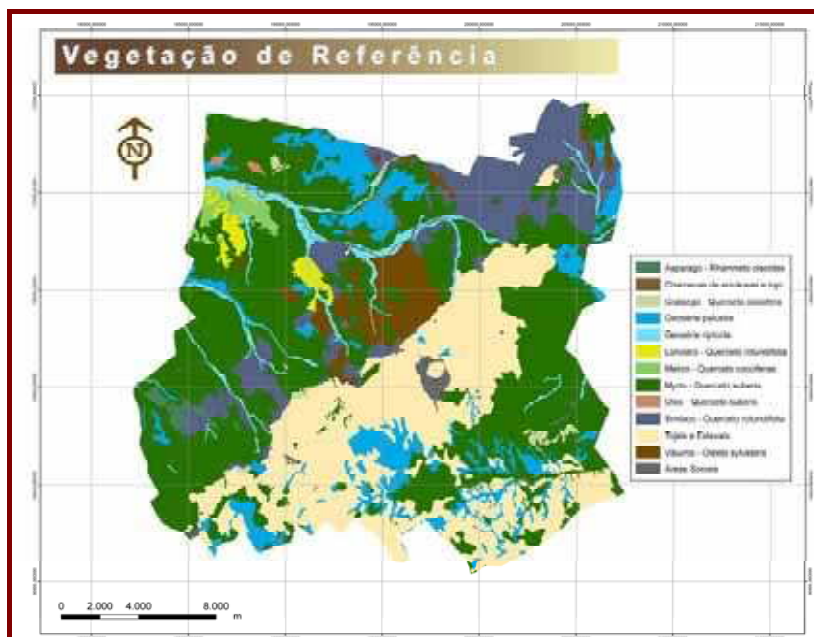


Figura 26 – Vegetação de Referência (Carta 3 dos ANEXOS CARTOGRÁFICOS)

Este conceito de Vegetação de Referência é totalmente inovador, já que pretende representar as associações vegetais mais prováveis de ocorrerem na região em causa, caso não ocorressem factores de perturbação e numa situação correspondente às condições edáficas identificadas. (FERNANDES *et al.*, 2002a)

5.1.3.2 QUADRO DE AFECTAÇÃO ACTUAL DO SOLO

A única fonte de informação em formato digital actualmente disponível a uma escala adequada, para a região em análise é a Carta de Ocupação do Solo de Portugal (COS) elaborada pelo Centro Nacional de Informação Geográfica (CNIG) à escala 1:25000, a partir de uma cobertura fotográfica de 1990.

Segundo FERNANDES *et al.* (2002a) a legenda da COS apresenta fortes limitações em termos da capacidade de obtenção de informação considerada ecologicamente relevante. Todavia, pela inexistência de cartografia mais adequada, procedeu-se à simplificação da sua legenda de modo a obter um conjunto mais reduzido de usos que continuasse a retratar as características essenciais dos sistemas em presença.

Obteve-se assim a Carta de Uso Actual do Solo que serviu de base a todas as análises e processos de aferição metodológica.

- o Existência de espécies raras na formação vegetal (ER) – Número relativo de espécies constantes de Listas Vermelhas (SNPRCN, 1990) e sua importância biogenética;
- o Naturalidade da formação vegetal (N) – Grau de alteração antrópica da formação em causa (ANEXO VI);
- o Maturidade da formação vegetal (M) – Grau de evolução dentro do processo sucessional normal da formação em causa;
- o Resiliência da formação vegetal (RS) – Expressão aproximada do período de tempo necessário a que, após a anulação dos factores actuais de perturbação, a formação se aproximasse das características climáticas correspondentes à Vegetação Potencial Natural do local;
- o Grau de ameaça da fitocenose (G) – Tendência populacional da formação vegetal em causa em termos locais ou globais¹⁵;
- o Produtividade (P) – Correspondente à fertilidade dos solos, nos termos já anteriormente descritos, de acordo com os critérios de classificação desenvolvidos por TELES GRILO (1996 *in* CEEM, 1996);
- o Funcionalidade da formação vegetal como habitat de refúgio para as espécies de fauna mais relevantes na área de estudo (FR);
- o Funcionalidade da formação vegetal como habitat de reprodução para espécies de fauna mais relevantes na área de estudo (FP);
- o Funcionalidade da formação vegetal como habitat de alimentação para espécies de fauna mais relevantes na área de estudo (FA);
- o Significado da formação vegetal como complemento de outras formações em termos das espécies faunísticas mais relevantes na área de estudo susceptíveis de a utilizarem como habitat (CO);
- o Significado da formação vegetal para a continuidade funcional em termos das espécies faunísticas mais relevantes na área de estudo susceptíveis de a utilizarem como habitat (CN);
- o Estatuto de classificação da formação vegetal, quer em termos de normas legais, quer de práticas consensuais das populações e proprietários (ES).

¹⁵ Torna-se necessário distinguir este descritor do descritor “raridade da formação vegetal”, já que a raridade não é necessariamente função directa da ameaça, mas pode decorrer da própria natureza da fitocenose. (KAULE, 1991 *in* FERNANDES *et al.*, 2002a)

Estes 16 descritores são, posteriormente agrupados em três índices valorativos:

- o VFE – Valor de Formação de Ecótopos – correspondente à capacidade da formação originar ecótopos¹⁶ viáveis – este valor refere-se essencialmente a variáveis de natureza florística, já que mesmo variáveis como a continuidade e complementaridade são cruciais na capacidade de estabelecimento de espécies florísticas dada a dependência dessas espécies relativamente a agentes de dispersão associados a esses descritores (particularmente agentes zoocóricos)

$$\frac{(DS + DF)}{2} + M + N + P + CN + CO = VFE ;$$

- o VPN – Valor Potencial Natural – correspondente ao interesse do ecótopo originado do ponto de vista da formação vegetal e das espécies particulares nele ocorrentes

$$VFE + R + G + S + RS + ER = VPN ;$$

- o VCN – Valor de Conservação da Natureza – correspondente ao valor da formação em termos dos objectivos da Conservação da Natureza, integrando os critérios representados nos anteriores valores com critérios de natureza estritamente faunística

$$VPN + FR + FP + FA + ES = VCN .$$

Estes valores são calculados quer para o quadro de referência (Carta da Vegetação de Referência), quer para o quadro objecto de análise (Carta do Uso Actual). Posteriormente serão objecto de uma operação de *Union* de modo a permitir identificar claramente qual o quadro de recursos em que cada uso se situa, sendo assim possível comparar em termos de intensidade de perdas ou ganhos a variação relativa de cada um dos valores em causa.

¹⁶ Ecótopo pode ser definido como o conjunto de características geomorfológicas e climáticas, que podem ocorrer de uma forma espacialmente descontínua. (INAG, 2004)

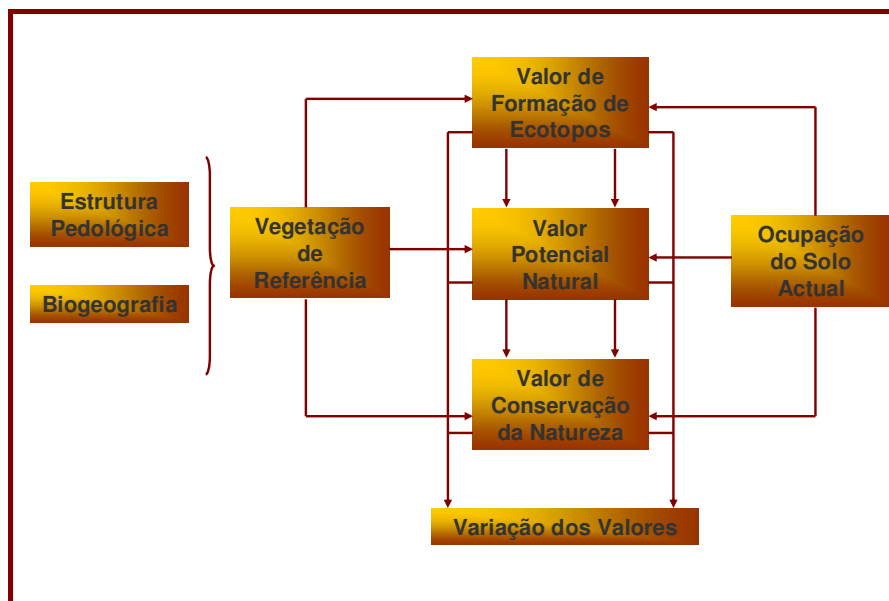


Figura 28 – Esquema de aplicação do modelo ILA (GUIOMAR, 2003)

Por uma questão prática e devido ao âmbito ecológico da presente metodologia, todas as análises focalizaram-se na simulação das relações funcionais de natureza biológica, através de uma análise directa de correspondências, baseada primariamente no critério de correspondência entre a situação actual e a situação potencial.

5.1.3.4 SIG E ANÁLISE ESPACIAL

O processo de análise espacial em SIG que será descrito, centra-se no processo que teve em conta não apenas a definição das metodologias de análise espacial, mas também a constituição uma estrutura integrada de informação e procedimentos, susceptível de permitir diversas utilizações. A componente SIG desta metodologia integra um vasto conjunto de operações de estruturação, geoprocessamento e análise espacial. Estas operações apoiaram a constituição de um sistema de caracterização e avaliação biofísica susceptível de permitir a integração plena dos pressupostos metodológicos desenvolvidos por NEVES (2002 *in* FERNANDES *et al.*, 2002a)

O modelo geral em SIG, descrito pela Figura 29 traduz uma aproximação integradora, visando a realização de processos de análise espacial.

3 – Processos de análise espacial e modelação geográfica. Um conjunto extenso de processos de análise espacial e modelação geográfica foi implementado permitindo a geração de informação derivada fundamental na identificação das relações espaciais entre as unidades espaciais. A modelação geográfica baseada em operações de análise espacial de camada única e múltiplas camadas foi completada por operações de álgebra de mapas permitindo a criação de cenários de avaliação de elevado detalhe e precisão.

Os blocos informativos acima referidos foram integrados num sistema multifuncional, em que ocorreram as diversas fases de desenvolvimento do projecto. Estas fases foram sendo ajustadas ao longo do tempo, visando uma melhor adequação aos objectivos de análise espacial. Segundo o mesmo autor e de acordo com o esquema da Figura 29 são de seguida descritos os principais processos:

a) Operações de edição e geoprocessamento – O primeiro conjunto de operações de edição e geoprocessamento visando a estruturação primária de informação assentou na realização de um primeiro agrupamento temático. A informação seleccionada, tanto gráfica como alfanumérica, foi agrupada em função das suas características e dos processos de organização e integração sistémica a desenvolver. A definição de elementos geográficos a integrar no sistema considerou a realização prévia de um processo de codificação desses elementos.

b) Operações de criação de unidades espaciais mínimas – As operações de geoprocessamento em sobreposição constituíram uma das fases cruciais do estudo, em função da complexidade dos processos implementados e do enorme volume de dados que foi necessário compatibilizar e integrar na mesma base geográfica.

A partir dos temas cuja inclusão foi considerada visando a criação de unidades espaciais mínimas, foram efectuadas operações de geoprocessamento em sobreposição que permitiram a obtenção de um único tema poligonal contendo toda a informação tabular constante nos temas de base que lhe deram origem.

c) Ligação gráfico-alfanumérica – A estrutura de ligação gráfico-alfanumérica permite a associação entre os atributos da base de unidades espaciais mínimas e o conjunto de tabelas que constituem os modelos de caracterização e avaliação e os modelos de avaliação de resistência ao movimento. O modelo conceptual de ligação gráfico alfanumérica procura através de uma visão geral da estrutura tabular descrever os elementos que a constituem, as suas propriedades e associações.

d) Descrição de processos de análise espacial – A descrição dos processos de análise espacial implementados assenta na representação esquemática das operações de

modelação cartográfica, em simultâneo com a descrição das operações de selecção e manipulação das tabelas da base de dados.

5.1.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1.4.1 QUADRO DE REFERÊNCIA

Importa, pois, ter sempre em consideração que a Carta da Vegetação de Referência tem uma natureza conceptual e de orientação geral, sendo sempre fundamental não esquecer que na caracterização das diferentes manchas, foi tida em consideração além da referida informação fitogeográfica, a informação pedológica que apresenta maior resolução e diferenciação geográfica. Outro aspecto que convém realçar é o facto de faltarem dados num conjunto de áreas importantes (Áreas Sociais), devido à ausência de cartografia de solos e a decorrente impossibilidade de aplicação do método pericial desenvolvido.

A primeira das observações prende-se com a diferente representatividade e distribuição espacial dos diferentes objectos geográficos identificados. Esta consideração determina a especificidade natural de certos tipos de habitat.

Outra questão que não pode ser contornada é a resolução escalar e o grau efectivo de diferenciação ecológica das unidades cartografadas na Carta da Vegetação de Referência. De facto, a diferenciação entre algumas associações vegetais seleccionadas como sendo as mais representativas da vegetação de referência do local em causa é relativamente visível, diferenças essas decorrentes, por exemplo, de diferentes condições pedológicas.

Em termos da avaliação das manchas produzidas de acordo com os critérios enunciados, a filosofia de avaliação adoptada valoriza especialmente critérios como a diversidade estrutural, maturidade, a naturalidade e a resiliência. Esta filosofia que pode gerar resultados contraditórios com os habitats considerados prioritários em termos das directivas comunitárias, já que, muitos desses habitats, são prioritários, não pela sua natureza específica, mas por factores de perturbação como os enunciados na Tabela do ANEXO VI. É, pois, dentro destes diferentes contextos filosóficos que têm de ser analisadas as cartas 5, 6 e 7 dos ANEXOS CARTOGRÁFICOS correspondentes ao Valor de Formação de Ecótopos da Vegetação de Referência, Valor Potencial Natural da Vegetação de Referência e Valor de Conservação da Natureza da Vegetação de Referência respectivamente (Figuras 30, 31 e 32).

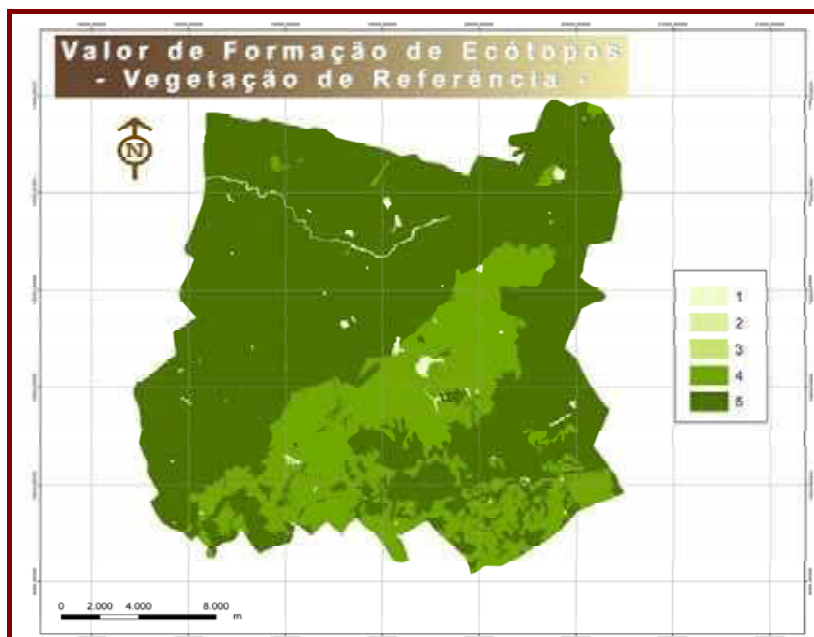


Figura 30 – Valor de Formação de Ecótopos – Vegetação de Referência
(Carta 5 dos ANEXOS CARTOGRÁFICOS)

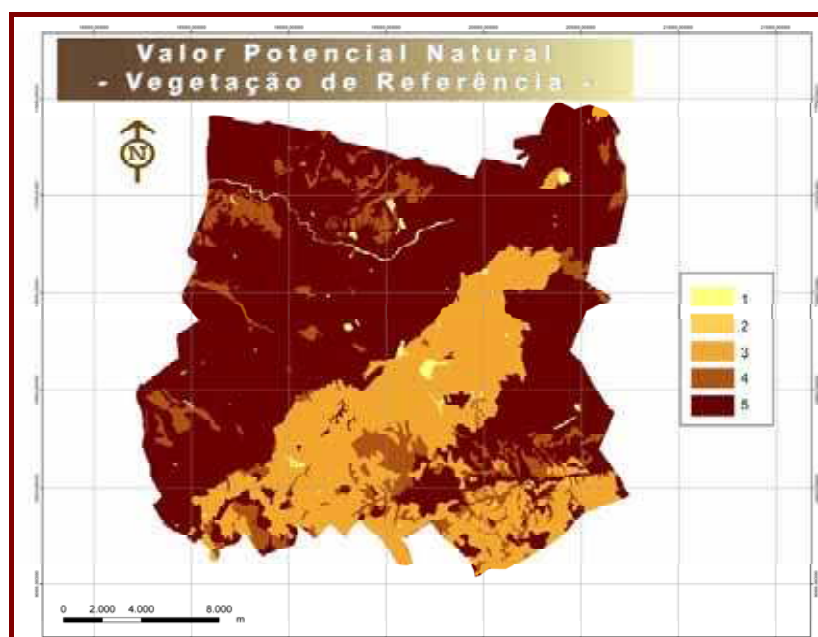


Figura 31 – Valor Potencial Natural – Vegetação de Referência (Carta 6 dos
ANEXOS CARTOGRÁFICOS)

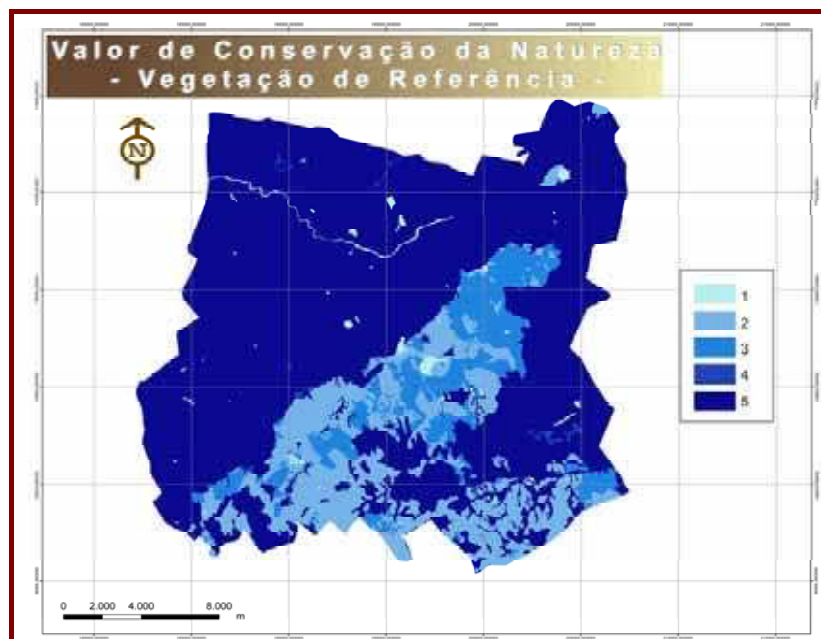


Figura 32 – Valor de Conservação da Natureza – Vegetação de Referência
(Carta 7 dos ANEXOS CARTOGRÁFICOS)

Analisando estas três cartas verificamos que, de acordo com os critérios avaliativos utilizados, as formações de referência de natureza arbórea, são claramente mais valorizadas do que formações estruturalmente menos complexas, ou correspondendo a situações mais instáveis ou de ecótonos. Verificamos, igualmente, que os valores das diferentes formações são, no essencial, semelhantes, devido à coerência, atrás referida, dos pressupostos avaliativos utilizados.

Da mesma forma, o facto de todos os critérios avaliativos estarem claramente discriminados, permite, proceder a combinações distintas de acordo com filosofias avaliativas consideradas mais adequadas para contextos específicos.

5.1.4.2 QUADRO DE USO ACTUAL DO SOLO

A análise das cartas 8, 9 e 10 dos ANEXOS CARTOGRÁFICOS, correspondentes à avaliação do quadro actual de uso (Valor de Formação de Ecótopos do Uso Actual do Solo, Valor Potencial Natural do Uso Actual do Solo e Valor de Conservação da Natureza do Uso Actual do Solo – Figuras 33, 34 e 35 respectivamente) permite verificar a redução generalizada dos valores em causa, assim como as interrupções estruturais que as diferentes manchas actualmente apresentam.

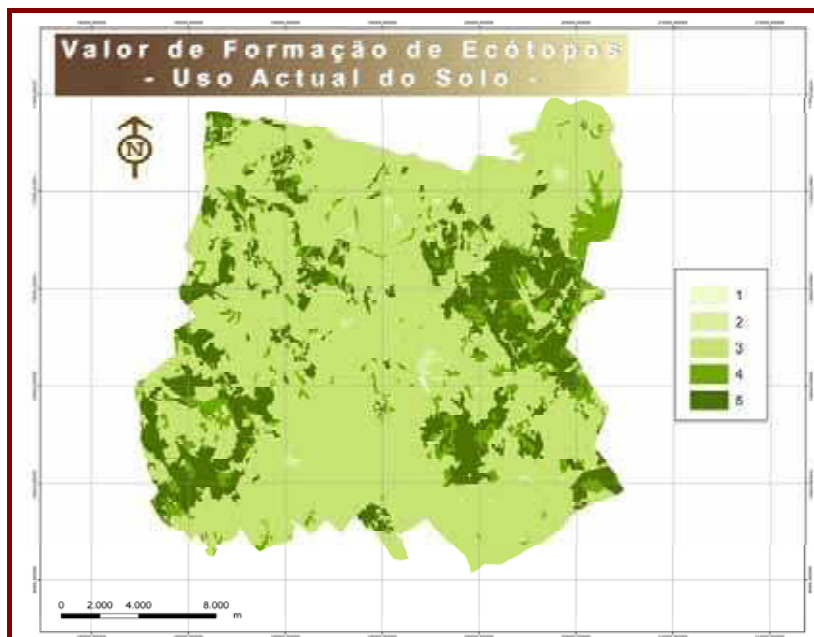


Figura 33 – Valor de Formação de Ecótopos – Uso Actual do Solo (Carta 8 dos ANEXOS CARTOGRÁFICOS)

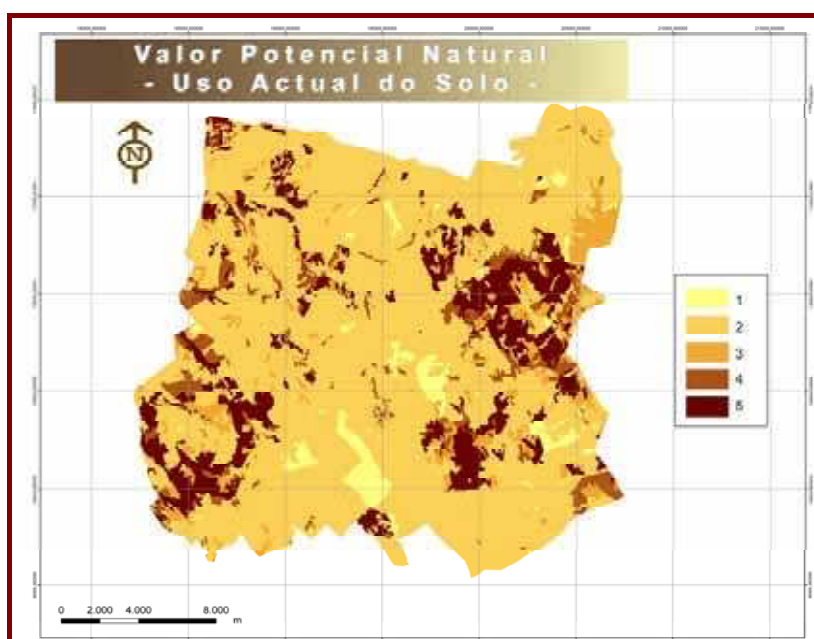


Figura 34 – Valor Potencial Natural – Uso Actual do Solo (Carta 9 dos ANEXOS CARTOGRÁFICOS)

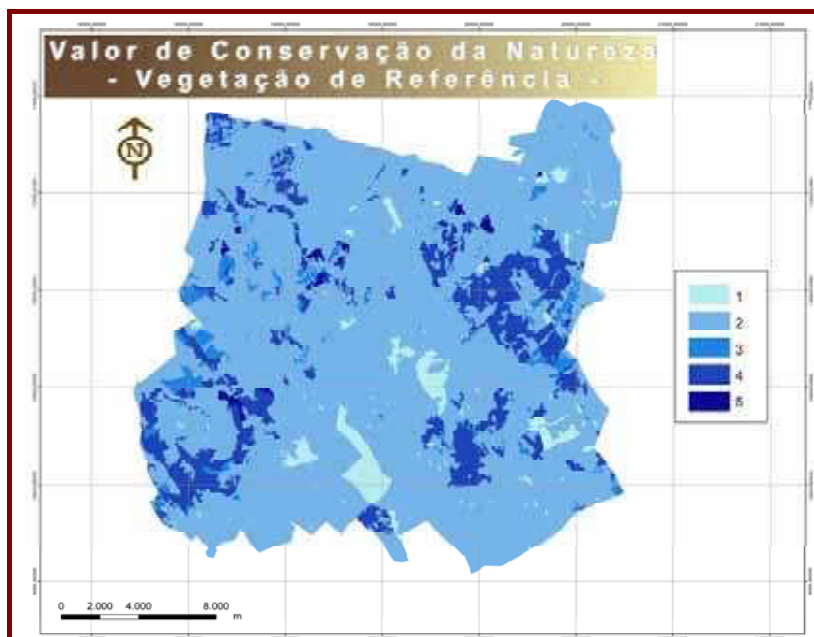


Figura 35 – Valor de Conservação da Natureza – Uso Actual do Solo (Carta 10 dos ANEXOS CARTOGRÁFICOS)

Neste quadro, importa referir o grau de degradação registado em quase toda a superfície do concelho, consequência da desarborização, e da aposta numa agricultura monocultural, com elevados prejuízos ao nível da perda de solo por erosão e ao nível da contaminação dos solos agrícolas por nitratos.

5.1.4.3 VARIAÇÃO ENTRE OS VALORES DE REFERÊNCIA E OS VALORES DO QUADRO ACTUAL DE USO

Este constitui, claramente a expressão da utilidade do presente método para a avaliação dos “custos e benefícios” ecológicos dos diferentes quadros de uso.

De facto, é possível observar nas cartas 11, 12 e 13 dos ANEXOS CARTOGRÁFICOS (Variação do Valor de Formação de Ecótopos, Variação do Valor Potencial Natural e Variação do Valor de Conservação da Natureza respectivamente – Figuras 36, 37 e 38), a intensidade como os diferentes usos determinaram, perdas, ganhos, ou a manutenção do valor de referência. No caso presente, verifica-se que os ganhos correspondem essencialmente a situações em que a acção humana determinou a instalação de um tipo de coberto mais complexo e diversificado do que aquele que o solo existente permitiria que se desenvolvesse em condições normais.

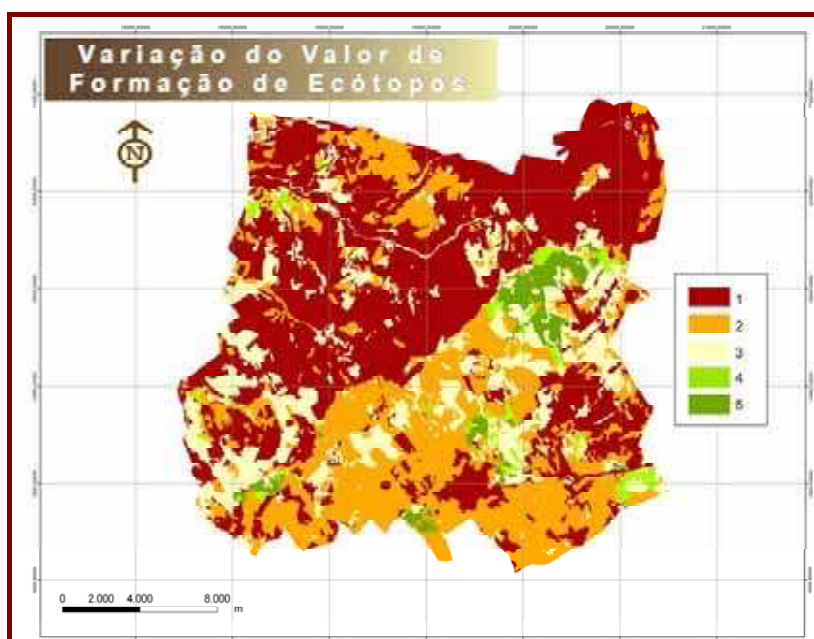


Figura 36 – Variação do Valor de Formação de Ecótopos (Carta 11 dos ANEXOS CARTOGRÁFICOS)

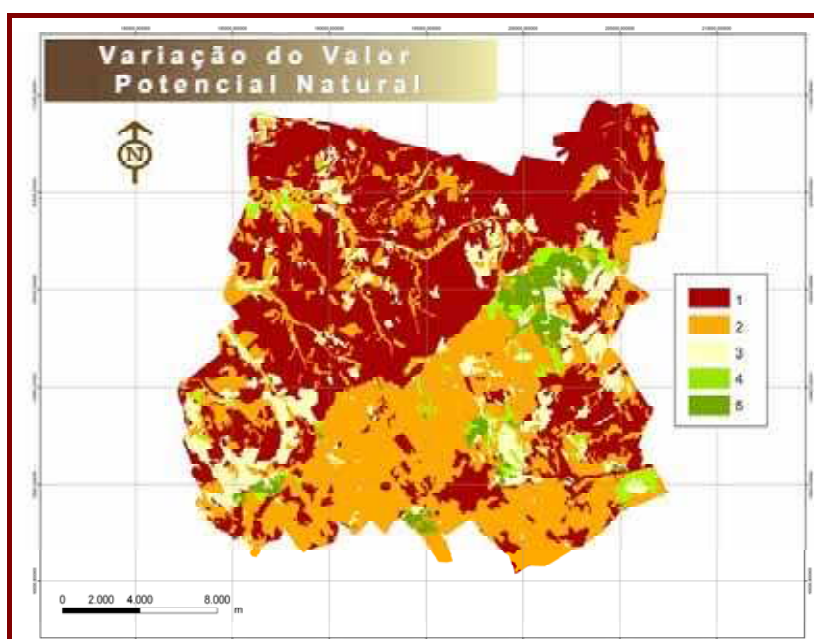


Figura 37 – Variação do Valor Potencial Natural (Carta 12 dos ANEXOS CARTOGRÁFICOS)

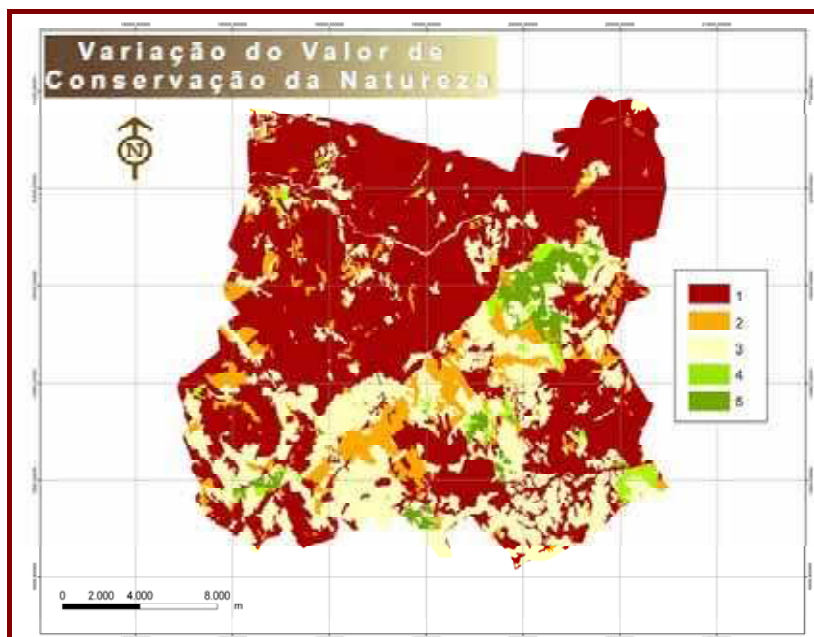


Figura 38 – Variação do Valor de Conservação da Natureza (Carta 13 dos ANEXOS CARTOGRÁFICOS)

5.1.5 OBSERVAÇÕES FINAIS SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS

Importa, antes de mais, referir algumas observações de carácter geral evidenciadas pelo presente estudo, observações que têm de ser tidas em particular atenção na utilização das informações produzidas no processo de avaliação do território.

Há que ter em consideração todas as apreciações acerca do conceito de valor, que terá sempre de ser considerado como uma equação multidimensional muito complexa, com universos de soluções mais ou menos optimizadas em função dos contextos. O valor de um local depende em grande medida dos seus utilizadores (BERTHOUD *et al.* 1989), aspecto que é particularmente sensível quando se procura conciliar, numa área classificada ou, particularmente, numa área não classificada, os interesses de Conservação da Natureza e os valores associados aos interesses socio-económicos dos seus proprietários e outros utilizadores. A produtividade de uma formação de referência é, indubitavelmente, um valor económico, sendo que, simultaneamente, não deixa de apresentar uma relação mais ou menos inversa com a resiliência dessa formação, ou seja, com a sua capacidade de recuperação às perturbações decorrentes do uso, pelo que se poderá aventar como princípio de partida em termos de orientações de gestão que as zonas de maior produtividade serão aquelas que apresentarão menores condicionantes a alterações da tipologia do seu coberto vegetal.

Independentemente das diferentes considerações sobre a utilidade dos resultados obtidos que foram enunciados no ponto anterior, importa sistematizar, neste momento a utilidade dos diferentes resultados obtidos:

1. A abordagem que conduz ao conceito de Vegetação de Referência, permite desenvolver metodologias de avaliação bastante consistentes ao esclarecerem claramente o padrão de comparação;
2. A simples consideração dos factores pedológicos permite identificar um conjunto de habitats particulares;
3. As metodologias de avaliação utilizadas apresentam inúmeras utilidades, sendo uma das quais, como ilustrado, a identificação das zonas degradadas, na determinação da variação desse valor relativamente à situação de referência;
4. Por outro lado, a identificação discriminada e complementar de diferentes tipos de valores representando funções ecológicas distintas permite constituir uma base analítica de utilidade imediata na determinação detalhada dos valores ecológicos gerados por alternativas específicas de uso de parcelas concretas.

No que respeita aos resultados da aplicação da metodologia, estes não permitem uma definição clara do impacte da mina na paisagem.

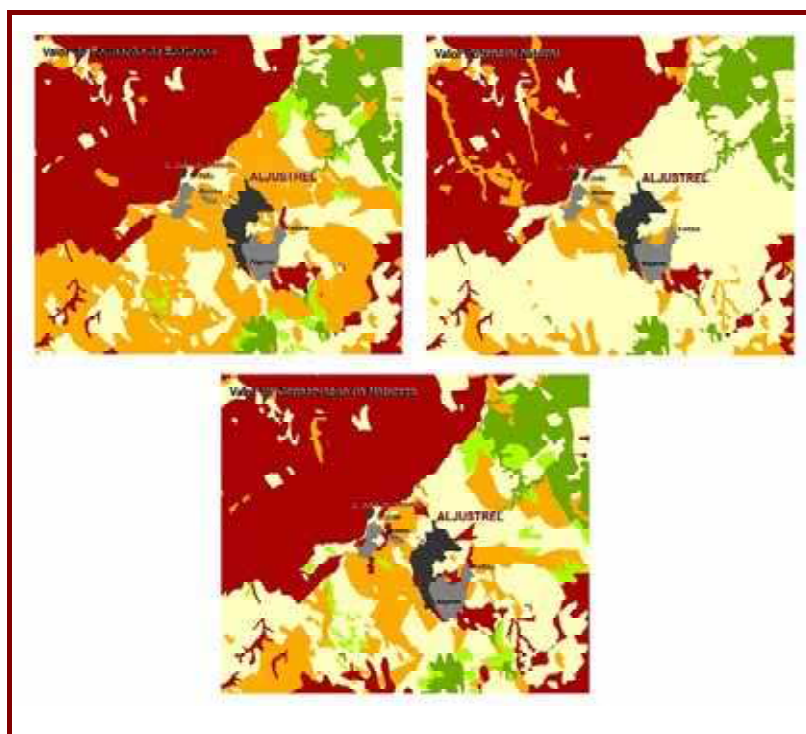


Figura 39 – Resultados da aplicação do modelo ILA

Como se trata de uma metodologia de comparação, a existência de variações negativas a Norte de S. João justifica-se, uma vez que em termos potenciais é uma área muito mais rica do ponto de vista pedológico do que as áreas nas imediações das minas, resultando o seu empobrecimento paisagístico do uso exclusivamente agrícola.

5.2 ANÁLISE DA PROPAGAÇÃO DE CONTAMINANTES NOS SOLOS E NAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

As águas subterrâneas são um recurso natural precioso, representando em muitos países a principal origem de água para abastecimento público. No entanto, as águas subterrâneas estão expostas a vários tipos de contaminações que podem representar uma ameaça para a saúde humana. (BATISTA *et al.*, 1998)

Segundo PARALTA e FRANCÈS (2000) “as medidas de protecção das águas subterrâneas devem considerar a vulnerabilidade dos sistemas aquíferos, em função das suas características hidrogeológicas e dos riscos de contaminação efectivos ou potenciais associados às condições climáticas e às actividades humanas”.

Para que se possa estudar o comportamento de determinados contaminantes na água subterrânea, é fundamental explanar os conceitos relacionados com as variáveis que condicionam o movimento dos principais agentes contaminantes existentes nas minas de pirite cuprífera, no solo e na água.

Para a caracterização da sensibilidade do meio hídrico subterrâneo aos poluentes deve-se começar por distinguir as áreas hidrogeológicas de importância regional, classificadas em sistemas aquíferos ou em outras formações hidrogeológicas. (LNEC, 2004)

Segundo TODD (1959) os aquíferos são definidos como uma formação geológica, formada por rochas permeáveis seja pela porosidade granular ou pela porosidade por fissura, capazes de armazenar e transmitir quantidades significativas de água. A CCDRA (2003) salienta que o Sistema Aquífero refere-se ao domínio espacial, limitado em superfície e em profundidade, no qual existe um ou vários aquíferos, relacionados ou não entre si, mas que constitui uma unidade prática para a investigação ou exploração.

As principais características do meio hídrico subterrâneo, que condicionam a maior ou menor facilidade de migração dos poluentes, são a capacidade de infiltração e de circulação da água no meio. Consideram-se duas hipóteses: a existência de meios carsificados¹⁷ ou

¹⁷ Entende-se por carsificação o processo de dissolução de uma rocha que tem como consequência o aumento da permeabilidade, muito comum nas rochas carbonatadas e outras rochas solúveis.

muito fissurados, onde as fracturas se encontram interligadas e contínuas em profundidade, aflorando estes meios à superfície ou os restantes meios. (LNEC, 2004, LEITÃO *et al.*, 2005)

Embora os meios carsificados e os muito fissurados constituam meios de evidente sensibilidade à poluição, há outras situações hidrogeológicas onde a elevada facilidade de infiltração pode determinar a classificação de zona sensível, como as áreas de infiltração máxima¹⁸, e as zonas com o nível piezométrico¹⁹ temporariamente muito próximo da superfície. (LEITÃO *et al.*, 2005) Nestas zonas existe a possibilidade da superfície piezométrica aflorar, mesmo que apenas alguns dias no ano, retirando o efeito tampão da zona não saturada do solo ao permitir transportar os poluentes acumulados no solo, aumentando assim a vulnerabilidade do meio hídrico subjacente.

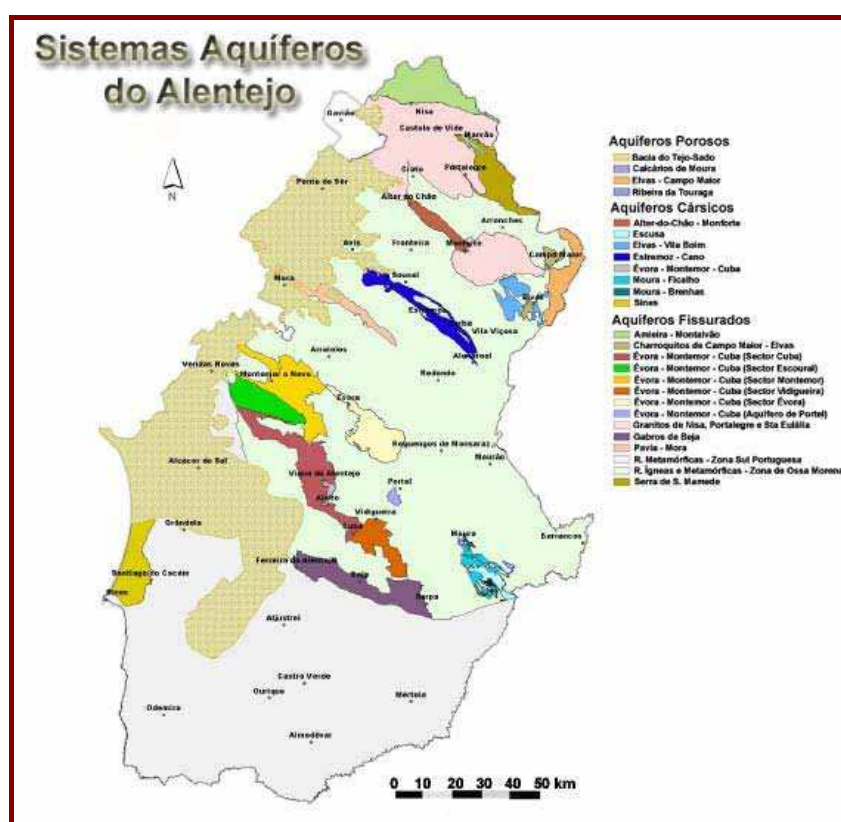


Figura 40 – Sistemas Aquíferos do Alentejo (CCDRA, 2003)

¹⁸ As áreas de infiltração máxima são definidas no DECRETO-LEI n.º 93/90 como todas as "áreas em que, devido a natureza do solo e do substrato geológico e ainda às condições de morfologia do terreno, a infiltração das águas apresenta condições favoráveis, contribuindo assim para a alimentação dos lençóis freáticos".

¹⁹ O nível piezométrico é o nível da água subterrânea de um aquífero cativo e semi-cativo em repouso hidrodinâmico, num determinado momento e local.

Em Portugal Continental os meios carsificados ou muito fissurados são constituídos por diversos afloramentos de rochas calcárias carsificadas, fundamentalmente de idade jurássica ou cretácica, e rochas quartzíticas fracturadas, de idade ordovícica. (CCDRA, 2003)

5.2.1 TRANSPORTE DE POLUENTES EM ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

O movimento da fase líquida na zona vadosa²⁰ é condicionado pela condutividade hidráulica do meio, pelo teor de humidade do solo e pela percentagem de poros em intercomunicação (LOBO-FERREIRA, 1983):

- Maiores valores de condutividade hidráulica correspondem a maiores velocidades de percolação;
- Quanto menor for o teor de humidade, maior é a rapidez do movimento descendente do poluente;
- A maior percentagem de poros em intercomunicação corresponde uma maior rapidez e facilidade de deslocação do poluente.

A zona vadosa, pela sua localização física entre os principais focos de poluição e as águas subterrâneas, serve de meio condutor para diversos compostos, sendo igualmente o local preferencial e com natural aptidão para a degradação e transformação de poluentes, desempenhando um papel fundamental na atenuação da poluição, através do seguinte conjunto de processos principais (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1987):

- Intercepção, adsorção e eliminação de bactérias patogénicas e vírus;
- Atenuação de metais pesados e outros químicos inorgânicos, através de fenómenos de precipitação (como carbonatos, sulfuretos ou hidróxidos), de adsorção, de troca iónica e de complexação;
- Adsorção ou biodegradação de hidrocarbonetos e de compostos orgânicos sintéticos.

Na zona saturada o movimento é essencialmente horizontal e depende fundamentalmente da condutividade hidráulica do solo e da porosidade eficaz.

²⁰ É a zona que se situa imediatamente abaixo da superfície topográfica e acima do nível freático, onde os espaços vazios entre as partículas estão parcialmente preenchidos por gases e por água.

Nas áreas mineiras abandonadas como Aljustrel (Explorações de Sulfuretos Polimetálicos – Minas de Pirite Cuprífera) a contaminação dos solos e das águas subterrâneas é um dos principais problemas. Segundo SANTOS OLIVEIRA *et al.* (2002) os sulfuretos são “espécies altamente vulneráveis e susceptíveis de serem oxidadas pelo oxigénio presente nas águas pluviais. A oxidação dos sulfuretos, processo químico libertador dos metais presentes nestas fases mineralógicas, gera um soluto de baixo pH susceptível de promover o ataque químico de outros minerais, como óxidos, carbonatos e silicatos alterados, cuja solubilização induz, por seu turno, o aumento do valor de pH do meio e desencadeia a precipitação de oxihidróxidos de ferro, manganês e alumínio, que funcionam como poderosos colectores dos outros metais pesados”.

Segundo o LNEC (2004) os principais processos de transporte de metais pesados em meios subterrâneo são

- **Adsorção** – É um dos principais mecanismos que afecta o transporte de poluentes em meio subterrâneo. Segundo FRANCISCHETTI (2004) “adsorção é o termo utilizado para descrever a tendência das moléculas da fase fluida aderirem à superfície de um sólido. Designa o processo pelo qual os poluentes em solução ficam atraídos na superfície da matriz sólida envolvente, e parece ser o processo mais importante na fixação de metais pesados, bem como na sua retenção em ambiente subterrâneo (CANTER *et al.*, 1987). A presença de minerais de argila e matéria orgânica são fundamentais para a ocorrência deste fenómeno.
- **Troca Iónica** – Envolve a troca entre iões adsorvidos à superfície da matriz sólida e os iões presentes na solução aquosa. Segundo FONSECA e BARRIGA (2003), devido a estes processos, as partículas de solo podem fixar catiões existentes em certas concentrações na solução aquosa e/ou libertar da sua estrutura catiões mais instáveis transformando-se, por vezes, em minerais de outra espécie ou grupo. Os substractos sólidos geralmente envolvidos nas trocas iónicas são as argilas, a matéria orgânica e os óxidos e hidróxidos metálicos (Fe, Mn, Al). Geralmente, os solos argilosos e o húmus têm capacidades de troca mais elevadas do que outros solos (CHAE e HAMIDI, 2000). A esmectite e a vermiculite são os minerais de argila que maior capacidade de troca catiónica (CTC), possuindo assim maior capacidade para diminuir a sua mobilidade nos solos, ao passo que caulinite e a illite, pelo contrário, inserem-se no grupo das argilas de baixa CTC.
- **Precipitação** – Para RUSSEL (1994) quando a concentração de um produto começa a exceder a solubilidade de determinada substância, qualquer quantidade a mais desse produto precipita, desde que a substância não fique supersaturada. A circulação das águas subterrâneas por entre os materiais porosos ou rochosos com os quais contacta

proporciona a sua dissolução parcial. A precipitação ocorre quando o pH das águas se torna mais alcalino favorecendo a reacção dos iões metálicos com a água para formar produtos de reacção, que precipitam como óxidos ou hidróxidos minerais, ou formando um revestimento sob os minerais do solo de óxidos e hidróxidos. É comum a precipitação de metais como hidróxidos, sulfuretos e carbonatos (CHAE e HAMIDI, 2000).

- **Hidrólise** – É uma reacção de um composto com a água ou com um ião componente da água (KNOX *et al.*, 1993, RUSSEL, 1994). Este tipo de reacções envolve a transformação de poluentes inorgânicos ou orgânicos dissolvidos nas águas subterrâneas.

- **Reacções de oxidação-redução** – Envolvem a transferência de um ou mais electrões, entre compostos químicos. A oxidação refere-se à perda de electrões e a redução refere-se ao ganho de electrões. A oxidação e a redução ocorrem em conjunto, ou seja, os electrões libertados por um composto têm que ser ganhos por outro composto. Os prótons livres são frequentemente consumidos nas reacções de redução, aumentando o valor de pH. (LNEC, 2004)

- **Complexação iónica** – Envolve a formação de complexos solúveis, com carga ou neutros, entre os iões metálicos e os aniões inorgânicos ou orgânicos dissolvidos. Os complexos formados com os metais aumentam a sua mobilidade ao impedirem-nos de serem adsorvidos ou precipitados. Uma característica da maior parte dos metais pesados nas águas subterrâneas consiste na sua tendência para formar espécies hidrolisadas e complexos, através da combinação com aniões inorgânicos ou com substâncias orgânicas. A formação de complexos com os cloretos, sulfatos e bicarbonatos aumenta com o aumento da concentração destes aniões na solução (FREEZE e CHERRY, 1979).

5.2.2 IMPACTES NA HIDROLOGIA, HIDROGEOLOGIA E QUALIDADE DA ÁGUA

Os efluentes líquidos portadores de metais pesados (escorrências das escombreiras e águas drenadas das minas), que correm livremente para as linhas de água e penetram nos aquíferos subterrâneos através de processos de infiltração e percolação, constituem uma fonte geradora de contaminação antropogénica do meio hídrico na envolvente das explorações mineiras, quer tenham sido a céu aberto, ou por lavra subterrânea. (SANTOS OLIVEIRA *et al.*, 2002)

Ainda segundo os mesmos autores, “o meio aquoso, porque constitui um solvente universal, exerce um papel determinante na mobilização e consequente dispersão dos metais presentes nas paragénese minerais. Assim, as águas de escorrência das escombreiras,

provenientes da infiltração das águas das chuvas no material acumulado, bem como as águas da drenagem das minas em contacto prolongado com os filões mineralizados, exibem com frequência altos teores de metais dissolvidos resultantes de processos químicos de dissolução de fases mineralógicas ricas em sulfuretos, espécies altamente vulneráveis e susceptíveis de serem oxidadas pelo oxigénio presente nas águas pluviais.”

O caso mais preocupante no que concerne à contaminação das águas superficiais e subterrâneas prende-se com as explorações de pirite. Durante o processo da extracção, uma das fontes mais significativas poluentes de metais é constituída por minerais do grupo dos sulfuretos, e que são parte constituinte das escombreyras das minas de minérios metálicos que têm vindo a laborar no país. Os sulfuretos, ao entrar em contacto com o oxigénio e na presença de água, por vezes com a contribuição de bactérias oxidantes, oxidam-se. Estes desequilíbrios químicos contribuem para que se forme água ácida (com pH baixos) que, por sua vez, acelera o processo de libertação dos metais contidos nesses minerais. (RAVENGAI *et al.*, 2005, SANTOS OLIVEIRA, 1997)



Figura 41 – Aspecto da Contaminação das Águas na Mina dos Algares em Aljustrel
(Foto: NUNO GUIOMAR, 2001)

Embora ocorram pontualmente descargas de água bombeadas das explorações, algumas destas não efectuem o tratamento e reutilização da água em circuito fechado, lançando as águas com cargas sólidas em drenos e valas, acabando estas por se infiltrarem no solo não chegando à rede de drenagem. Além destes impactes induzidos sobre as águas superficiais (descarga de efluentes carregados de sólidos em suspensão e contaminação das águas e

solos) ocorrem também alterações na rede de drenagem natural, pela obstrução destas com ocupação do espaço pelas escomboreiras e infra-estruturas de apoio às minas e/ou pedreiras.

Estes impactes nas águas superficiais fazem-se sentir sobretudo nas fases de exploração e abandono e têm repercussões na qualidade da água para consumo humano.



Figura 42 – Aspecto da Contaminação das Águas na Mina de S. Domingos em Mértola (Foto: NUNO GUIOMAR, 2005)

Relativamente às águas subterrâneas o problema coloca-se em termos de qualidade e da quantidade da reserva hídrica subterrânea. Os impactes sobre as águas subterrâneas mais significativos ocorrem nas fases de exploração e abandono e traduzem-se na contaminação e alteração do nível freático.

Os fluxos nas águas subterrâneas são lentos e os contaminantes não são diluídos nem se faz a sua dispersão com eficácia. A água subterrânea tem também concentrações menores ao nível de populações de bactérias decompositoras do que os sistemas da água de superfície. Para além destes factores, a sua temperatura mais baixa retarda em muito as reacções de decomposição. (VAN DER MERWE, 2003).

Alguns dos impactes a este nível surgem em minas e algumas pedreiras que atingem algumas dezenas de metros de profundidade, quando necessário efectuar bombagem das águas, causando importantes consequências nos níveis freáticos. Contudo, algumas pedreiras abandonadas funcionam como zonas de reservas e de recarga, no entanto são

áreas muito vulneráveis à poluição, como tal, susceptíveis à contaminação dos aquíferos. Nas zonas de exploração também podem surgir focos de poluição, tais como derrames acidentais de combustíveis, óleos de equipamentos e viaturas e lamas.

Deverão fazer-se estudos exaustivos no que concerne ao conhecimento sobre o número de poços e furos de captação de água para abastecimento ou rega nas zonas circunvizinhas às zonas de exploração, assim como as suas características técnicas, nomeadamente o caudal e turgidez, que possam esclarecer quais os danos ou influência que a implantação e os trabalhos das pedreiras e/ou minas têm no sistema de drenagem hidrogeológico.

5.2.3 AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE À POLUIÇÃO DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS

Para se estudar a propagação de poluentes no solo e nas águas subterrâneas, deverá ser analisada a vulnerabilidade do substrato.

A vulnerabilidade é definida como a sensibilidade da qualidade das águas subterrâneas a uma carga poluente, função apenas das características do aquífero. (DUIJVENBOODEN e WARGENINGH, 1987, FOSTER e HIRATA, 1993),

Segundo PARALTA *et al.* (2005) “por vulnerabilidade entende-se a maior ou menor capacidade de atenuação das camadas superiores do aquífero à passagem dos poluentes. Trata-se, portanto, de uma propriedade intrínseca do sistema hidrogeológico. A noção de vulnerabilidade específica deverá ser utilizada sempre que se considera também as propriedades de um poluente específico e as suas relações com as componentes de vulnerabilidade intrínseca”.

Segundo os mesmos autores “o interesse de avaliar o grau de vulnerabilidade das diversas formações aquíferas decorre fundamentalmente da necessidade de fornecer às autoridades competentes um instrumento que seja útil nas tomadas de decisão ao nível do planeamento e ordenamento do território”.

Os mapas de vulnerabilidade pretendem representar o grau de protecção natural à poluição de um aquífero em função das suas propriedades hidrogeológicas. Neste caso, fala-se de vulnerabilidade intrínseca do aquífero (CCDRA, 2003).

É importante também reconhecer que a vulnerabilidade de um aquífero depende também do tipo de poluente potencial. Por exemplo, a qualidade da água subterrânea pode ser muito vulnerável a uma carga de nitratos, originada por práticas agrícolas incorrectas, e no entanto, ser pouco vulnerável a cargas patogénicas. (LOBO-FERREIRA *et al.*, 2002).

Segundo OLIVEIRA e LOBO-FERREIRA (2003) “o processo de avaliação da vulnerabilidade deve corresponder ao cálculo bem definido de índices de forma a reduzir a subjectividade

envolvida na caracterização desses índices. Os índices devem ser de aplicação relativamente simples, dadas as limitações de dados normalmente existentes, embora devam ser consistentes e válidos para a classificação da vulnerabilidade que se pretende fazer numa área em estudo”.

Para avaliar a vulnerabilidade das águas subterrâneas, utiliza-se neste trabalho, o método DRASTIC desenvolvido por ALLER *et al.* (1987). O conceito subjacente a toda a aplicação do método DRASTIC é o de unidade cartografada. A unidade cartografada pode ser o aquífero, o sistema aquífero, a formação geológica, etc. (OLIVEIRA e LOBO-FERREIRA, 1998)

O método DRASTIC fundamenta-se num conjunto de procedimentos que permitem integrar vários parâmetros caracterizadores do meio subterrâneo e da sua especificidade. Segundo ALLER *et al.* (1987), o índice de vulnerabilidade DRASTIC obtêm-se através do somatório ponderado de 7 parâmetros ou indicadores hidrogeológicos, indicados na Tabela 3.

Cada um dos sete parâmetros DRASTIC foi dividido quer em escalas quer em tipos de meio significativos que condicionam o potencial de poluição (LOBO-FERREIRA, 1998):

- Atribuem-se valores de 1 a 10 a cada parâmetro, em função das condições locais (valores elevados correspondem a uma maior vulnerabilidade). Os valores a atribuir obtêm-se de tabelas que consideram a correspondência entre as características hidrogeológicas locais e o respectivo parâmetro;
- Em seguida o índice local é calculado multiplicando o valor atribuído ao parâmetro pelo seu peso relativo, cada parâmetro tem um peso pré-determinado que reflecte a sua importância relativa na quantificação da vulnerabilidade. Os parâmetros mais importantes têm um peso 5, os menos importantes, peso 1.

Parâmetro	Factor de Ponderação
D – Profundidade do Topo do Aquífero (m)	5
R – Recarga do Aquífero (mm/ano)	4
A – Material do Aquífero	3
S – Tipo de Solo	2
T – Topografia (%)	1
I – Influência da Zona Vadosa	5
C – Condutividade Hidráulica do aquífero (m/d)	3

Tabela 2 – Parâmetros DRASTIC e factores de ponderação atribuídos (adaptado de ALLER *et al.*, 1987)

O potencial DRASTIC obtêm-se através da seguinte expressão:

$$\text{DRASTIC} = D_p \times D_i + R_p \times R_i + A_p \times A_i + S_p \times S_i + T_p \times T_i + I_p \times I_i + C_p \times C_i$$

Onde i é o valor do elemento em causa e p é o factor de ponderação, reflectindo a sua importância relativa.

5.2.3.1 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DRASTIC

a) Parâmetro D – Profundidade do Topo do Aquífero

A profundidade do topo do aquífero condiciona a espessura de material que um poluente tem que atravessar para atingir o aquífero. Geralmente, existe mais probabilidade de um poluente sofrer atenuação quanto maior for a profundidade. Segundo OLIVEIRA *et al.* (1996), num aquífero livre, a profundidade é a distância ao nível freático. É conseguida a partir da observação de registos de abertura de furos, onde normalmente se refere a profundidade à qual se deu o aparecimento de água.

ALLER *et al.* (1987) considera os seguintes intervalos de profundidade do topo do aquífero e respectivos índices:

Profundidade do Topo do Aquífero (m)	Índice
< 1,5	10
1,5-4,6	9
4,6-9,1	7
9,1-15,2	5
15,2-22,9	3
22,9-30,5	2
>30,5	1

Tabela 3 – Índices atribuídos ao parâmetro D (adaptado de ALLER *et al.*, 1987)

Os dados relativos à profundidade dos aquíferos (ANEXO VII) foram obtidos a partir dos dados relativos aos sistemas de abastecimento de água com origens subterrâneas, publicado pelo INAG (2000). A interpolação destes dados realizou-se com recurso a

Krigagem²¹ realizado no software ESRI® ArcGIS Spatial Analyst™ 9.1. O mapa de profundidade do topo do aquífero pode ser visualizado na Figura 43.

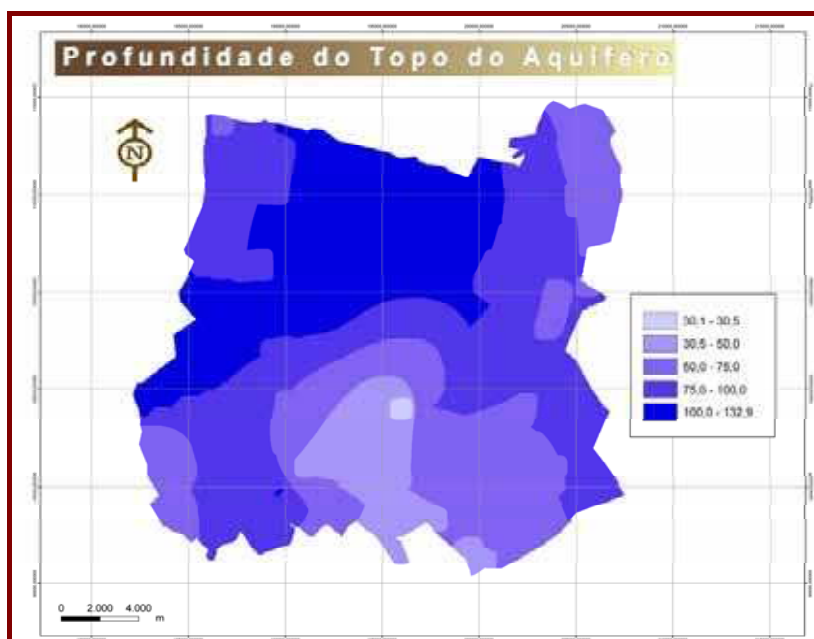


Figura 43 – Profundidade do Topo do Aquífero (Carta 14 dos ANEXOS CARTOGRÁFICOS)

b) Parâmetro R – Recarga do aquífero

Define-se recarga de águas subterrâneas como a quantidade de água que se acrescenta à zona saturada de água subterrânea. A recarga pode ocorrer por infiltração da água da chuva, por infiltração a partir de cursos de água e de outros corpos hídricos superficiais, por escoamento subterrâneo, por infiltração da água de rega e/ou por ação humana (recarga artificial). (OLIVEIRA, 2001)

Segundo LOBO-FERREIRA *et al.* (2002), a recarga do aquífero condiciona o transporte de um poluente na zona não saturada e a disponibilidade de água para processos de dispersão e diluição tanto na zona vadosa como na zona saturada. De uma maneira geral, quanto maior a recarga, maior será o potencial de poluição das águas subterrâneas. No entanto, um grande volume de recarga favorece a diminuição do potencial de poluição pois possibilita a diluição das substâncias poluentes.

²¹ “A Krigagem visa a obtenção do melhor estimador linear possível, a partir da combinação linear dos valores observados do fenómeno. As observações são ponderadas em função da sua distância à localização do ponto a estimar. Para que a inferência espacial possa ser considerada óptima, a combinação linear das observações deve minimizar a variância dos erros de estimação.” (NICOLAU, 2002)

Segundo OLIVEIRA (2004) “a quantificação da recarga de águas subterrâneas é um processo estimativo, uma vez que não é passível de ser medido directamente, e existem normalmente dificuldades no que concerne à validação dos resultados obtidos pela aplicação de qualquer método”.

OLIVEIRA *et al.* (1997) propõe dois métodos que permitem, a partir de informação de base, estimar e extrapolar a recarga para outras regiões. Esses dois métodos são:

- Método de VERMEULEN *et al.* (1994), nos casos em que se está perante formações porosas, em que se pode considerar que a água disponível abaixo da camada de solo pode ser incorporada pelo aquífero;
- Utilizando a recta de correlação da recarga (R) sobre a precipitação (P), determinada para casos estudados de formações xistosas e graníticas do Maciço Antigo Português (Figura 44). Esta recta, apresentada em OLIVEIRA *et al.* (1997) tem a expressão: $R = 0,551 \times P - 323$ (mm/ano), considerando-se recarga nula quando P é inferior a 586 mm/ano.

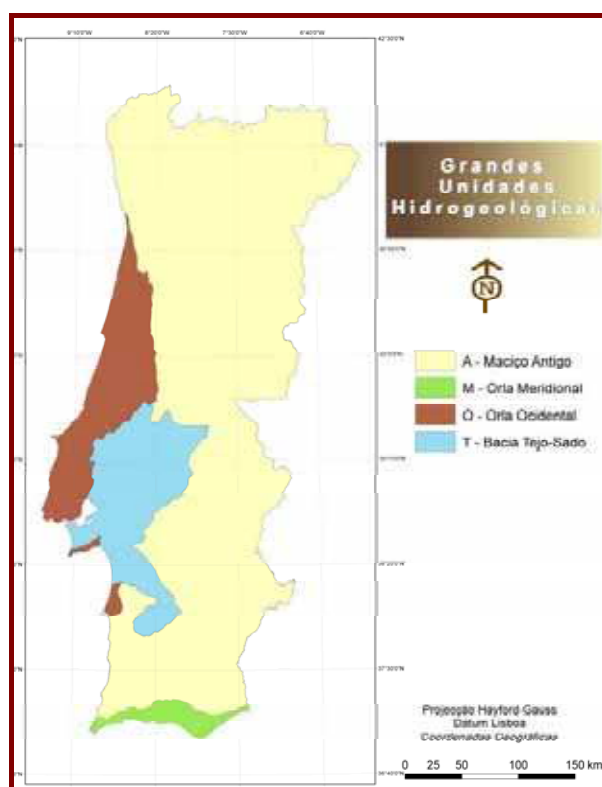


Figura 44 – Grandes Unidades Hidrogeológicas (Fonte: SNIRH/INAG, 2005)

ALLER *et al.* (1987), considera os seguintes intervalos de recarga e respectivos índices (Tabela 4):

Recarga do Aquífero (mm/ano)	Índice
< 51	1
51-102	3
102-178	6
178-254	8
>254	9

Tabela 4 – Índices atribuídos ao parâmetro R
(adaptado de ALLER *et al.*, 1987)

Os dados base de precipitação para efectuar a interpolação têm como origem as Normais Climatológicas da Região de “Alentejo e Algarve” correspondentes a 1951-1980 (INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E GEOFÍSICA, 1991). (ANEXO VIII).

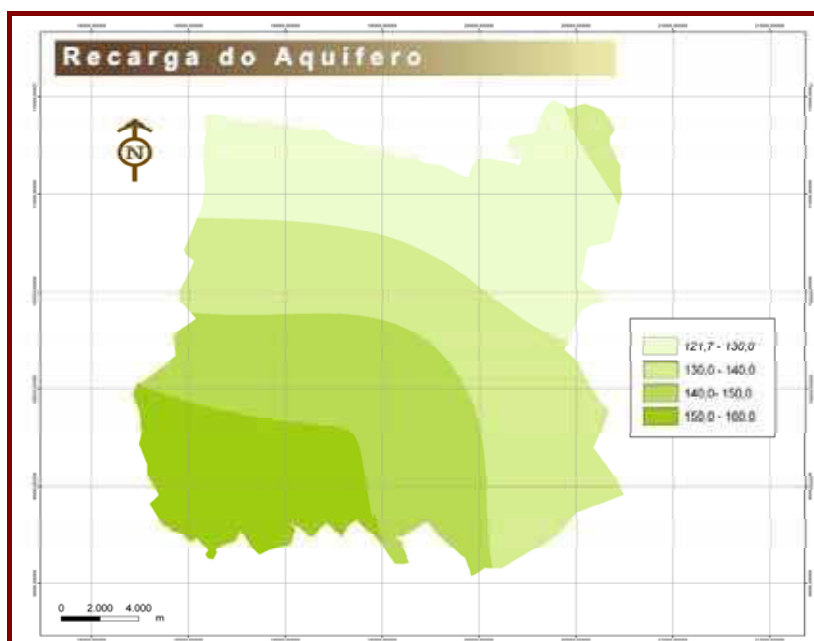


Figura 45 – Capacidade de Recarga do Aquífero (Carta 15 dos ANEXOS CARTOGRÁFICOS)

c) Parâmetro A – Material do aquífero

Segundo LOBO-FERREIRA *et al.* (2002), o material do aquífero refere-se à capacidade do aquífero para atenuar os efeitos dos poluentes. Para além deste efeito principal, condiciona também o fluxo de água subterrânea que, em conjunto com a condutividade e com o

gradiente hidráulico, determinam o tempo disponível para a ocorrência dos processos de atenuação.

A caracterização do material do aquífero foi feita a partir da informação disponível sobre a geologia, baseada na Carta Geológica de Portugal, à escala 1/500000. (Carta 16 dos ANEXOS CARTOGRÁFICOS)

Com base em LOBO-FERREIRA *et al.* (2002) foi elaborada a Tabela constante no ANEXO IX. O índice de vulnerabilidade é tanto maior, quanto menor é a capacidade do material do aquífero para atenuar os efeitos dos poluentes. A Figura 46 ilustra a aplicação dos valores do parâmetro relativo ao Material do Aquífero para o Concelho de Aljustrel.

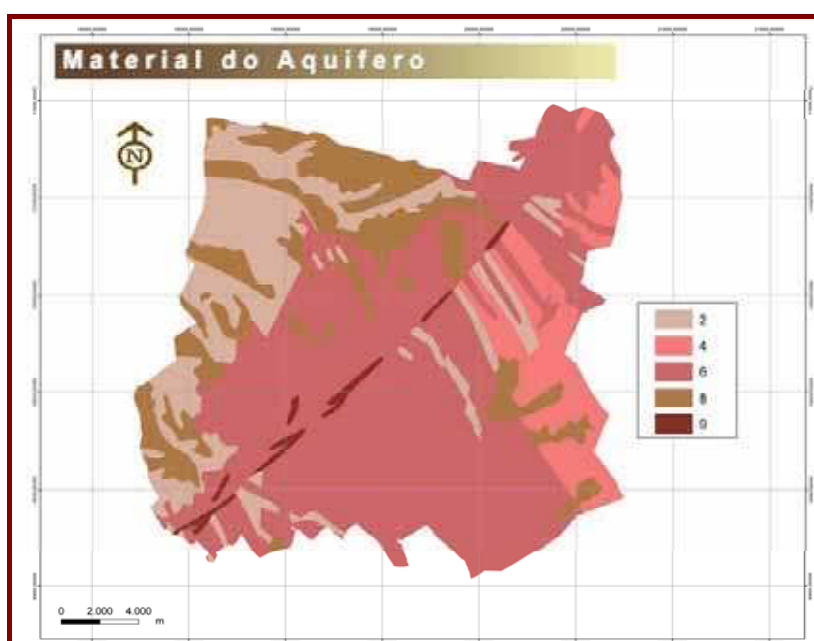


Figura 46 – Material do Aquífero

d) Parâmetro S – Tipo de Solo

Este parâmetro refere-se ao material da zona alterada da superfície terrestre, com uma espessura normalmente inferior a 2m. O tipo de solo tem um significativo impacto na quantidade de recarga, mas é sobretudo pelo seu potencial atenuador da poluição que é considerado no índice DRASTIC. As propriedades de um solo que condicionam o potencial de poluição são (OLIVEIRA *et al.*, 1997):

- Espessura do solo;
- Textura do solo;
- Expansibilidade/contractibilidade do solo;

- Teor em matéria orgânica do solo.

A atribuição de valores aos solos baseou-se na metodologia apresentada em OLIVEIRA *et al.* (1997), que teve como base a caracterização dos perfis de solos, quanto à textura e à espessura, publicada por CARDOSO (1965). (ANEXO X).

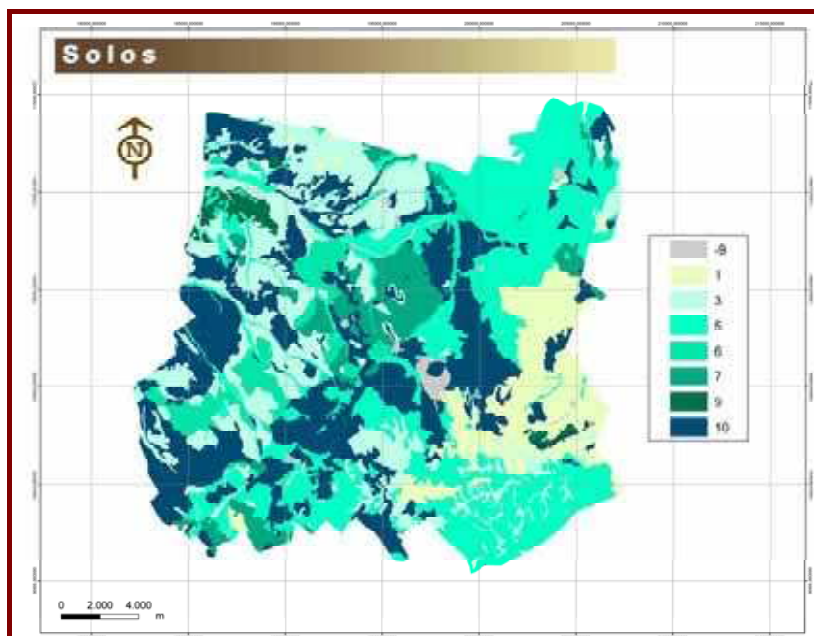


Figura 47 – Parâmetro referente ao Tipo de Solo

e) Parâmetro T – Topografia

Este parâmetro condiciona a probabilidade de um poluente escoar superficialmente ou de permanecer à superfície durante o tempo suficiente para se infiltrar. Influencia ainda o desenvolvimento de solos condicionando, desta forma, o efeito de atenuação do contaminante (OLIVEIRA *et al.*, 1997, LOBO-FERREIRA *et al.*, 2002).

A caracterização da topografia, foi feita a partir da elaboração da carta de declives. A informação base foi extraída das Cartas Militares do IgeoE, à escala 1:25000, que foram rasterizadas, georreferenciadas e vectorizadas.

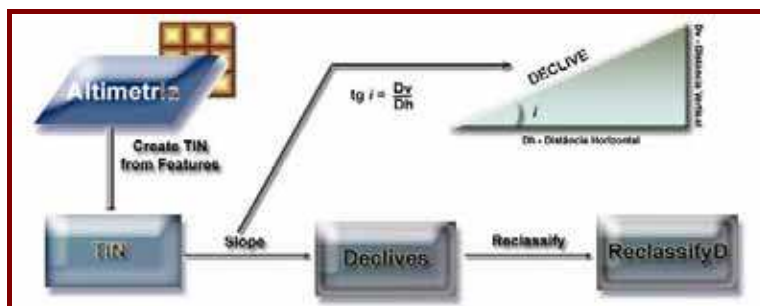


Figura 48 – Fluxograma de Análise Espacial para Cálculo dos Declives

Os índices foram atribuídos a cada classe de declives tendo como base a tabela 5.

Topografia (Declives em %)	Índice
<2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
>18	1

Tabela 5 – Índices atribuídos ao Parâmetro T
(adaptado de ALLER *et al.*, 1987)

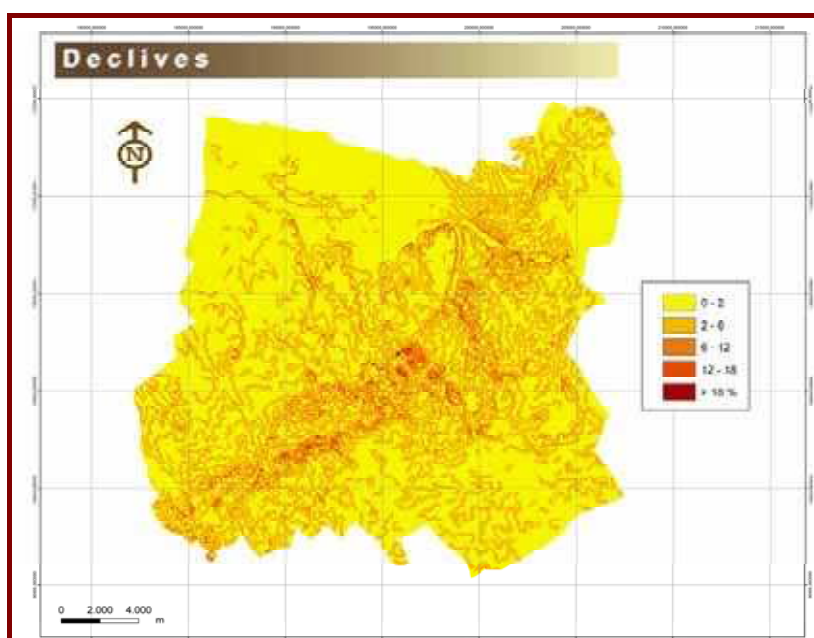


Figura 49 – Carta de Declives (Carta 17 dos ANEXOS CARTOGRÁFICOS)

Constata-se que o índice de vulnerabilidade é tanto maior, quanto menor é a probabilidade de escoamento, favorecendo a infiltração do poluente.

f) Parâmetro I – Influência da Zona Vadosa

O tipo de material da zona vadosa condiciona o tempo de contacto com o poluente, permitindo a ocorrência de diversos processos: biodegradação, neutralização, filtração mecânica, reacção química, volatilização e dispersão. Os valores a atribuir ao parâmetro I encontram-se representados na Tabela do ANEXO XI, elaborada com base em LOBO-FERREIRA *et al.*, (2002).



Figura 50 – Influência da Zona Vadosa (Fonte: Carta Litológica do Atlas do Ambiente – DGA, 1998)

g) Parâmetro C – Condutividade Hidráulica do Aquífero

Refere-se à capacidade do aquífero para transmitir água que, conjuntamente com o gradiente hidráulico, controla o fluxo de água subterrânea. A condutividade hidráulica depende da quantidade e conectividade dos espaços vazios dentro do aquífero, que podem ser poros, fracturas, cavidades ou planos de estratificação. ALLER *et al.* (1987) considera os seguintes intervalos de condutividade hidráulica com importância para a atenuação do potencial de poluição e respectivos índices (Tabela 6).

Condutividade Hidráulica do Aquífero (m/dia)	Índice
<4,1	1
4,1-12,2	2
12,2-28,5	4
28,5-40,7	6
40,7-81,5	8
>81,5	10

Tabela 6 – Índices atribuídos ao parâmetro C (adaptado de ALLER *et al.*, 1987).

O índice de vulnerabilidade é tanto maior, quanto maior for a capacidade do aquífero para transmitir água. Para o cálculo da Condutividade Hidráulica recorreu-se à seguinte fórmula:

$$\text{Condutividade Hidráulica} = \frac{\text{Transmissividade}}{\text{Espessura}}$$

Por Transmissividade entende-se o caudal derivado através de um troço de aquífero de largura unitária por unidade de gradiente hidráulico. Houve a necessidade de converter as unidades de caudal de l/h a m³/dia (ANEXO VII). Os valores pontuais sofreram um processo de interpolação (*kriging*), e posteriormente dividiram-se os valores do caudal pela dimensão do *pixel*, resultado ilustrado na Figura 51.

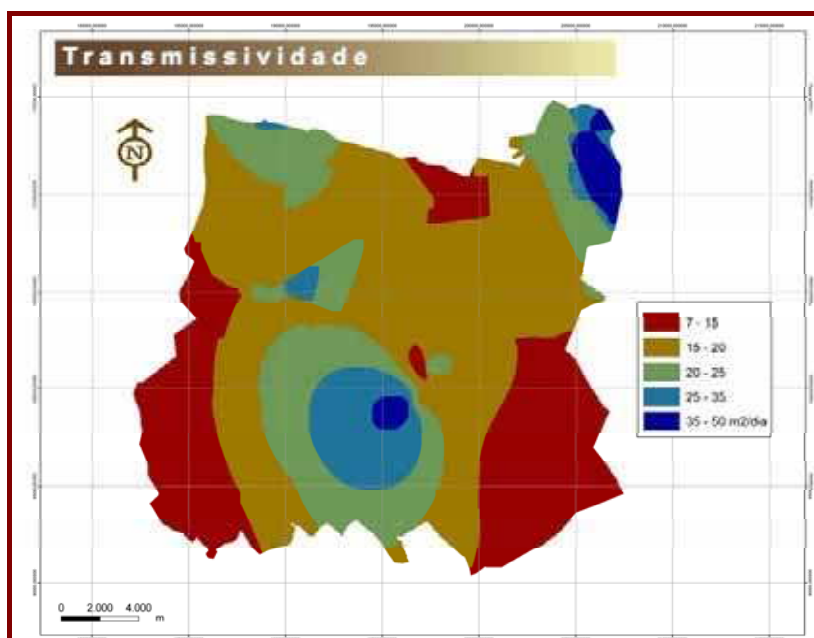


Figura 51 – Valores de Transmissividade

Na definição da espessura saturada do aquífero²² podem surgir problemas. Deve-se notar que o comprimento total da zona da captação não deve ser utilizado como espessura saturada do aquífero, uma vez que os valores obtidos por ensaios de bombagem apenas dão uma média da espessura total do aquífero, e incluem extractos menos permeáveis dentro do aquífero. (LOBO-FERREIRA e KRIIGSMAN, 2001)

Por um lado, frequentemente não se conhece a geometria do aquífero, desconhecendo-se por isso o seu volume, e por outro só raramente se dispõe de informação sobre valores de campo da porosidade eficaz, não se conseguindo avaliar com rigor os espaços vazios existentes na rocha, susceptíveis de fornecer água. (MAOT, 2001)

Segundo o mesmo documento a espessura em formações de Depósitos Plio-Plistocénicos varia entre 0 e 20 m, e em formações do Holocénico é aproximadamente de 8 m.

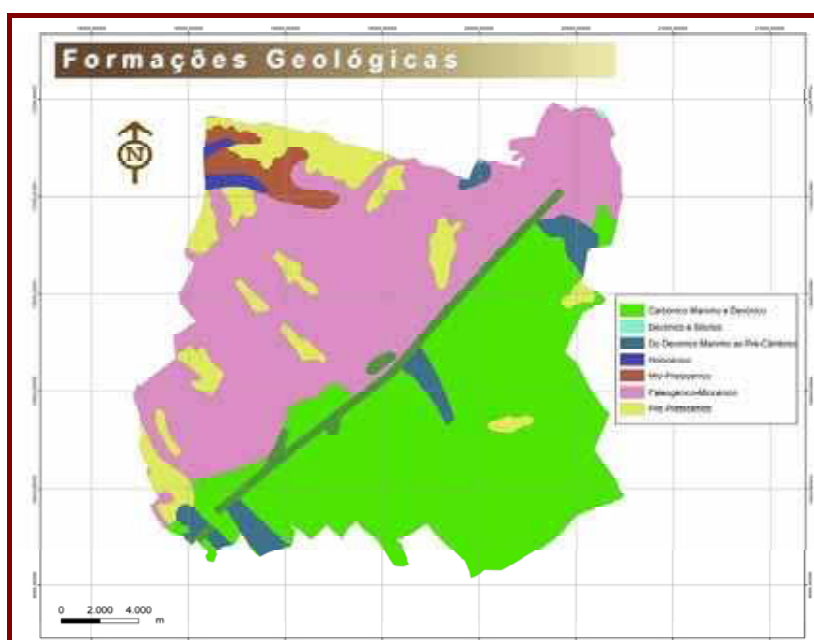


Figura 52 – Formações Geológicas (Carta 18 dos ANEXOS CARTOGRÁFICOS)
(Fonte: Carta Litológica do Atlas do Ambiente – DGA, 1998)

Algumas formações hidrogeológicas apresentam especificidades que requerem um tratamento diferenciado. É o caso das formações apresentando porosidade eficaz muito baixa (e consequentemente armazenamentos permanentes muito baixos) mas que apresentam espessuras de alteração onde a porosidade eficaz é muito superior. Estão

²² Segundo o DECRETO-LEI n.º 382/99 de 22 de Setembro, a Espessura saturada na captação é fracção da captação que se encontra preenchida por água.

neste caso as formações fracturadas, pertencentes ao Maciço Antigo. Nas formações fracturadas considera-se em profundidade dois tipos de meios ocorrentes na zona de armazenamento permanente. Em cima, um meio de alteração da rocha subjacente onde ocorre porosidade dupla (poros e fracturas), e em baixo um meio de rocha não alterada onde ocorre essencialmente porosidade por fracturas. A espessura destes meios varia em função dos declives dos terrenos (Tabela 7), sendo que em zonas mais planas desenvolvem-se espessuras de alteração superiores e que em zonas mais acidentadas a espessura de alteração é inferior devido a uma maior erosão das zonas alteradas. (MAOT, 2001)

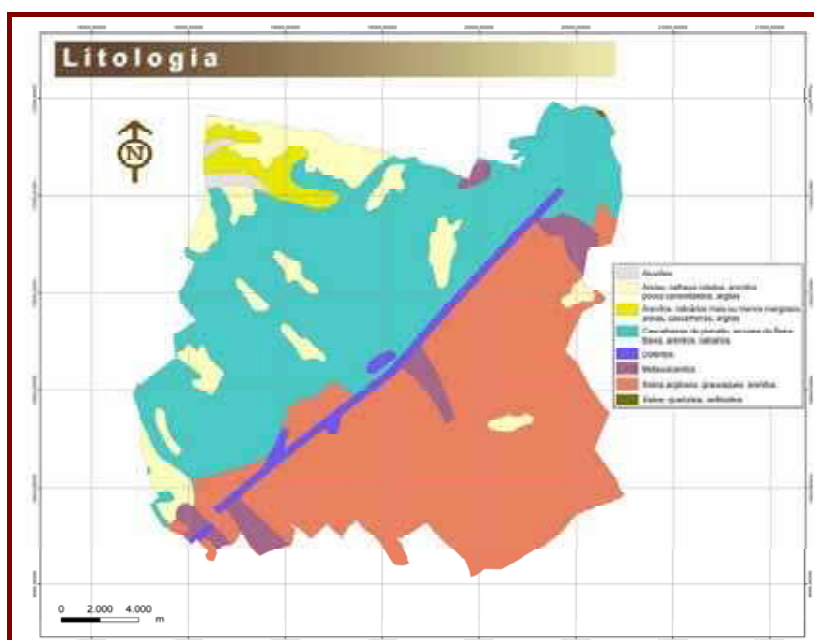


Figura 53 – Litologia (Carta 19 dos ANEXOS CARTOGRÁFICOS) (Fonte: Carta Litológica do Atlas do Ambiente – DGA, 1998)

Espessura na Zona de Armazenamento Permanente	Declives até 6%	Declives acima de 6%
Meio de Porosidade Dupla	5 m	0 m
Meio de Porosidade por Fracturas	45 m	50 m

Tabela 7 – Espessura na Zona de Armazenamento Permanente de Formações Fracturadas de Rochas Xistosas ou afins, incluindo Metavulcanitos

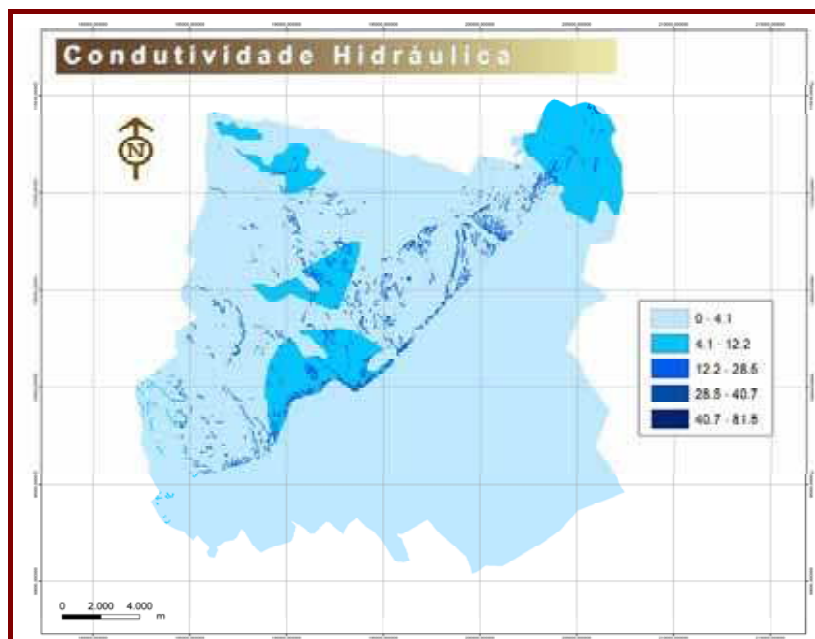


Figura 54 – Condutividade Hidráulica (Carta 20 dos ANEXOS CARTOGRÁFICOS)

5.2.3.2 DETERMINAÇÃO DO ÍNDICE DE VULNERABILIDADE À POLUIÇÃO

Os mapas de vulnerabilidade à poluição são geralmente elaborados a partir do cruzamento de vários níveis de informação aos quais podem ser atribuídos factores de ponderação em função da sua importância na contribuição para a vulnerabilidade do aquífero.

As ferramentas informáticas, nomeadamente as de análise espacial em formato *raster*, são fundamentais nestes cálculos, essencialmente pela facilidade e rapidez de execução que permitem. (FRANCÈS e PARALTA, 2001)

O índice de vulnerabilidade foi obtido fazendo o somatório ponderado dos produtos do índice atribuído a cada parâmetro pelo peso desse parâmetro.

De acordo com o método do índice DRASTIC, a vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas é tanto maior quanto maior o índice. De acordo com LOBO-FERREIRA *et al.*, (2002) pode fazer-se a seguinte correspondência:

- DRASTIC < 120: vulnerabilidade baixa
- DRASTIC 120-160: vulnerabilidade intermédia
- DRASTIC 160-199: vulnerabilidade elevada
- DRASTIC > 199: vulnerabilidade muito elevada

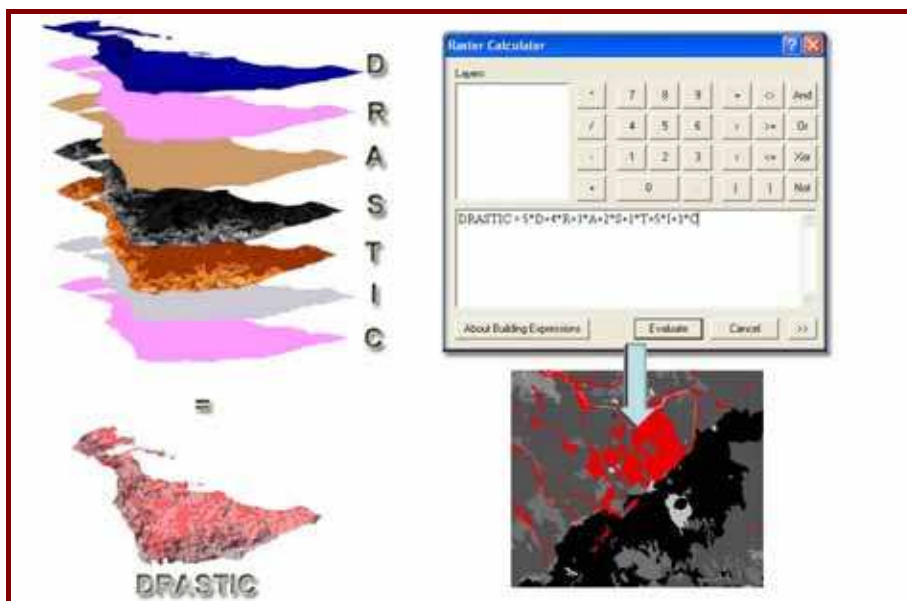


Figura 55 – Cálculo do Índice DRASTIC (modificado de FRANCÈS e PARALTA, 2001)

Concretizou-se assim a elaboração da carta de vulnerabilidade final (Figura 56), sobre a qual podemos concluir que a maior parte da área do concelho de Aljustrel é de baixa vulnerabilidade dos aquíferos à poluição.

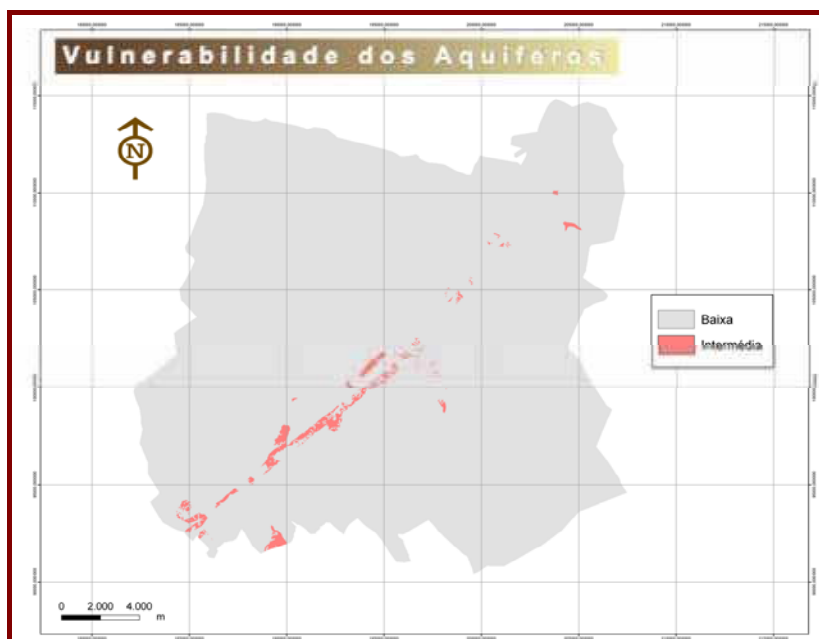


Figura 56 – Índice de Vulnerabilidade dos Aquíferos (Carta 21 dos ANEXOS CARTOGRÁFICOS)

5.2.4 MODELAÇÃO DA PROPAGAÇÃO DE CONTAMINANTES

Segundo NEVES (1996), um modelo representa o resultado de um real ou hipotético conjunto de processos e consequentemente os possíveis desenvolvimentos futuros. Os modelos nunca representam completamente a realidade mas podem fazer aproximações analógicas que permitam um melhor conhecimento desta e uma aproximação, por vezes decisiva, na compreensão dos sistemas naturais e sociais.

A utilização de tecnologias de informação geográfica, que permitem a aquisição e processamento de dados georeferenciados e a sua manipulação e análise para a elaboração de mapas temáticos e implementação de sistemas de apoio à decisão, são actualmente ferramentas indispensáveis em qualquer estudo no domínio do Ambiente e dos Recursos Hídricos. A aplicação de metodologias integradas permite uma melhor compreensão da multiplicidade de fenómenos que influenciam os sistemas naturais. (FRANCÈS e PARALTA, 2001)

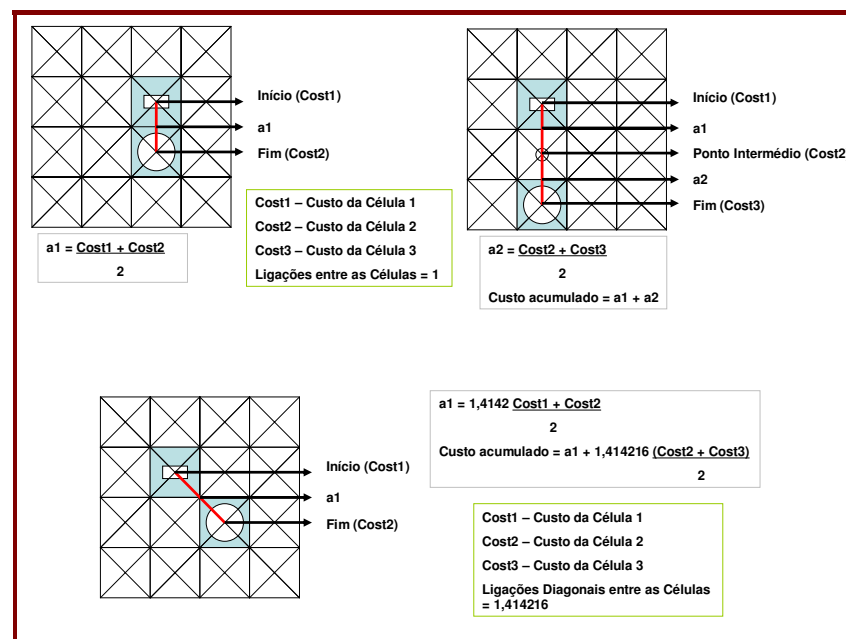


Figura 57 – Fórmulas de cálculo do custo das ligações verticais, horizontais e diagonais pela extensão *Cost distance* (adaptado de DEMERS, 2002)

No processo de modelação da propagação de contaminantes é fundamental ter em consideração a origem da contaminação, a direcção da propagação e a resistência ambiental à progressão dos contaminantes.

Para a modelação da propagação do poluente utiliza-se como base a extensão *Cost Distance Grid Tools* para ArcView Spatial Analyst® 1.0, que determina a distância de custo mais curta sobre uma superfície, apresentando o resultado em unidades de custo em vez de unidades de distância. Para tal são necessários dois temas, ambos em formato *raster*, um deles indica o custo de passagem de cada célula e o outro os locais de origem.

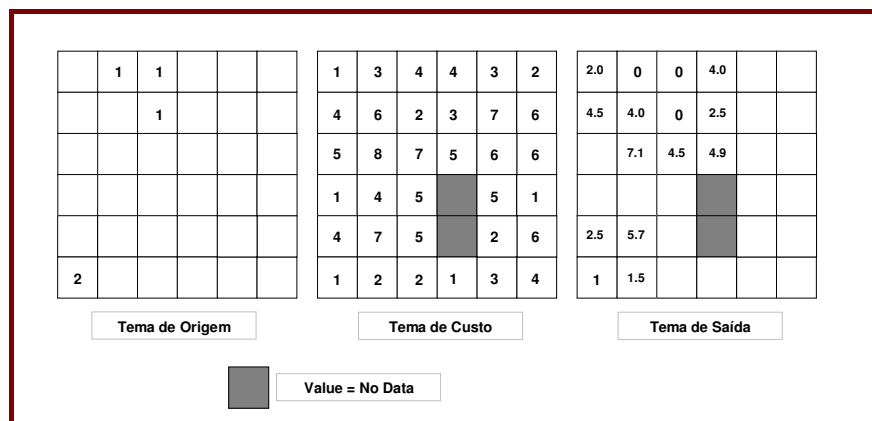


Figura 58 – Início do Processo de Cálculo do Custo de Atravessamento pela Extensão *Cost distance* (adaptado de DEMERS, 2002)

A impedância do substrato, ou seja a o tema de custo de passagem, traduz a sua capacidade para resistir à propagação de um determinado poluente. Quanto menor for a vulnerabilidade, maior será a impedância do substrato à poluição. O tema impedância foi gerado a partir da inversão do tema vulnerabilidade.

5.2.4.1 INFLUÊNCIA DA MORFOLOGIA DO TERRENO NO FENÓMENO DE PROPAGAÇÃO – O CONCEITO DE “DECLIVE FUNCIONAL”

Considerando que a acção da gravidade (directamente associável valor do declive) pode funcionar diversamente conforme o sentido da propagação, foi necessário estabelecer uma superfície de custo que reflectisse essa relação diferenciada e fosse passível de geração analítica. (NEVES *et al.*, 2001)

Foi assim estabelecido o conceito de “declive funcional” como uma superfície de custo traduzindo uma avaliação da relação entre a direcção de propagação, a orientação do terreno e o valor do declive. (NEVES, 2001, NEVES *et al.*, 2002)

De salientar que todo o cálculo exige a conversão dos dados de graus para radianos. O declive funcional está representado pela Figura 61.



Figura 61 – Declive Funcional (Carta 23 dos ANEXOS CARTOGRÁFICOS)

Pode-se observar nitidamente através da Figura 61 que o fenómeno de propagação é facilitado na direcção da Ribeira do Roxo, a Norte do Concelho de Aljustrel.

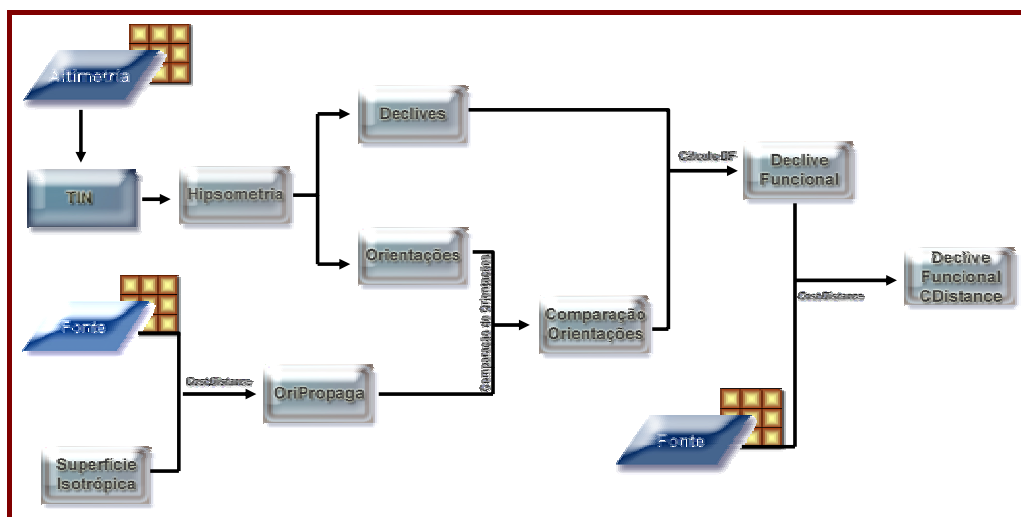


Figura 62 – Fluxograma de Análise Espacial para obtenção da Superfície de Propagação

Estes valores foram então reclassificados tendo sido atribuído o valor 1 aos valores negativos (onde o fenómeno de propagação é facilitado pelas características territoriais) e valor -1 aos restantes valores do Declive Funcional (onde existe maiores resistências territoriais à propagação). Todo o processo de modelação da propagação está sistematizado na Figura 62.



Figura 63 – Fontes de Poluição

A Figura 63 ilustra os pontos a partir dos quais foram realizadas as simulações de propagação, assim como toda a Rede Hidrográfica do Concelho de Aljustrel.

5.2.5 OBSERVAÇÕES FINAIS SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS

As relações métricas envolvem o conceito de distância e representam a proximidade espacial, incluem também o conceito de área ou de ângulo, este último representando a orientação espacial. Existem ainda, problemas em que não é possível utilizar uma métrica, sendo frequentemente necessário recorrer a uma matriz de distâncias, por exemplo em termos de tempo de percurso ou custo, para se obterem resultados realísticos. (ABRANTES, 1998)

O modelo apresentado permite prever as zonas para onde o fenómeno de contaminação se propaga potencialmente, a partir de uma determinada origem, como também determinar potenciais barreiras à sua propagação.

O modelo descrito poderá ser utilizado no sentido de minimizar a poluição nos aquíferos através da instalação de barreiras de protecção; de prever a deterioração das massas de água subterrâneas; de inverter qualquer tendência significativa persistente de aumento da concentração de poluentes resultantes das actividades humanas; de proteger e recuperar as massas de água de modo a garantir o equilíbrio entre a captação e a recarga das águas subterrâneas para alcançar o bom estado; entre outras situações.

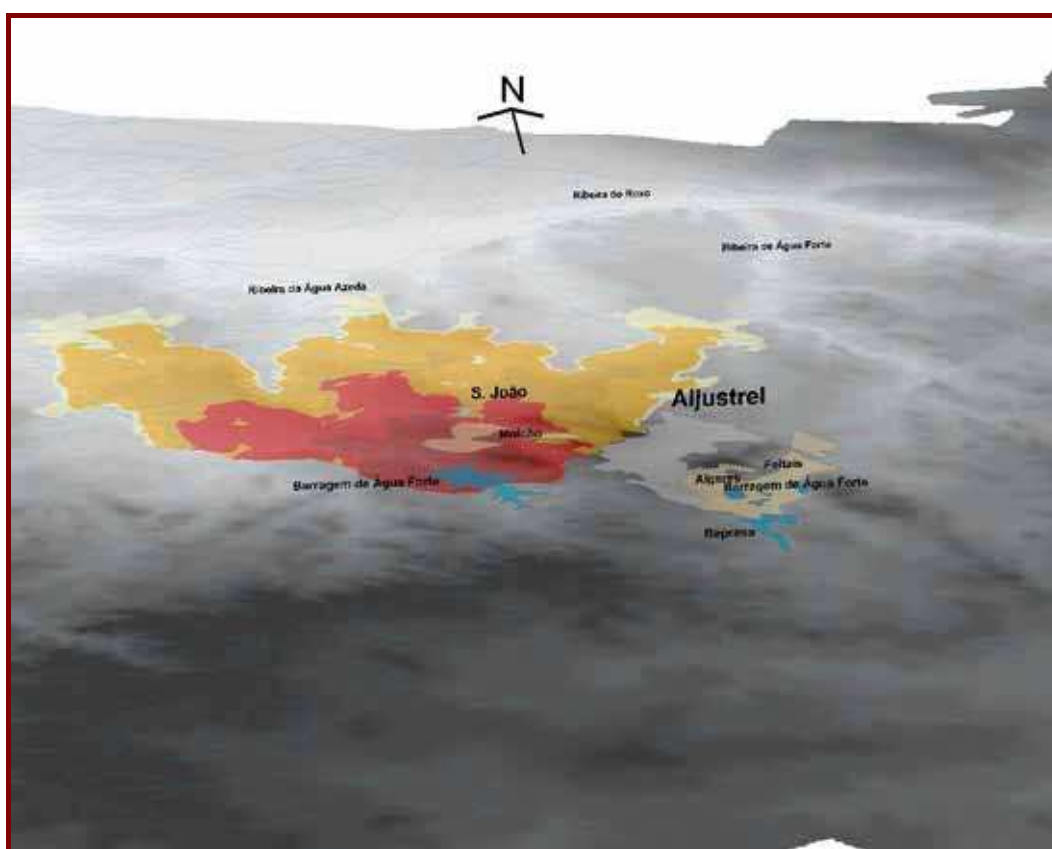


Figura 64 – Superfície de Propagação de Contaminantes a partir da Barragem de Água-forte a Oeste de Aljustrel

A primeira simulação (Figura 64), a partir da barragem contaminada com Água Forte, a Oeste de Aljustrel, permitiu obter uma superfície de contaminação mais ampla que a segunda simulação, uma vez que esta zona é bastante mais plana, e o topo do aquífero está mais à superfície.

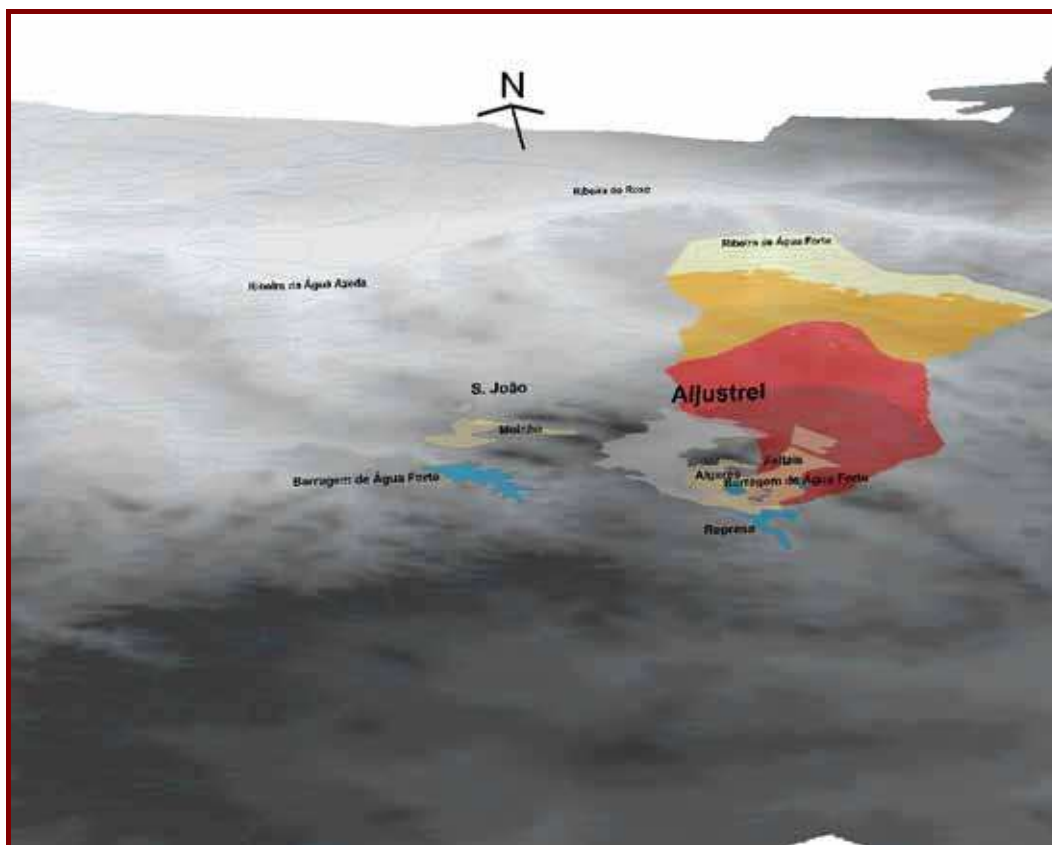


Figura 65 – Superfície de Propagação de Contaminantes a partir das Massas de Água Contaminadas de Algares e Feitais

A segunda simulação (Figura 65), a partir das massas de água contaminadas da Mina de Algares, resultou numa área de contaminação mais ou menos coincidente com a Bacia Hidrográfica da Ribeira de Água Forte.

5.3 DELIMITAÇÃO FINAL DA ÁREA A REQUALIFICAR

A aplicação destas duas metodologias permitiu definir com alguma precisão a área a requalificar. Essa área resume-se 5 microbacias na área adjacente ao perímetro urbano de Aljustrel e a parte da bacia hidrográfica da Ribeira de Água Forte, tomando estas áreas maior expressão na envolvente das Minas de Algares, Feitais e Moinho.

A área a requalificar está representada na Figura 66.

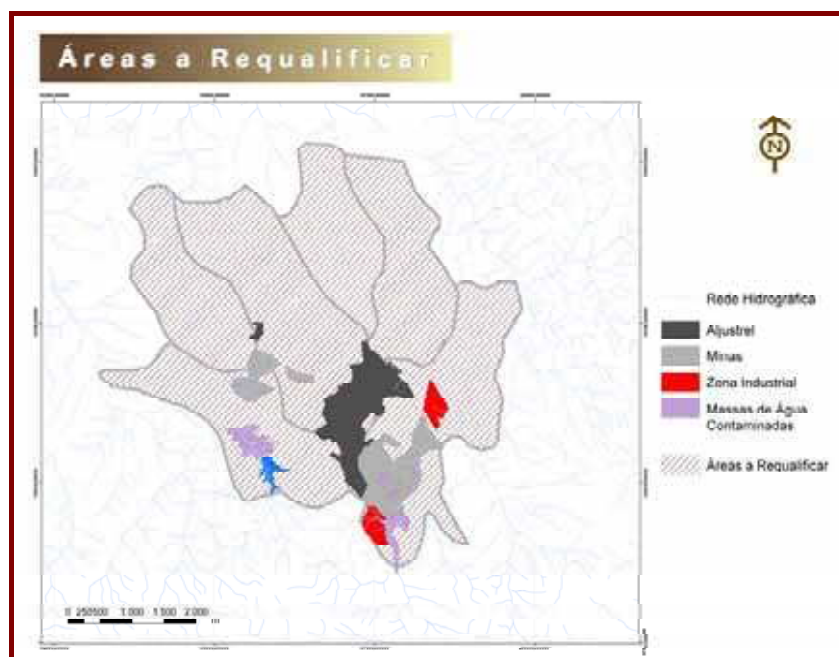


Figura 66 – Áreas a Requalificar (Carta 24 dos ANEXOS CARTOGRÁFICOS)

6. MODELO DE ANÁLISE ESPACIAL PARA OBTENÇÃO DAS POTENCIALIDADES TERRITORIAIS DAS EXPLORAÇÕES MINEIRAS EM ESTUDO

Para a concretização do modelo de análise espacial para obtenção das potencialidades territoriais das explorações mineiras abandonadas é fundamental definir os usos do solo mais adequados para a requalificação biofísica destas áreas, constituir classes de uso e estabelecer relações entre estas e os usos potenciais, e por fim determinar a compatibilidade entre os diferentes usos através de uma matriz.

6.1 DEFINIÇÃO DOS USOS DO SOLO POTENCIAIS

As operações de extracção de minério constituem um uso temporário dos terrenos, com períodos de ocupação que geralmente não superam os vinte ou trinta anos. O abandono de tais áreas deve-se fazer de uma forma responsável, pois a qualidade de vida das populações passa por um aproveitamento racional de todos os recursos da Terra.

Os usos possíveis são muito amplos, se bem que, em cada zona afectada, são as características das alterações, e os condicionantes sociais, económicos, técnicos, ecológicos e paisagísticos que vão determinar a eleição dos usos concretos.

Uma vez seleccionado um determinado uso, ou conjunto de usos de solo para uma dada área, será necessário proceder-se ao acondicionamento dos terrenos para que se possam instaurar esses mesmos usos. Para tal terão que se fazer estudos de modelação de terreno, facilitar ou melhorar a rede de drenagem, controlo da erosão, tratamento de águas residuais, reconstituição do solo, e revegetação (a selecção de espécies far-se-á através de um estudo da vegetação nas áreas envolventes à área de exploração).

Os usos possíveis a que podem destinar-se os terrenos afectados pelas explorações mineiras podem dividir-se em (ITGE, 1989):

- Urbanístico e industrial;
- Recreativo intensivo e desportivo;
- Agrícola;
- Florestal;
- Recreativo não intensivo e educacional;
- Integração biofísica;
- Depósitos de água para abastecimento das populações;

- Depósitos de estéréis.

Na Figura 67 está sintetizado todo o processo de requalificação de áreas afectadas pelas explorações mineiras.

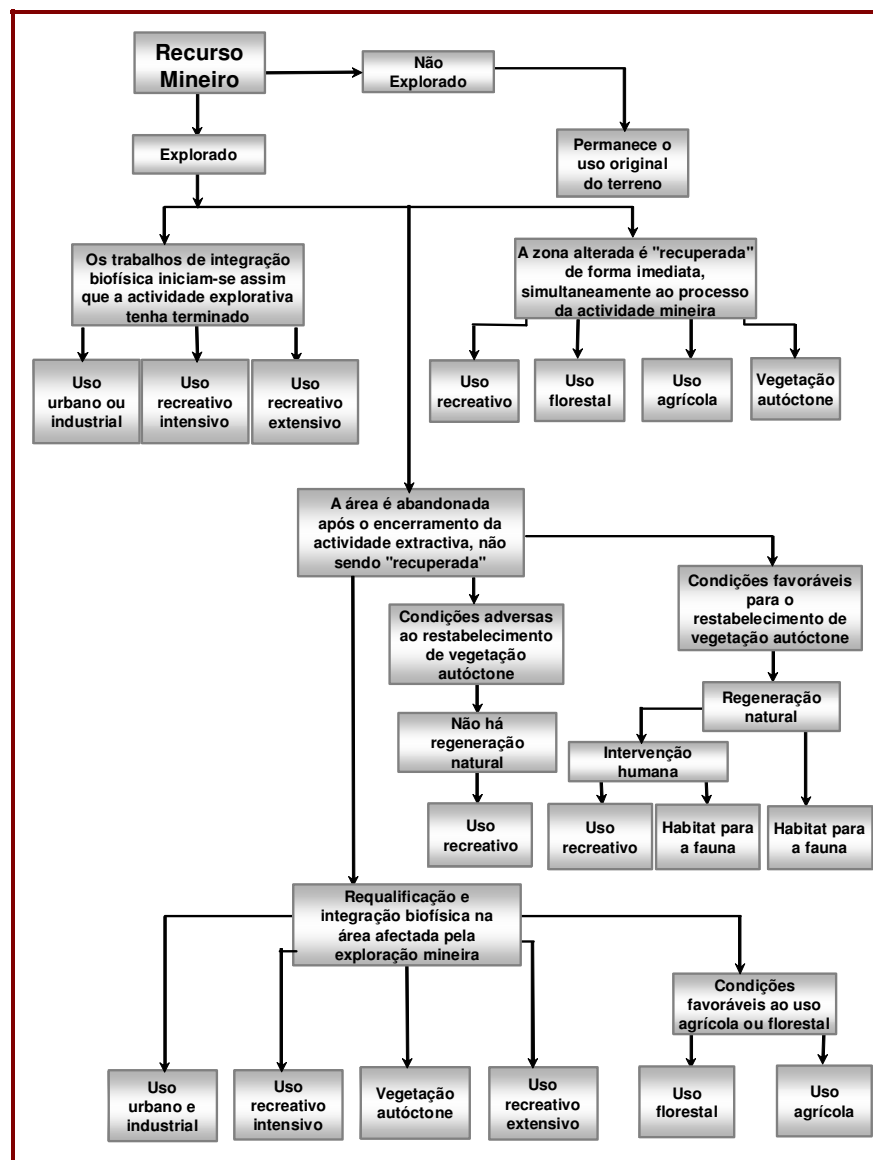


Figura 67 – Esquema da estratégia a seguir na requalificação de áreas afectadas por explorações mineiras (adaptado de ITGE, 1989)

A Tabela 8 aponta a importância relativa dos factores geoambientais e culturais na determinação do uso adequado do solo para a requalificação biofísica de áreas degradadas pela exploração mineira.

Factores	Uso do Solo				
	Florestal	Recreativo	Agrícola	Residencial	Industrial
Declives	1	3	1	2	1
Hipsometria	2	3	2	3	3
Exposições	2	3	2	3	3
Drenagem	1	2	1	1	1
Temperatura	1	2	1	3	3
Precipitação	1	2	1	3	3
Propriedades físicas dos solos	2	2	1	3	3
Localização	3	1	2	1	1
Acessibilidade	3	2	3	1	1
Dimensões da área	3	3	1	2	1

Tabela 8 – Importância relativa dos factores geoambientais e culturais na determinação do uso adequado do solo (modificado de ITGE, 1989)

6.1.1 USO URBANÍSTICO E/OU INDUSTRIAL

As escavações realizadas em áreas urbanas ou próximas destas, quando a extensão de tais núcleos as tenham englobado, podem aproveitar-se para a construção de zonas residenciais ou industriais

As formas de terreno são, em muitos casos, ideais, já que na maioria das explorações se procedeu ao nivelamento dos terrenos, o que facilita a construção de edificações e a integração no meio urbano.

Os factores condicionantes que se podem apontar prendem-se com a estabilidade dos taludes, da drenagem e das propriedades geotécnicas dos terrenos. Nas áreas muito húmidas estes factores acentuam-se, podendo inclusivamente, impossibilitar o recurso a este uso, o mesmo sucedendo nos terrenos instáveis ao nível geotécnico ou mal drenados. Estas situações requerem um tratamento adequado dos terrenos para se efectuar o uso previsto.

6.1.2 USO RECREATIVO, DESPORTIVO E EDUCACIONAL

Os terrenos abandonados próximos de áreas residenciais e/ou industriais podem ser adequados para o desenvolvimento de diferentes actividades recreativas ou de índole desportiva.

Sempre que se tratem de terrenos secos, é possível usá-los como circuitos de manutenção, instalações de tiro, campos de futebol, etc. Se, por outro lado, se dispõe de água, poderão construir-se albufeiras ou pequenos lagos para a prática de desportos como a canoagem.

Em todos estes aproveitamentos deve ter-se em conta a modelação do terreno, a estabilização dos taludes e remoção de todos os resíduos mineiros susceptíveis de provocar acidentes.

Muitas destas actividades requerem o desenvolvimento de estruturas especiais para o seu funcionamento, e uma cuidada selecção de espécies, que deverão ser pioneiras, resistentes ao pisoteio e de baixa profundidade.

Zonas amplas com grande variedade de habitats, normalmente com extensões superiores a 10 ha, podem aproveitar-se como parques, áreas para merendas, pistas de equitação, etc.

Alguns locais podem ser dotados de características geológicas e litológicas especiais, valores arqueológicos e ecológicos que possam ser utilizados com fins educativos e científicos. Se a extensão dos terrenos afectados é pequena, mas está na contiguidade de um parque natural, poderão adequar-se os terrenos, por exemplo, à instalação de parques de campismo.

A construção de parques aquáticos requer a preparação das cavidades, tanto na forma como nos taludes das margens e na profundidade, com o objectivo de criar um habitat ideal para o estabelecimento da vegetação, da fauna piscícola e das aves aquáticas. Para preservar a conservação destes lugares, dever-se-á limitar o acesso aos mesmos, e criar zonas para a observação de fauna ornitológica e pontos de pesca.

6.1.3 DEPÓSITOS DE ESTÉREIS E RESÍDUOS

Em muitas ocasiões, as minas e pedreiras encontram-se próximas de áreas urbanas e/ou industriais. Como tal, é muito frequente utilizar-se as áreas de escavação como depósitos de estéreis e resíduos sólidos industriais.

A deposição de tais resíduos deve ser feita de forma controlada, sendo necessário a realização de um estudo sobre as propriedades das formações hidrogeológicas das formações rochosas, as condições climatológicas, as limitações sócio-económicas, etc.

Se a situação assim requerer dever-se-á revestir os taludes e a base da zona de recepção dos resíduos, por exemplo com argilas ou tela impermeável. Por sua vez, os resíduos deverão ser colocados em camadas de 2 m cada (no caso de resíduos urbanos) e separadas por material inerte ou terra com 20 cm, até que se atinja a cota prevista. A cobrir deverá estar uma capa, com cerca de 30 cm, de terra vegetal, que permitirá a posterior revegetação. Deverão dispor-se elementos de drenagem interna e superficial. (ITGE, 1989)

Deve ter-se especial cuidado nas situações que requerem a drenagem das águas da chuva, assim como a colocação de dispositivos para a evacuação dos gases produzidos durante os processos de fermentação anaeróbia.

6.1.4 USO AGRÍCOLA

O uso agrícola é um dos usos mais utilizados na requalificação de áreas afectadas por explorações mineiras. Tal poderá dever-se essencialmente a factores de natureza económica. Se por um lado o estabelecimento de vegetação é mais barato que em outro tipo de usos, como o florestal e o de refúgio e habitat para a fauna (que resulta de um processo de integração biofísica), por outro a rentabilidade económica é maior e mais imediata, de forma a compensar os custos da requalificação.

As áreas de declive suave, grande extensão e adjacentes a áreas cultivadas podem destinar-se, de uma maneira proveitosa, a usos agrícolas, especialmente quando as operações de extracção de minério têm duração limitada e se tenha tomado a precaução de guardar a terra vegetal e de cobertura resultantes das decapagens. Essas terras armazenadas são ricas em argilas e em matéria orgânica, como tal aptas à constituição de um aproveitamento agrícola. A espessura mínima recomendada é 50 cm, para que as máquinas agrícolas trabalhem adequadamente. (ITGE, 1989)

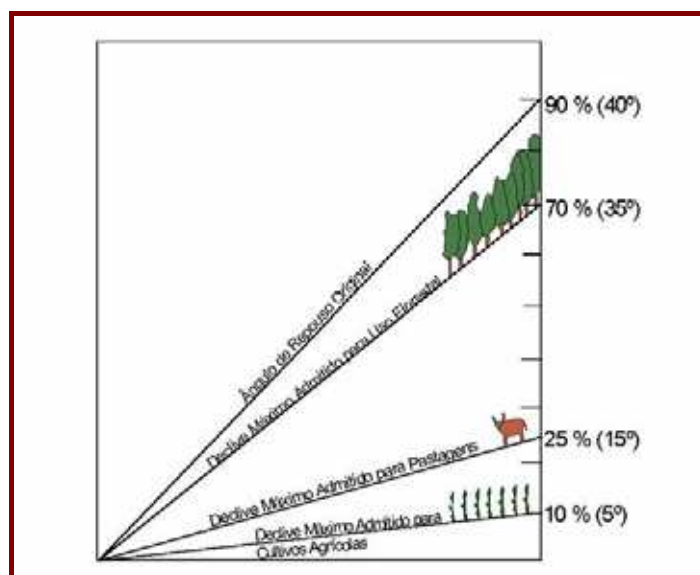


Figura 68 – Declives máximos para diferentes usos dos terrenos (adaptado de COPPIN e BRADSHAW, 1982)

O condicionante principal que afecta a restauração do uso agrícola é o declive, como se pode observar na Figura 68.

Os principais condicionantes ao uso agrícola são (ITGE, 1989):

- Físicos:
 - o Declives – áreas com declives superiores a 25% não constituem qualquer alternativa para uso agrícola, e com declives superiores a 10% são inapropriadas a cultivos aráveis;
 - o Permeabilidade e disponibilidade de água – O estabelecimento, crescimento e sobrevivência das espécies depende, directamente da disponibilidade hídrica e da capacidade de retenção de água no solo;
 - o Pedregosidade – As rochas na superfície do terreno a requalificar interferem na gestão agrícola. Geralmente, terrenos com 0,01 % de rochas com dimensões até 0,2 cm na superfície total, podem cultivar-se, de 0,01 a 15 % dificultam o cultivo, e mais de 15 % impossibilitam o uso.
- Químicos:
 - o Acidez/Alcalinidade – É impraticável qualquer tipo de uso agrícola, pastagem, forragem ou cultivo em solos com $\text{pH} < 4,5$;
 - o Concentração de Nutrientes – A falta de nutrientes nos terrenos submetidos às actividades mineiras podem constituir um sério condicionante na restauração de tais terrenos para actividades agrícolas. Contudo, sempre se poderá recorrer à utilização de grande quantidade de fertilizantes em repetidas aplicações, o que muitas vezes não é economicamente viável.
 - o Existência de Metais Tóxicos – Algumas minas antigas contém elevados níveis residuais de metais tóxicos que não permitem manter um nível de produtividade agrícola, mesmo recorrendo aos fertilizantes e correctivos agrícolas. Outro problema é o facto da contaminação dos cultivos por toxicidade, poder causar enfermidades nas pessoas e animais.

A erosão do solo constitui um problema nos terrenos agrícolas. O emprego de uma cobertura de espécies anuais ou de espécies forrageiras, ajudam a estabilizar o solo e a reduzir a erosão. Por outro lado, deve garantir-se a drenagem da zona recuperada, averiguando que o nível freático se encontre sempre a mais de 50 cm abaixo da superfície.

Quando não se disponha de suficiente quantidade de solo agrícola útil, será necessário agregar outros materiais finos (analisando previamente as propriedades edáficas destas), fertilizantes, etc.

6.1.5 Uso FLORESTAL

Este tipo de uso está menos expandido que o uso agrícola, podendo ser uma boa alternativa nos terrenos de pior qualidade. Contudo a sua rentabilidade é mais baixa e os resultados positivos surgem a longo prazo.

A reflorestação efectua-se em superfícies com uma certa extensão (> 0,25 ha), e pode levar-se a cabo em solos de baixa fertilidade, em taludes declivosos (até 70°), e em locais pedregosos. O baixo pH, a escassez de nutrientes, o excesso de metais tóxicos e a elevada compactação do substrato podem limitar o seu crescimento. (ITGE, 1989)

Os locais com toxicidade elevada não poderão destinar-se à produção de madeira. Como tal, a reflorestação terá que ter uma outra finalidade, de índole recreativa, de habitat para a fauna ornitológica, etc.

Para repovoar um terreno, os solos têm que dispor de características adequadas, físicas para reterem a água necessária para as espécies arbóreas e desenvolvimento das suas raízes, e químicas e biológicas, no sentido de disporem de elementos nutricionais e condições óptimas.

Quando não se disponha de material suficiente para a reconstrução do solo e subsolo, deverão ser aproveitados os lodos e lamas que não estejam contaminados, pois garantem uma boa capacidade de retenção da água devido à elevada quantidade de elementos finos que os constituem, e também alguns estéreis e inertes. Para criar o horizonte húmico, que em determinadas ocasiões é indispensável, deverá fazer-se uma sementeira com gramíneas e leguminosas. Estas últimas têm a capacidade de fixar o Azoto.

6.1.6 INTEGRAÇÃO BIOFÍSICA

A Integração Biofísica permite conseguir uma harmonização das áreas afectadas pelas explorações mineiras com as áreas que as envolvem. Dever-se-á ter em consideração não só o aspecto estético, mas também a regeneração e activação biológicas, de forma a imprimir à paisagem uma estrutura e funcionalidade que lhe são próprias. O que está em causa é criar estruturas que suportem um conjunto de habitats correspondentes às espécies nativas, aumentando ou mantendo a diversidade específica, e garantindo também a conservação do número de indivíduos constituintes de uma comunidade.

A revegetação do terreno deve ser feita com espécies autóctones e pioneiras que proporcionem alimento, refúgio e capacidade de regeneração.

6.1.7 DEPÓSITOS DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO OU AFINS

As zonas de escavação profundas de minas e pedreiras podem ser utilizadas como depósitos de armazenamento de água com diversos fins; regulação hidráulica, rega, abastecimento de água a núcleos urbanos, armazenamento de energia, produção de biomassa ou simplesmente para consumo em indústrias que se encontrem na proximidade.

6.2 CRITÉRIOS QUE DEFINEM AS CLASSES DE CAPACIDADE DE USO DO SOLO

Pretende-se com esta análise projectar cenários para uma possível requalificação do espaço, que procure minimizar os impactes negativos, procurando a integração de um espaço degradado na paisagem existente. O enquadramento de explorações mineiras como estas na paisagem envolvente é de extrema importância para a conservação e valorização do equilíbrio biofísico e paisagístico do território.

Dadas as características das explorações, geralmente em solos pouco férteis, o regime florestal é sem dúvida a base dominante para uma boa solução. Para além disso, geralmente o fim em vista quando se pretende recuperar um determinado espaço degradado, é o recreativo. Na verdade, a utilização da natureza é cada vez mais uma exigência do mundo actual, sobretudo pelas populações urbanas que buscam, no contacto com a natureza, o equilíbrio físico e psicológico, debilitado pelo stress que o ritmo de vida moderno cada vez mais impõe. Possibilitar variados tipos de recreio e actividades ao ar livre, nomeadamente: observação de fauna e flora, criação de percursos de passeio, visualização de panorâmicas e vistas com interesse, entre outras modalidades e actividades recreativas, desportivas e didácticas, que habitualmente têm como “pano de fundo” a paisagem rural, são objectivos da requalificação destas áreas, e consequentemente fomentar o turismo científico mais relacionados com a indústria mineira e o ambiente.

Para tal é fundamental analisar as potencialidades do território para um conjunto de usos possíveis. COPPIN e BRADSHAW (1982) propôs as Classes de Capacidade de Uso sintetizadas na Tabela 9.

Factores	Classes de Capacidade de Uso (Capacidade decrescente)						
	1	2	3	4	5	6	7
1. Factores do lugar							
Declive máximo (°)	6	7	10	25	25	25	25
Grupo climático a)	I	I	I, II	I, II, III	I, II, III	I, II, III	I, II, III
Hipsometria	150	230	300	380	550	600	600
Risco de Erosão	Muito baixo	Baixo	Baixo	Moderado	Elevado	Elevado	Muito elevado
2. Factores do Solo							
Drenagem	Boa	Moderada	Deficiente	Inundações de 1-5 anos	Inundações de 1-3 anos	Inundações frequentes	-
Capacidade de água disponível	Solos com disponibilidade de água de rega	Elevada	Mediana	Baixa	Baixa	Muito Baixa	Muito Baixa
Enraizamento Profundo (cm)	200	150	75	50	30	-	-
Textura do Solo b)	Argilosa	Argilo-limosa	Franco-limosa	Franco-arenosa	Esquelético	Esquelético	Esquelético
Pedregosidade c)	P1	P1	P2	P2	P3	P4	P5
Reacção do Solo (pH)	5,5-7,5	5,5-7,5	5-8	4,5-9	4,5-9	4,5-9	-

- (a) Grupos climáticos: I. Precipitação < 100 mm e média da temperatura máxima diária > 15° C; II. Precipitação < 300 mm, temperatura > 14° C; III. Precipitação > 300 mm, temperatura < 14° C
- (b) Textura do solo: Esquelético - > 35 % de fragmentos grosseiros e < 18 % de argila
- (c) Pedregosidade (Ministério da Economia, 1972): P1 – Solos sem elementos grosseiros ou com quantidade reduzida que não afecta o uso de maquinaria de qualquer tipo; P2 – Solos com alguns elementos grosseiros que não impedem, mas afectam o uso de maquinaria sensível; P3 – Solos com bastantes elementos grosseiros que impedem o uso de maquinaria mais sensível; P4 – Solos com muitos elementos grosseiros que impedem o uso de maquinaria mais sensível e dificultam muito o uso restante, mesmo de tracção animal; P5 – Solos com excessiva quantidade de elementos grosseiros que impedem totalmente o uso de qualquer tipo de maquinaria

Tabela 9 – Factores que influenciam as Classes de Capacidade de Uso (modificado de COPPIN e BRADSHAW, 1982)

Segundo COPPIN e BRADSHAW, 1982, às Classes de Capacidade de Uso obtidas, correspondem diversos Usos do Solo Potenciais (Tabela 10).

Usos	Classes de capacidade de uso do solo						
	1	2	3	4	5	6	7
Cultivos: intensivo	X	X	-	-	-	-	-
moderado	X	X	X	-	-	-	-
limitado	-	-	X	X	-	-	-
Pastagem: intensivo	-	X	X	X	-	-	-
moderado	-	-	X	X	X	-	-
limitado	-	-	X	X	X	X	-
Florestal	-	-	-	X	X	X	-
Recreativo	-	-	-	X	X	X	X
Integração Biofísica	-	-	-	-	X	X	X

Tabela 10 – Classes de capacidade de uso associadas aos usos do solo (adaptado de COPPIN e BRADSHAW, 1982)

6.3 PROCESSOS DE ANÁLISE ESPACIAL

A metodologia para a Avaliação Biofísica para suporte a processos de Requalificação de Explorações Mineiras apresentada, baseia-se em processos de análise espacial. A explicitação dos processos utilizados corresponde somente aos aspectos da modelação em SIG.

Para a análise espacial efectuada em ambiente SIG, é primordial a disponibilização de cartografia sob o formato digital. Este facto obrigou à construção de base de algumas cartas referentes a informação não disponível sob este formato, quer através de processos de rasterização, georreferenciação e vectorização da informação das Cartas Militares (altimetria, rede viária, hidrografia) e das Cartas de Solos. A cartografia referente à Ocupação do Solo, corresponde a registos já existentes em formato digital, sendo submetida somente a processos de geoprocessamento de normalização de formatos. Através de processos de análise espacial sobre a informação criada, foi obtida informação derivada como a Hipsometria, os Declives e a Carta de Risco de Erosão.

Uma vez elaborada e conjugada toda a informação de base, a mesma é sujeita a operações de geoprocessamento e análise espacial.

A informação base para o desenvolvimento deste estudo encontra-se sob dois formatos, raster (*grid*) e vectorial. A cartografia referente ao tipo de solo e ocupação do solo, é representada sob o formato vectorial, pois remete-se somente a um processo de estruturação digital da informação existente. A vantagem deste formato reside no modo como facilmente se podem acrescentar modelos adicionais de informação, tais como

tabelas de avaliação cognitiva²³, às tabelas já existentes, aumentando-se assim o leque de opções de análise da mesma cartografia.

O formato *grid* permite a realização de operações de análise espacial sob a cartografia, sendo deste modo que se elaborou a hipsometria e se processou o cálculo de declives, da carta de orientações de encosta, e posteriormente da carta de risco de erosão. Uma vez efectuado, o resultado pode ser convertido para informação vectorial, o que permite conjugar de modo directo esta informação com a restante já existente sob formato vectorial.

Tanto a informação respeitante à hipsometria como aos declives, deriva directamente de análises efectuadas sobre o modelo digital de terreno, pelo que o seu formato original corresponde a uma *grid*, sendo posteriormente convertidas para vectorial. Encontrando-se toda a informação sob este formato, a mesma é geoprocessada, através da união das tabelas referentes a cada tema vectorial.

A informação estruturante corresponde à hipsometria, declives, risco de erosão, solos (pH, drenagem, capacidade de água disponível, enraizamento profundo e pedregosidade) e ocupação do solo.

A tabela final é sujeita a um processo de concatenação²⁴, através do qual se vai constituir apenas um campo com a identificação dos polígonos finais. A criação destes baseou-se em operações de geoprocessamento, especialmente *overlay*, e na modelação em formato *grid*. O elemento resultante integrou-se num único conjunto de informação ou tema, mantendo completamente intactas as suas potencialidades em termos de análise espacial.

São agora descritos os processos efectuados neste estudo, respeitantes à anteriormente descrita análise espacial.

6.3.1 MODELAÇÃO TRIDIMENSIONAL

Para a análise fisiográfica realizaram-se as seguintes análises:

- Construção do MDT (TIN);
- Cálculo da hipsometria e declives recorrendo a funções de interpolação e de declives;

²³ As tabelas de avaliação cognitiva são constituídas por campos de avaliação pericial dos diferentes critérios de avaliação considerados segundo um padrão normalizado de atribuição de “pesos”.

²⁴ A concatenação representa, neste contexto, o processo através do qual se gera uma coluna na tabela de atributos, do tema em análise, contendo uma designação comum a toda a informação respeitante às variáveis – atributos – analisadas. Neste estudo a codificação/concatenação utilizada reúne as iniciais de cada variável analisada, sendo determinante para a prossecução da posterior análise estatística.

- Reclassificação, que consiste na modificação de valores referentes a declives e hipsometria, reclassificando-os em novas categorias do mesmo tipo ou de tipo numérico expressando pesos.

Para a hipsometria os valores agora considerados compreendem três classes: 60 – 150, 150 – 230, 230 – 250 m.

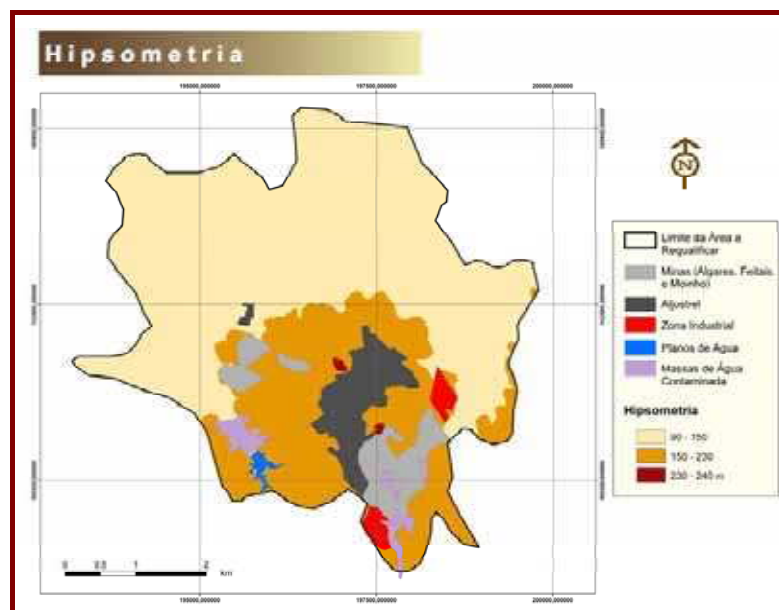


Figura 69 – Hipsometria (Carta 25 dos ANEXOS CARTOGRÁFICOS)

No caso dos declives, o novo intervalo compreende cinco classes: 0 – 6, 6 – 7, 7 – 10, 10 – 25, e >15°.

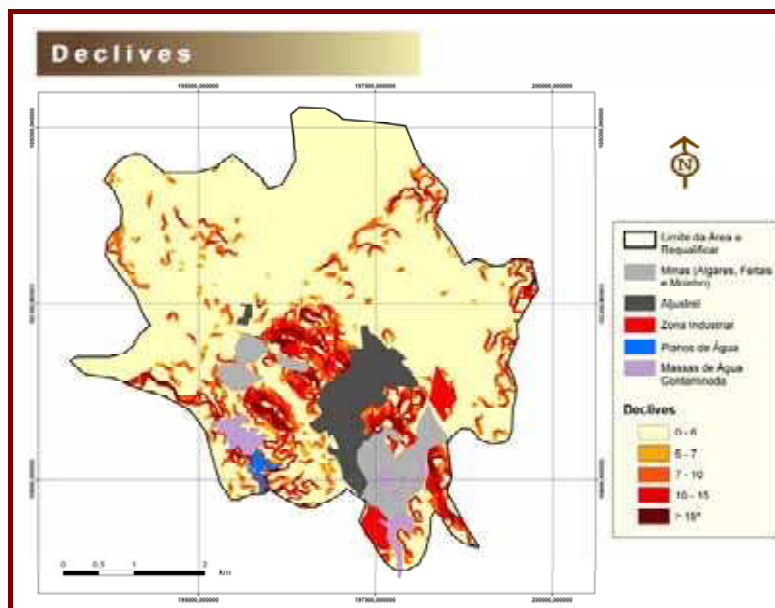


Figura 70 – Declives (Carta 26 dos ANEXOS CARTOGRÁFICOS)

6.3.2 CÁLCULO DO RISCO DE EROSÃO

A erosão é um processo que se traduz na desagregação, transporte e deposição do solo, sub-solo e rocha em decomposição, pelas águas, ventos, temperatura (GALETI, 1976), ou ainda por acção da gravidade (BENNET, 1951).

Segundo ÁLVARES e PIMENTA (1998) a erosão do solo caracteriza-se pela remoção de material superficial, conduzindo ao empobrecimento do solo, e em situações extremas à desertificação. O processo de erosão resulta de uma combinação de factores que são dependentes e estão interligados entre si, e apresentam grande variabilidade espacial e temporal, tornando este fenómeno difícil de equacionar e quantificar. Os factores que influenciam os processos erosivos são a erosividade da precipitação, medida pela sua intensidade e energia cinética, a erodibilidade dos solos, definida pelas suas características físicas e químicas, o coberto vegetal, pela sua maior ou menor protecção do solo, os declives e comprimentos de encostas e as práticas de conservação existentes.

A modelação da erosão tem sido habitualmente avaliada a partir de modelos empíricos, nomeadamente a Equação Universal da Perda de Solo (EUPS) de Wischmeier. A EUPS agrupa as variáveis que influenciam a erosão em seis factores genéricos, que se relacionam da seguinte forma (ÁLVARES e PIMENTA, 1998):

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

em que A traduz a perda de solo média ou erosão específica [$\text{t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$], R o factor de erosividade da precipitação [$\text{MJ} \cdot \text{mm} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$], K o factor de erodibilidade do solo [$\text{t} \cdot \text{ha} \cdot \text{h} \cdot \text{ano} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{MJ}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$], LS o factor fisiográfico, que compreende o comprimento de encosta (L) e o declive (S), C o factor relativo ao coberto vegetal e P o factor de práticas agrícolas ou de medidas de controlo da erosão. (TOMÁS, 1992, TOMÁS, 1997)

A EUPS está vocacionada para o cálculo da perda de solo media de unidades de paisagem específicas associadas a um determinado tipo de cultura e de gestão territorial. (ROSEWELL e EDWARDS, 1998)

a) Factor de Erosividade da Precipitação

A desagregação de partículas de um solo pelas gotas de chuva é um dos processos fundamentais para o fenómeno da erosão hídrica dos solos, pelo que se torna necessário quantificar de modo correcto a energia cinética da precipitação. (TOMÁS, 1992)

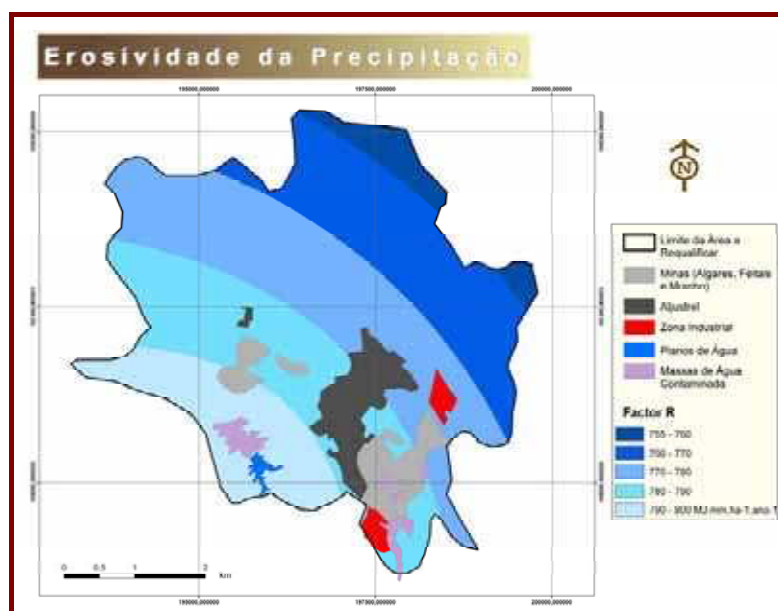


Figura 71 – Isoerodentes

O Factor de Erosividade da Precipitação pode ser calculado a partir do Índice de Fournier (CONSEJERÍA DE MÉDIO AMBIENTE DE JUNTA DE ANDALUCIA, s/d):

$$F_{mod} = \frac{\sum_{i=1}^{12} (p_i^3)}{P}$$

através da fórmula (SEIXAS, 2004):

$$R = 15.718 \times F_{mod} - 289.8$$

Em que:

P_m – Precipitação média para o mês m (mm) (Anexo VIII)

P – Precipitação média anual (mm)

b) Factor de Erodibilidade do Solo

Segundo PIMENTA (1998b) “a determinação da erodibilidade do solo pressupõe o conhecimento dos seus constituintes no que se refere ao conteúdo em areia, limo, argila e matéria orgânica, bem como à informação sobre a permeabilidade e a estrutura. As características do físico-químicas do solo e as suas interações têm um efeito variado nos valores de erodibilidade. Além disso, muitos mecanismos de erosão actuam ao mesmo tempo, relacionados com cada propriedade específica do solo.

Ainda segundo a mesma autora “o factor erodibilidade K da EUPS foi desenvolvido para talhões experimentais, nos quais, as características físicas e químicas dos solos são facilmente analisadas, bem como as suas alterações ao longo do tempo. Quando se pretende avaliar a erodibilidade do solo em áreas mais vastas do território e para um determinado intervalo de tempo, é necessário utilizar informação mais generalizada, recorrendo à cartografia de solos com as unidades pedológicas devidamente caracterizadas”.

O cálculo da erodibilidade (ANEXO IX) é função de cinco parâmetros (PIMENTA, 1998a): argila, areia grossa, areia fina, limo, matéria orgânica (OM), estrutura (s) e a permeabilidade (p). A erodibilidade pode ser calculada pela seguinte expressão.

$$K = \frac{[2.1 \times 10 (12 - OM)M + 3.25 (s - 2) + 2.5 (p - 3)]}{100 \times 7.59}$$

Segundo PIMENTA (1998a) o parâmetro M define o tamanho das partículas, e corresponde ao produto:

$$(\% \text{ limo} + \text{areia fina}) \times (100 - \% \text{ argila})$$

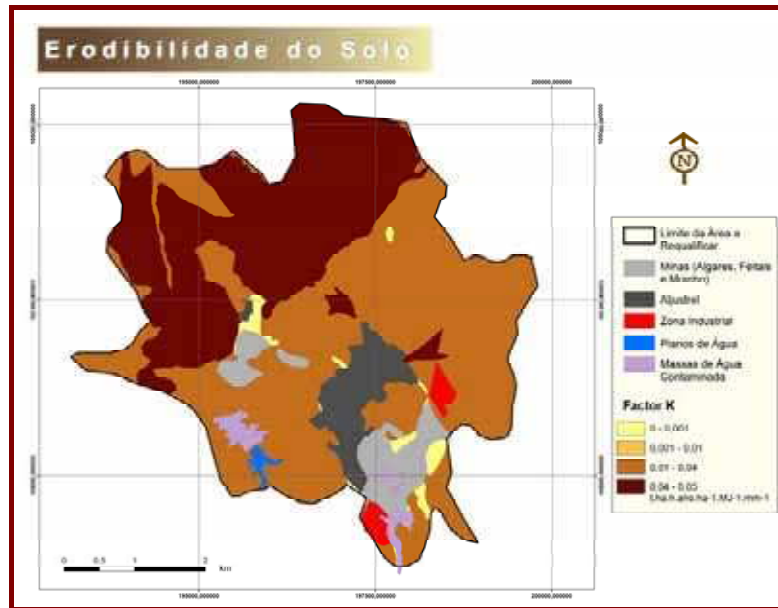


Figura 72 – Erodibilidade do Solo

c) Factor Fisiográfico

Segundo RIBEIRO *et al.* (2004) o factor LS pode ser calculado a partir do MDT de acordo com a seguinte equação:

$$LS = \left(\frac{\text{flowaccGrid}}{22.13} \right) \cdot 1.4 \cdot \left(\frac{\text{slopeGrid} \cdot \sin}{0.0896} \right)$$

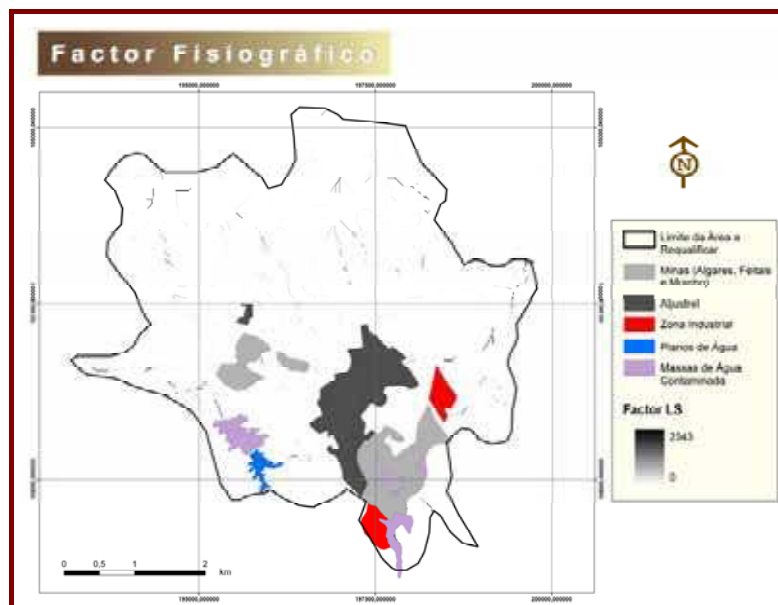


Figura 73 – Factor Fisiográfico

d) Factor relativo ao Coberto Vegetal

O factor de cultura foi derivado em talhões experimentais, baseado em determinadas condições iniciais. No entanto, quando nos referimos a grandes áreas do território é necessário fazer algumas simplificações para a definição do factor de cultura a atribuir a cada tipo de ocupação do solo. (PIMENTA, 1998b)

Os valores relativos ao factor de cultura estão descritos no ANEXO XI.

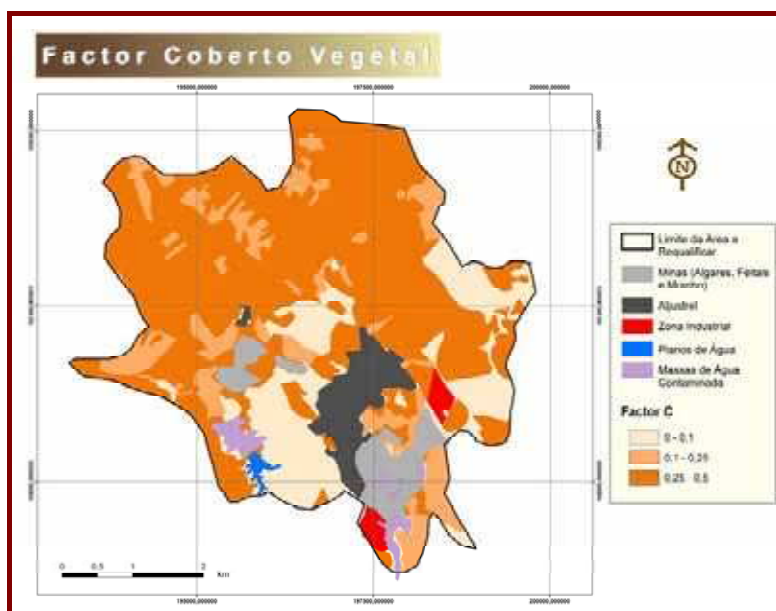


Figura 74 – Erodibilidade associada ao Coberto Vegetal

e) Factor de Práticas Agrícolas

Uma vez que não existem dados que reflectam com alguma solidez o factor relativo às práticas agrícolas na região, optou-se por se considerar o valor 1 para toda a região.

f) Cálculo do Risco de Erosão

Por fim foi calculada a perda de solo para a zona de estudo. Os dados obtidos foram então reclassificados em Muito baixo, Baixo, Moderado, Elevado e Muito elevado, como ilustra a figura seguinte.

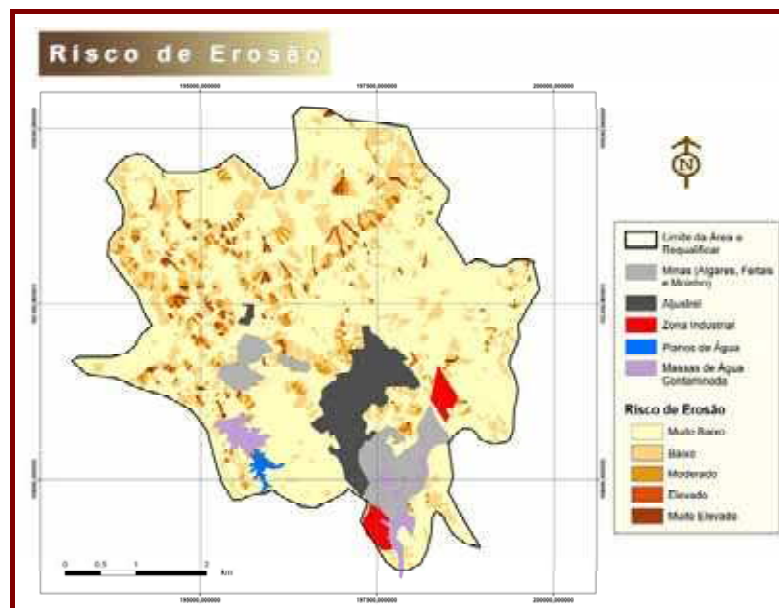


Figura 75 – Risco de Erosão (Carta 27 dos ANEXOS CARTOGRÁFICOS)

6.3.3 MANIPULAÇÃO DOS DADOS

Esta fase do trabalho envolveu os seguintes atributos das diferentes variáveis temáticas equacionadas para o cálculo das Classes de Capacidade de Uso do Solo: Hipsometria, Declives, Risco de Erosão, Solos (pH, Drenagem Enraizamento Profundo, Textura do Solo, Capacidade de Água disponível, Pedregosidade), Uso do Solo (Tipo de Uso do Solo), e desenvolveu-se, no essencial em três fases:

- 1) Reestruturação dos Dados – envolveu essencialmente a conversão de estruturas de dados *raster* para vectorial, para a informação referente aos declives, hipsometria e risco de erosão.
- 2) Transformação de Dados Espaciais: pode resumir-se a operações de codificação do valor das características, estas podem ainda ser subdivididas em aritméticas e de categoria, para atributos, e geométricas para características espaciais, e a operações de definição de categorias como a reclassificação
- 3) Derivação de informação espacial: consiste na extracção de informações novas por inferência sobre os dados existentes, envolvendo operações generalização e de geoprocessamento:

- Operações de *overlay* – operações decisivas de geoprocessamento relativas à união de atributos²⁵ da totalidade dos temas; também designadas por operações aritméticas multi-atributo, onde cada mapa temático é tratado como uma variável:
 - o Constituição de uma tabela-sumário relativa ao conjunto de avaliações temáticas efectuadas;
 - o Codificação de resultados: respeita à criação de um novo campo na tabela de atributos, preenchido por uma concatenação dos códigos relativos à integração dos vários temas;
 - o Identificação de uma classe única para cada combinação possível dos cinco tipos de informação utilizada, através da geração de tabelas-sumário;
 - o Acoplamento do identificador de classe único com os campos relativos aos valores aferidos pela avaliação cognitiva;
- Generalizações complexas: incluem mudança do tipo do objecto e agregações de polígonos.
- Análise Pericial, envolvendo os dados relativos à Carta de Ocupação do Solo e Vias de Comunicação.

A figura 76 sistematiza todos os processos de Análise Espacial

²⁵ A união das diferentes variáveis de estudo permite a manutenção dos atributos relativos a cada uma das variáveis originais, no entanto, verifica-se a perda de validade de alguns atributos, como no caso dos valores respeitantes à área e ao perímetro.

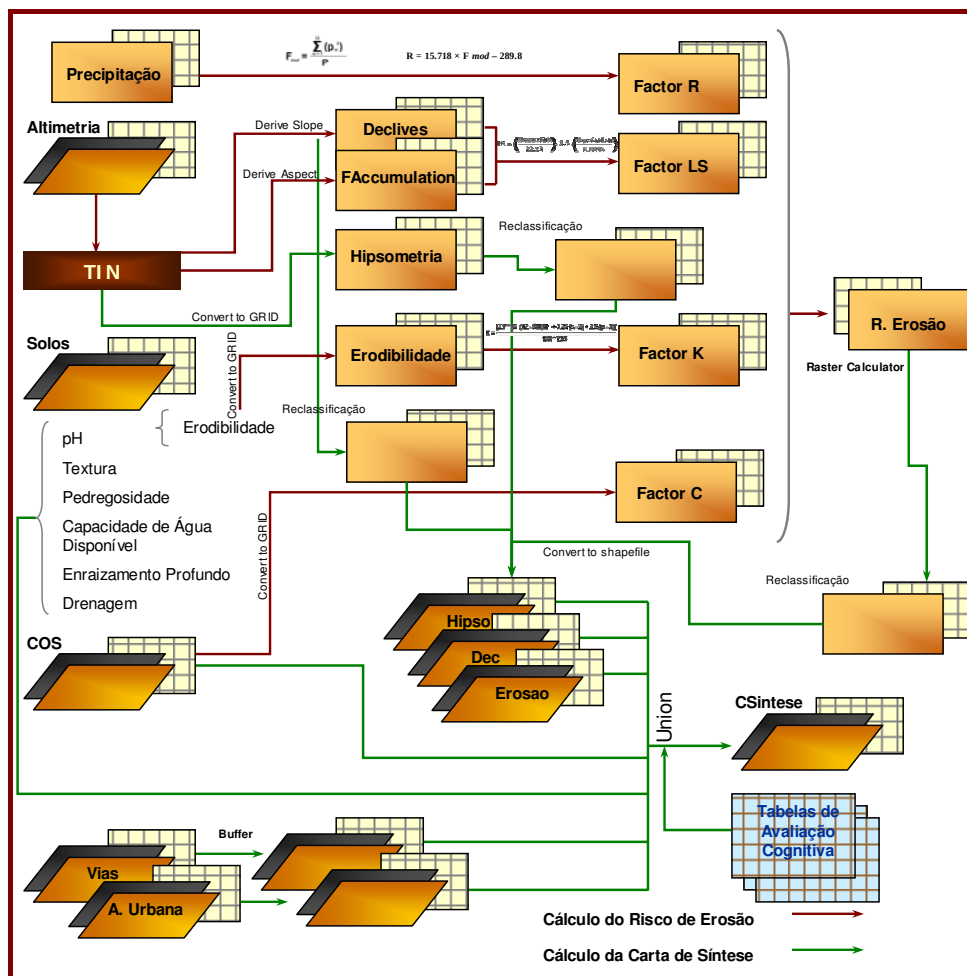


Figura 76 – Modelo cartográfico relativo à elaboração da Carta de Síntese Preliminar de Ordenamento

6.3.4 SAÍDA DE RESULTADOS

Os resultados obtidos podem ser apresentados sobre diversas formas:

1. Desenho gráfico para construção de símbolos, uso de cores, padrões e anotações de modo a facilitar a composição de mapas e respectivas legendas;
2. Mecanismos de visualização para representar a informação geográfica graficamente em periféricos;
3. Dados digitais que permitem a exportação para outros sistemas;
4. Resumo de informação sob a forma de índices de modo a serem apresentados em relatórios.

O resultado alcançado pela aplicação do modelo de análise espacial apresentado está representado na Figura 77.

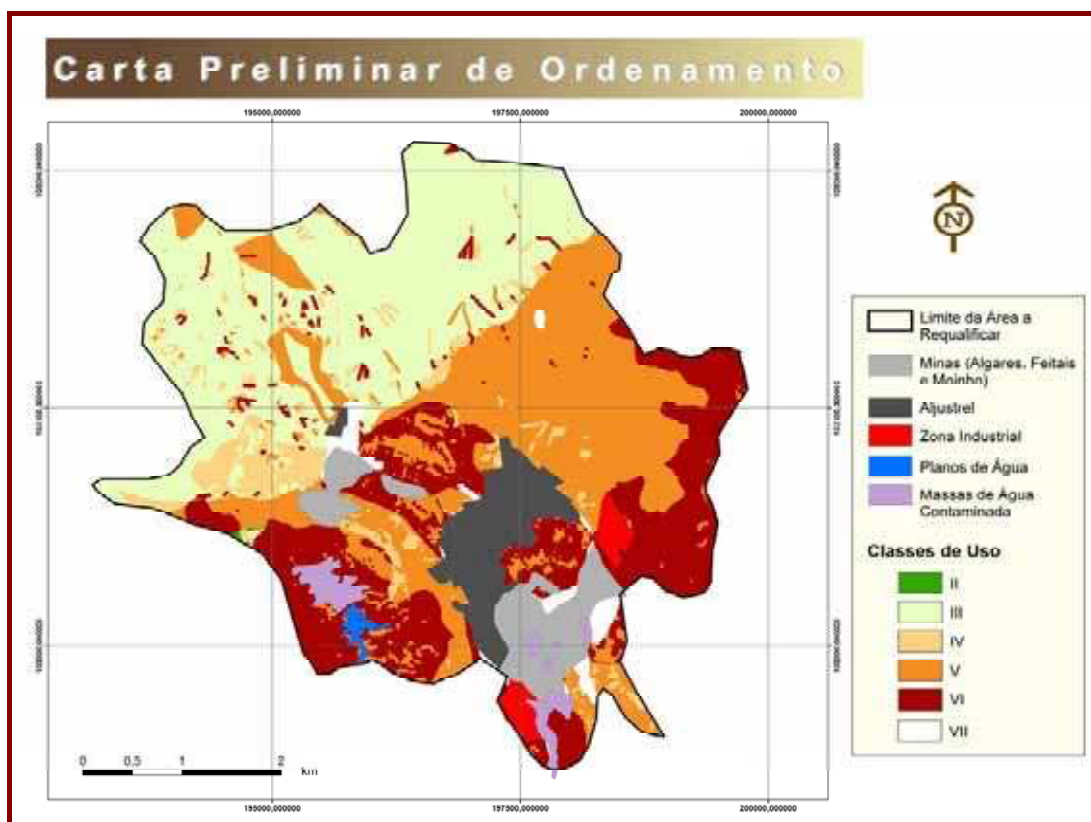


Figura 77 – Aspecto geral da Carta de Síntese Preliminar de Ordenamento após a realização das análises

6.4 MODELO GERAL DE COMPATIBILIZAÇÃO DE USOS DO SOLO

É importante que se estabeleça, desde o início da exploração, o uso de solo final previsto, com o fim de se adequar e contemplar o mesmo no projecto mineiro. Todavia, quando se tratam de operações com um período bastante dilatado, tal torna-se bastante difícil. Uma solução passa por propor várias alternativas de uso de solo.

A possibilidade de se compatibilizar o projecto de requalificação dos terrenos com os trabalhos de exploração tem algumas vantagens, se por um lado resulta em custos mais baixos, por outro facilita a adaptação entre os projectos, para além de que possibilita uma maior alternativa de usos. Em alguns projectos é relativamente fácil combinar diferentes usos, o qual permite uma maior flexibilidade e adaptação em resposta às circunstâncias de

cada terreno. Por exemplo, normalmente combinam-se com êxito áreas de recreio com zonas florestais, armazenamento de água ou de conservação da natureza.

Segundo NEVES *et al.* (2001) “a extracção de relações implícitas, representadas por funções, algoritmos ou padrões espaciais, busca a possibilidade de fornecer novas e aplicáveis bases de conhecimento apresentadas de uma forma explícita. Algumas destas novas formas de explicitação de relações espaciais assentam na criação de informação derivada, proveniente de processos de análise espacial e na sua integração nos modelos a desenvolver”.

Uma vez que o modelo de requalificação que se pretende para as áreas degradadas é um modelo que promova a funcionalidade da paisagem, recorreu-se para a definição final das manchas classificadas na Carta de Síntese Preliminar de Ordenamento, uma matriz de compatibilidade de usos, representada na Figura 78.

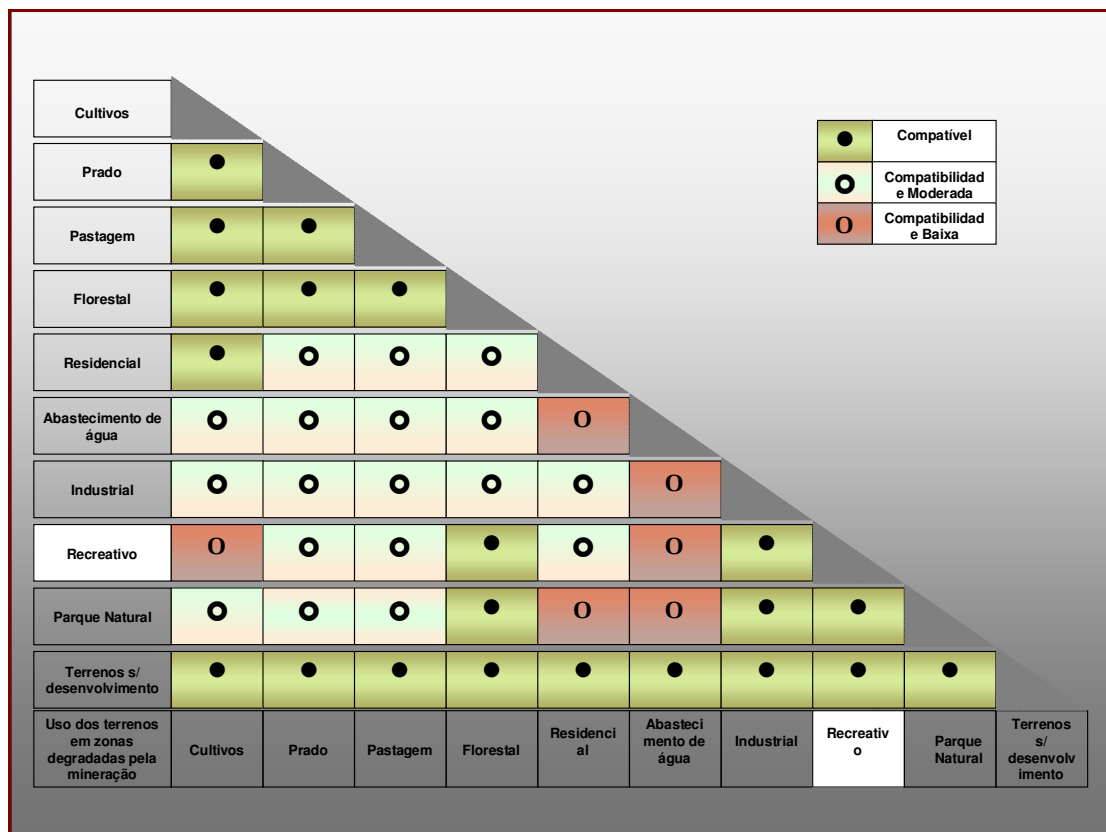


Figura 78 – Matriz de compatibilidade de usos do solo (adaptado de ITGE, 1989)

Para a aplicação da matriz de compatibilidade de usos é essencial invocar o conceito de topologia em SIG. A topologia é um conceito fundamental nos processos de Análise Espacial associados ao modelo vectorial de dados geográficos, que consiste em descrever

e compreender as relações espaciais entre os objectos geográficos, através do estabelecimento de relações de vizinhança, de continuidade e de conectividade entre os elementos gráficos armazenados no sistema, conjuntamente com a descrição geográfica e alfanumérica de cada objecto, permitindo assim efectuar as análises espaciais sobre os elementos gráficos.

Esta análise pode ser realizada através da extracção dos vértices dos polígonos recorrendo para isso à extensão *Get Vertices* para ArcView 3.X. Os vértices extraídos encontram-se duplicados nas fronteiras partilhadas por dois polígonos com atributos diferentes (Figura 79) permitindo uma análise de compatibilidades.

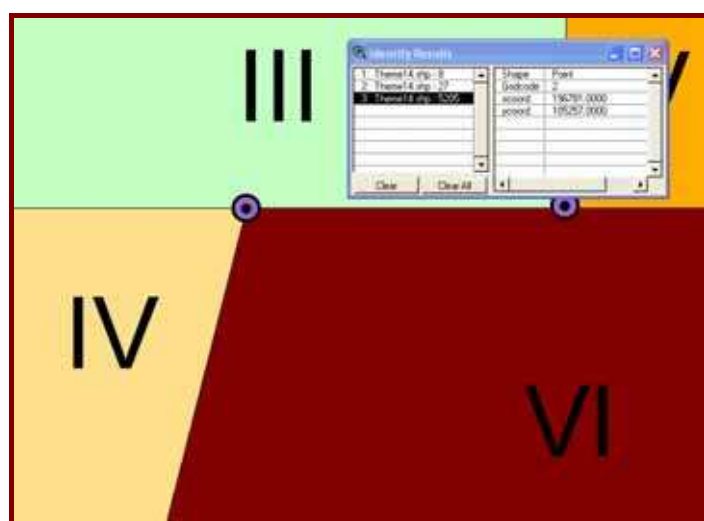


Figura 79 – Vértices codificados e duplicados na fronteira entre dois polígonos adjacentes

Esta extensão permite explorar as propriedades topológicas, não-métricas, baseadas nas posições relativas dos objetos no espaço como a conectividade e a adjacência, uma vez que duplica os vértices nas zonas de fronteira, permitindo a utilização da matriz de compatibilidade de usos, e assim determinar as melhores soluções para cada área.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os próximos anos continuarão a exigir da indústria mineira uma continuada melhoria do seu desempenho ambiental. Num país marcadamente assumido como destino turístico de qualidade, o impacto ao nível da paisagem é particularmente sensível, no qual os valores do património natural e cultural terão um grande valor.

A adaptação ambiental da indústria mineira é um factor fundamental da sua sustentabilidade pelo que, a actividade mineira tem que integrar a protecção ambiental, através de métodos e processos que conduzam a um padrão de actuação compatível com os princípios do desenvolvimento sustentável.

A utilização de tecnologias de informação geográfica, que permitem a aquisição e processamento de dados georeferenciados e a sua manipulação e análise para a elaboração de mapas temáticos e implementação de sistemas de apoio à decisão, são actualmente ferramentas indispensáveis em qualquer estudo no domínio do Ambiente. (FRANCÈS e PARALTA, 2001)

Os processos de Análise Espacial em Sistemas de Informação Geográfica apresentam diversas potencialidades no domínio da Caracterização e Avaliação do Território uma vez que permitem:

- Constituição de bases de dados gráfico-alfanuméricos, que absorvem informação diversa relativa aos diversos elementos cartografados;
- A normalização dos dados permite criar uma estrutura coerente e organizada em bases de dados, tornando-se possível a consulta de uma forma rápida e inequívoca;
- Aceleração significativa do processo de produção de conhecimento a partir de dados base;
- A realização de análises espaciais diversas, assim como o *overlay* dos dados geográficos provenientes de diferentes fontes, permitindo a produção de cartas temáticas de objectivos mais específicos tais como: cartas de ocorrências, cartas litológicas, cartas de potencialidades, cartas de risco, etc.

É precisamente na área da Análise Espacial que os Sistemas de Informação Geográfica se apresen tam as suas maiores potencialidades. Problemas como o impacto ambiental provocado pelas explorações mineiras pode ser interpretado e, até, modelado através da combinação entre um SIG, técnicas de estimativas de valores e simulação de métodos geoestatísticos (DURUCAN, 1992), ou as relações entre as fontes de poluição, a

vulnerabilidade dos aquíferos e a qualidade das águas podem ser melhor investigadas e compreendidas com o apoio de um SIG. (HRKAL e TROUILLARD, 1994)

Estes processos de análise espacial em SIG permitiram a aplicação de metodologias, numa primeira fase, de caracterização e avaliação do território, e assim definir a área a requalificar. É de extrema importância avaliar a globalidade dos impactes gerados pela indústria extractiva no quadro de referência ecológico, ao invés de focar como objecto de requalificação apenas a área da mina propriamente dita.

As minas são focos de apreciáveis impactes no território, impactes esses que ocorrem com elevada amplitude ao nível dos recursos pedológicos, dos recursos hídricos, da dinâmica da vegetação e da paisagem. O recurso às metodologias de Avaliação da Qualidade e Funcionalidade Ecológica da Paisagem e da Propagação de Poluentes revelaram-se determinantes na definição da área a requalificar.

As metodologias atrás descritas afastam-se das formas tradicionais, tendo como objectivo conseguir mais rapidamente fazer uma análise da área que foi sujeita a diversos impactes resultantes da extracção de minério, e através desta chegar a potenciais usos para essas áreas, de forma que atenua e melhore todo o espaço cénico de um determinado local degradado, melhore as condições do solo e reduza a erosão do mesmo, e que permita dotar tais áreas de dinâmica própria.

Foram previstos os seguintes usos do solo:

- Uso agrícola;
- Florestal;
- Agroflorestal e Pastagem;
- Pastagens;
- Recreativo não intensivo e/ou educacional;
- Uso recreativo intensivo;
- Equipamentos de desporto e lazer;
- Expansão urbana.

A definição das áreas finais através da utilização de uma matriz de compatibilidade de usos foi relevante, pois permite garantir soluções que promovam a funcionalidade e dinâmica do espaço.

Metodologias integradas e articuladas desta forma permitem dar indicações para medidas de gestão e aproveitamento do espaço, que deverão no futuro ser parte integrante dos

Planos de Lavra, que para além de contemplar as descrições biofísicas das áreas, a sequência de escavação, a lista de equipamento necessário, a relação estéril/minério, etc; deverão também indicar a descrição de utilização do espaço após a exploração ter cessado, assim como a Avaliação do Impacte Ambiental, o Sistema de Gestão Ambiental e o Plano de Encerramento surgem como os instrumentos indispensáveis à exploração dos recursos minerais, num compromisso entre os benefícios económicos e sociais resultantes do seu aproveitamento e a preservação da qualidade dos sistemas ambientais de que dependem as gerações actuais e futuras.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRANTES, G., 1998. *Sistemas de Informação Geográfica – Conceitos*. (URL: <http://www.isa.utl.pt/dm/sig/sig19992000/SIGconceitos.html>, consulta em: 15-05-2005)
- ALLAN, R., 1995, Introduction: Sustainable Mining in the Future. *Journal Geochemical Exploration*, **52**, 1-4.
- ALLEN, T. F. H., e HOEKSTRA, T. W., 1992. *Toward a Unified Ecology*. (New York: Columbia University Press).
- ALLER, L., BENNET, T., LEHR, J. H., e PETTY, R. J., 1987. *DRASTIC: a Standardized System for Evaluating Groundwater Pollution Potential using Hydrogeologic Settings*, U.S. EPA Report.
- ALMEIDA, J. A., 1992. *Modelização Geométrica para a Caracterização de Recursos Minerais*. Tese de Mestrado. CRM-ISR, Lisboa.
- ÁLVARES, M. T. P., e PIMENTA, M. T., 1998. *Erosão Hídrica e Transporte Sólido em Pequenas Bacias Hidrográficas*. Proceedings do IV Congresso da Água (Lisboa: APRH).
- ANDRÉ, M. P. B. S., 2004. *SAGISc: Sistema Colaborativo para Recolha de Dados Geológicos*. Tese de Mestrado. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- ANDREWS, P. L., e QUEEN, L. P., 2001. Fire Modeling and Information System Technology. *International Journal of Wildland Fire*, **10**, 343–352.
- ANSELIN, L., 1998. Exploratory Spatial Data Analysis in a Geocomputational Environment. In *GeoComputation, a Primer*, editado por P. Longley, S. Brooks, B. Macmillan e R. McDonnell (New York: Wiley).
- ARONOFF, S., 1989, *Geographic Information Systems: A Management Perspective* (Ottawa: WDL Publications).
- ÁVILA, P. F., SANTOS OLIVEIRA, J. M., e FONSECA, E. C., 1999. *Um Caso de Impacte Ambiental Relacionado com a Actividade Mineira no País: Exemplo do Vale das Gatas*. [CD-Rom] Proceedings da 6ª Conferência Nacional de Ambiente (Lisboa: FCT-UNL).
- BATISTA, S. B., CEREJEIRA, M. J., TRANCOSO, A., CENTENO, M. S., e SILVA FERNANDES, A. M., 1998. *Pesticidas e Nitratos em Águas Subterrâneas na Região do Ribatejo e Oeste em 1996*. Proceedings do IV Congresso da Água (Lisboa: APRH).
- BENNET, H. H., 1951. *Manual de Conservação do Solo*. (Washington D. C.: Repartição de Línguas Estrangeiras da Secretaria de Estado dos Estados Unidos da América)

- BERTHOUD, G., DUELLI, P., BURNAND, J. D., THEURILLAT, J. P., GOGEL, R., WIEDEMEIER, P., e HANGGI, A., 1989. *Méthode d'évaluation du Potentiel Écologique des Milieux*. Rapport 39 du programme national SOL, Liebefeld, Bern.
- BIERKENS, M., e BURROUGHS, P., 1992. *Modelling of Map Impurities using Sequential Indicator Simulator*. IV International Geostatistics Congress, Troia.
- BÖNISCH, S., ASSAD, M. L. L., CÂMARA, G., e MONTEIRO, A. M., 2004. Representação e Propagação de Incertezas em Dados de Solos: Atributos Categóricos. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, Vol. **28**, 1, 21-32.
- BOTELHO DA COSTA, J., 1991. *Caracterização e Constituição do Solo* (4ª Edição) (Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian).
- BRODKOM, F., 2000. *As Boas Práticas na Indústria Extractiva: Um Guia de Referência* (Lisboa: Divisão de Minas e Pedreiras do Instituto Geológico e Mineiro).
- BRGM, 2001. *Management of Mining, Quarrying and Ore-processing Waste in the European Union* (DG Environment, European Commission, BRGM).
- BURROUGH, P. A., 1986, *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment* (Oxford: Claredon Press).
- BURROUGH, P. A., e McDONNEL, R., 1998. *Principles of Geographical Information Systems (Spatial Information Systems)* (2nd edition) (Oxford: Oxford Univ. Press).
- CABRAL, F., 1995. A Prospeccção em Pedreiras de Pedras Naturais. *Revista Rochas & Equipamentos*, **37**, 10-12.
- CÂMARA, G., 1995, *Modelos, Linguagens e Arquiteturas para Bancos de Dados Geográficos*. Tese de Doutorado (URL: <http://www.dpi.inpe.br/geopro/teses.html>, consulta em: 12-01-2004).
- CÂMARA G., e MONTEIRO, A. M., 2004. Conceitos Básicos em Ciência da Geoinformação, In *Introdução à Ciência da Geoinformação*, editado por G. Câmara, A. M. Monteiro, J. Simeao de Medeiros (URL: <http://www.asu.edu/caed/proceedings01/PIJANOWS/pijanows.htm>, consulta em: 20-02-2005).
- CAMARGO, E. C., DRUCK, S., e CÂMARA, G., 2004. Análise de Superfícies por Geoestatística Linear, In *Análise Espacial de Dados Geográficos*, editado por S. Druck, M. S. Carvalho, G. Câmara, A. M. V. Monteiro (URL: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>, consulta em: 20-02-2005).
- CAMARGO, E. C., MONTEIRO, A. M. V., FELGUEIRAS, C. A., e FUKS, S. D., 1999. *Integração de Geoestatística e Sistemas de Informação Geográfica: Uma Necessidade*. Proceedings do GISBrasil 99, Salvador, Brasil.

- CANTER, L. W., KNOX, R. C. e FAIRCHILD, D M., 1987. *Ground Water Quality Protection*. (Michigan: Lewis Publishers).
- CARDOSO, J., 1965. *Os Solos de Portugal. Sua Classificação, Caracterização e Génese. I – A Sul do Rio Tejo*. (Lisboa: Secretaria de Estado da Agricultura – Direcção Geral dos Serviços Agrícolas).
- CARDOSO, J., 1974. *A Classificação dos Solos de Portugal. Boletim de Solos*. (Lisboa: Serviço de Reconhecimento e de Ordenamento Agrário).
- CARVALHO, M. S., CÂMARA, G., CRUZ, O. G., e CORREA, V., 2004. Análise de Dados de Área, In *Análise Espacial de Dados Geográficos*, editado por S. Druck, M. S. Carvalho, G. Câmara, A. M. V. Monteiro (URL: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/>, consulta em: 20-02-2005).
- CCDRA, 2003. *Estudo dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Alentejo (ERHSA)*. CCDRA, Évora.
- CEEM, 1996. *A região de Évora numa perspectiva de Ecologia da Paisagem*. Relatório Final do Programa STRIDE-Amb. 12, Universidade de Évora.
- CHAE, Y., e HAMIDI, A., 2000. Subsurface Site Investigation. In *Groundwater and Surface Water Pollution*, editado por D. H. F. Liu e B. G. Lipták. (USA: Lewis Publishers).
- CHAMBEL, L., 1999. *Cartografia Geológica, Planeamento da Prospekção, Cálculo de Reservas e Recuperação Ambiental de Jazigos Minerais Assistidos por Sistemas de Informação Geográficas: Análise de Casos em Portugal, Angola e Brasil*. . [CD-Rom] Proceedings do ESIG 1999, V Encontro de Utilizadores de Sistemas de Informação (Oeiras: USIG).
- CNIG, 1990. [Carta de Ocupação do Solo], Escala 1:25000, 8 Cartas ([Lisboa]: IGP). (Folhas 519, 520, 528, 529, 530, 537, 538 e 539).
- CNIG, 1994. *Manual para a Exploração de Sistemas de Informação Geográfica*. Volume V. (Lisboa: CNIG-MPAT).
- COMETT, 1992. *Curso de Impacto Ambiental y Restauracion en Minería a Cielo Abierto* (Oviedo: Departamento de Explotacion y Prospeccion de Minas de la Universidad de Oviedo).
- COMISSÃO DE ACOMPANHAMENTO DO POE/PRIME, 2003. *Programa de Incentivos à Modernização da Economia – Complemento de Programação*. Ministério da Economia, Lisboa.
- CONSEJERÍA DE MÉDIO AMBIENTE DE JUNTA DE ANDALUCIA, s/d. *Capacidad de uso y erosión de los suelos en el Valle central del río Guadalquivir*. (URL:

http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/documentos_tecnicos/uso_suelo/uso_indice.html, consulta em: 14-03-2003).

- COPPIN, N. J., e BRADSHAW, A. S., 1982. *Quarry Reclamation*. (London: Mining Journal Books).
- COPPOCK, J. e RHIND, D., 1991. The History of GIS, In *Geographical Information Systems: Principles and Applications*, editado por D. J. Maguire, M. F. Goodchild, D. W. Rhind (London: Longman) pp. 21-43.
- COSTA, C., 1992, *As Pedreiras do Anticlinal de Estremoz – A Geologia de Engenharia e a Exploração e Recuperação Ambiental de Pedreiras*. Tese de Doutoramento. Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.
- COSTA, J. C., AGUIAR, C., CAPELO, J. H., LOUSÃ, M., e NETO, C., 1998. Biogeografia de Portugal Continental, *Quercetea*, n.º 0, 5-56.
- COSTA, L. R., 1999a. Desenvolvimento Sustentável na Indústria Extractiva: Conceito e Prática do Instituto Geológico e Mineiro de Portugal. *Boletim de Minas do Instituto Geológico e Mineiro*, Vol. 36, n.º 3.
- COSTA, L. R., 1999b. *O Sector Mineiro Metálico Nacional no Último Decénio e Perspectivas de Evolução Futura*. 1º Colóquio de Jazigos Minerais Metálicos de Portugal. Academia das Ciências de Lisboa.
- COSTA, L. R., 1999c, *O IGM e o Estado Actual de Desenvolvimento do seu Sistema de Informação*. *Boletim de Minas do Instituto Geológico e Mineiro*, Vol. 36, n.º 4.
- COSTA, L. R., 2000. Indústria Mineira: Integração ou Conflito? *Boletim de Minas do Instituto Geológico e Mineiro*, Vol. 37, n.º 1.
- COSTA, L. R., 2001. O Sector Mineiro Metálico Nacional nos Anos 90 e Perspectivas de Evolução Futura. *Boletim de Minas do Instituto Geológico e Mineiro*, Vol. 38, n.º 1.
- COSTA, L. R., 2002. Recursos Minerais de Portugal: Da Indústria Extractiva à Economia dos Georrecursos. *Boletim de Minas do Instituto Geológico e Mineiro*, Vol. 39, n.º 3/4.
- COSTA, L. R. e LEITE, M. M., 2000. A Recuperação Ambiental de Áreas Mineiras Degradadas nas Políticas de Integração da Indústria e Ambiente do Ministério da Economia. *Boletim de Minas do Instituto Geológico e Mineiro*, Vol. 37, n.º 3.
- COWEN, D. J., 1988, GIS versus CAD versus DBMS. What are the differences? *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 54, 1551-1555.
- CRANSTON, J., 2004. *Understanding Grizzly Bears Using GIS*. Proceedings da 2004 ESRI International User Conference, San Diego, California.
- CRAWFORD, G. A., 1995, Environmental Improvements by the Mining Industry in the Sudbury Basin of Canada. *Journal Geochemical Exploration*, Vol. 52, 267-284.

- CUPETO, C., 1994, *Plano Regional de Ordenamento da Zona dos Mármore (PROZOM) e a Água*. Curso Internacional Água & Ambiente. UNESUL e COMETT. Sousel.
- CUPETO, C., MONTEIRO, J. P., PINTO GOMES, C., MOLERO, C., VASQUEZ, M., MORENO, V., CARMEN BUENO, M., MUÑOZ, P., GONÇALVES, T., TELES GRILO, J., AVELAR SANTOS, A. P., FEIO, C., MARTINS, R., SOUSA, R., PAÇOS, F., RAMALHO, R., PINHEIRO, I., BURZACO, A., PÉREZ-SÁENZ, A., MOREIRA, T., e COSTA, C., 1995, Para a Eco-Recuperação de Pedreiras: Um Esquema Integrado Envolvendo a Extremadura Espanhola e o Alentejo. *Revista Rocha & Equipamentos*, **37**, 30-47.
- DECRETO-LEI n.º 89/90. *Diário da República I Série*, **63 (16-03-1990)**, 1286-1296. Revogado pelo DECRETO-LEI n.º 270/2001.
- DECRETO-LEI n.º 93/90. *Diário da República I Série*, **65 (24-03-1990)**, 1350-1354.
- DECRETO-LEI n.º 186/90. **(06-06-1990)**. Revogado pelo DECRETO-LEI n.º 69/2000.
- DECRETO-LEI n.º 278/97. *Diário da República I-A Série*, **233 (08-10-1997)**, 5440-5443. Revogado pelo DECRETO-LEI n.º 69/2000.
- DECRETO-LEI n.º 382/99 *Diário da República I-A Série*, **176 (22-09-1999)**, 6623-6627.
- DECRETO-LEI n.º 69/2000. *DIÁRIO DA REPÚBLICA I SÉRIE*, **102 (03-05-2000)**, 1784-1801.
- DECRETO-LEI n.º 198-A/2001. *DIÁRIO DA REPÚBLICA I-A SÉRIE*, SUPLEMENTO, **155 (06-07-2001)**, 4084(2)-4084(7).
- DECRETO-LEI n.º 270/2001. *DIÁRIO DA REPÚBLICA I-A SÉRIE*, **232 (06-10-2001)**, 6347-6366.
- DECRETO-REGULAMENTAR n.º 38/90 **(27-11-1990)**. Revogado pelo DECRETO-LEI 69/2000.
- DEMERS, M. N, 2002. *GIS Modeling in Raster*. (New York: John Wiley & Sons)
- DGA, 1998. [*Atlas do Ambiente*], Edição 1998, Formato digital [*.shp], Escala/Resolução Espacial 1:1000000, (Lisboa: Instituto do Ambiente)
- DIAS, J. E. F., ARAGÃO, M. A. S. e ROLLA, M. A. B. T., 2002. *Regime Jurídico da Avaliação de Impacte Ambiental em Portugal – Comentário*. (Coimbra: CEDOUA).
- DRAOT ALENTEJO, 1999. *Plano Regional de Ordenamento do Território da Zona dos Mármore*, Volume I: Opções Estratégicas e Normas Orientadoras. Évora.
- DUIJVENBOODEN, W., e WARGENINGH, H. G., 1987. *Vulnerability of soil and groundwater to pollutants*. Proceedings da International Conference Held in the Netherlands (Delft: TNO Committee on Hydrological Research).
- DURUCAN, S., 1992. Environmental Planning in Minerals Extraction Using Geographic Information Systems. *Geo-Sistemas*, **1**, 37-46.
- EGENHOFER, M. J., e FRANK, A. U., 1988. *Designing Object-Oriented Query Languages for GIS: Human Interface Aspect*. Proceedings do Third International Symposium on

- Spatial Data Handling (Williamsville: International Geographical Union Commission on Geographical Data Sensing and Processing), pp. 79-96.
- ESTEVES, T. M. V. N. S., 2004. *Base de Dados do Potencial Energético do Vento em Portugal – Metodologia e Desenvolvimento*. Tese de Mestrado. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- ESRI, 1996. *ArcView GIS 3.0*. ESRI, Redlands.
- ESRI, 2004. *ESRI ArcMap 9.0*. ESRI, Redlands.
- FALCONER, e FORESMAN, J., 2002. *A System for Survival – GIS and Sustainable Development* (Redlands: ESRI Press).
- FAVA, S., e HENRIQUES, R. G., 1999. Cartografia Temática Digital Convertida no Âmbito do SNIG. *Fórum SNIG*, **4**, 21-22.
- FELICÍSIMO, A. M., 1994. *Modelos Digitales del Terreno – Introducción y Aplicaciones en las Ciencias Ambientales*. (URL: <http://www.etsimo.uniovi.es/~feli>, consulta em: 25-03-2002)
- FERNANDES, J. P., 1991. *Modelo de Caracterização e Avaliação Ambiental Aplicável ao Planeamento (ECOGIS/ECOSAD)*. Tese de Doutoramento, FCT-UNL, Lisboa.
- FERNANDES, J. P., 1996. *Avaliação dos Recursos Ecológicos Actuais da Área envolvente do Rio Minho*. Actas do 1º Colóquio Internacional de Ecologia da Vegetação (Évora: Universidade de Évora).
- FERNANDES, J. P., 1999. *Integrated Landscape Analysis: A Framework for Landscape Analysis in a Context of Insufficient Field Data*. 19th IAIA Annual Conference, Glasgow
- FERNANDES, J. P., GUIOMAR, N., e SOARES, A. P., 2005a. *Geometries in Landscape Ecology*. European IALE Congress 2005, Faro.
- FERNANDES, J. P., GUIOMAR, N., SOARES, A. P., TCHERKEZOVA, E., e NEVES, N., 2005b. *GIS Basic Geometries in LACOPE: Landscape Development, Biodiversity and Co-operative Livestock Systems in Europe*. [CD-Rom] Proceedings do GISPlanet 2005 (Estoril: USIG).
- FERNANDES, J. P., NEVES, N., GUIOMAR, N., e ALVES, P., 2002a. *Relatório sobre os estudos desenvolvidos na Universidade de Évora sobre a estrutura ecológica do território envolvente das áreas em estudo entre a ZPE do Estuário do Tejo, a ZPE da Comporta-Galé e a ZPE de Cabrela*. Projecto LIFE–Natureza: B4-3200/98/499. Universidade de Évora. Évora.
- FERNANDES, J. P., NEVES, N., GUIOMAR, N., e ALVES, P., 2002b. *Análise Espacial na Avaliação da Qualidade e Funcionalidade Ecológica da Paisagem*. [CD-Rom] Proceedings do ESIG 2002 – VII Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica (Oeiras: USIG).

- FERNANDES, J. P., NEVES, N., GUIOMAR, N., SOARES, A., e QUINTA-NOVA, L., 2003. *Modelos Funcionais da Paisagem*. II Jornadas Ibéricas de Ecologia del Paisaje. Alcalá de Henares.
- FERNANDES, J. P., NEVES, N., GUIOMAR, N., e SOARES, A., 2004. *Caracterização e Avaliação de Funções Ecológicas – Reflexões a partir de estudos realizados no quadro dos projectos: LIFE Natureza da Península de Setúbal e Plano Municipal do Ambiente de Vendas Novas*. Seminário Aplicação dos princípios da Ecologia da Paisagem a estudos de Flora e Fauna. Escola Superior Agrária de Castelo Branco.
- FERRÃO, P. C., 1998, *Introdução à Gestão Ambiental – A Avaliação do Ciclo de Vida de Produtos*. (Lisboa: IST Press).
- FERREIRA, J. C., 2002. *Tecnologias de Informação Geográfica e a Gestão Integrada de Sistemas Ambientais Complexos: o Exemplo das Zonas Costeiras*. Caderno de Resumos das IV Jornadas de Geografia e Planeamento – Tecnologia e Culturas (Guimarães: Secção de Geografia da Universidade do Minho).
- FERREIRA, K. R., CASANOVA, M. A., RIBEIRO DE QUEIROZ, G., e FRADICO DE OLIVEIRA, O., 2005. Arquitecturas e Linguagens. In *Banco de Dados Geográficos* editado por M. A. Casanova, G. Câmara, C. Davis, L. Vinhas, G. Queiroz (URL: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livros.html>, consulta em: 25-06-2005).
- FONSECA, R., e BARRIGA, F. J. S., 2003. *Dos Solos para os Lagos Artificiais: Transformações Mineralógicas e Químicas dos Materiais Depositados*. [CD-Rom] Proceedings do VI Congresso Nacional de Geologia. (Lisboa: UNL)
- FONSECA, A., CONDESSA, B., RUFINO, J. P., CADETE, L., BESSA, M. J., NEVES, N., e NUNES, T., 1992. *Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica* (Lisboa: CNIG).
- FORMICA, V. A., GONSER, R. A., RAMSAY, S., e TUTTLE, E. M., 2004. Spatial Dynamics of Alternative Reproductive Strategies: The Role of Neighbors. *Ecology*, **85**, 1125-1136.
- FOSTER, S. e HIRATA, R. (1993). *Determinação de riscos de contaminação das águas subterrâneas*. Governo do Estado de São Paulo Secretaria do Meio Ambiente, Boletim do Instituto Geológico, n.º 10.
- FRANCÊS, A. P., e PARALTA, E. A., 2001. *Utilização de Aplicações Informáticas em Cartografia Ambiental e Análise de Sistemas Hidrogeológicos*. Actas do Seminário A Hidroinformática em Portugal (Lisboa, LNEC).
- FRANCISCHETTI, J., 2004. *Remoção de Metais Pesados e Efluentes Líquidos Através de Filtração Adsorativa*. Tese de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

- FRANK, A. U., 1988, Requirements of a database management system for a GIS. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **54**, 1557-1564.
- FREEZE, R. A. e CHERRY, J. A., 1979. *Groundwater* (New Jersey: Prentice Hall).
- FREIRE D'ANDRADE, R., 1967. As Minas de Aljustrel. *Boletim de Minas do Instituto Geológico e Mineiro*, Vol. **2**, n.º **4**, 73-90.
- FUKS, S. D., 1998. Novos Modelos para mapas derivados de informações de solos. In *Sistema de Informações Geográficas: aplicações na agricultura* editado por E. D. Assad e E. E. Sano (Brasília: Embrapa-SPI / Embrapa-Cerrados).
- GALETI, P. A., 1976. *Conservação do Solo – Reflorestamento e Clima*. (São Paulo: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola)
- GARCÍA, J. M. R., 2000. *Modelo Distribuido para la Evaluación de Recursos Hídricos* (Madrid: CEDEX).
- GONÇALVES, A., 2003. *Multi-Agentes para Simulação em Sistemas de Informação Geográfica*. Tese de Mestrado. FCT-UNL, Lisboa.
- GOODCHILD, M. F., 1992. Geographical Information Science. *International Journal of Geographical Information Systems*, **6**, 31-45.
- GOODCHILD, M. F., e KEMP, K. K., (Eds.) 1991, *NCGIA Core Curriculum in GIS* (Santa Barbara: University of California).
- GUIOMAR, N., 2002. *Modelo de Dados para Avaliação Biofísica e Análise Espacial: Requalificação de Explorações Mineiras*. Trabalho de Fim de Curso, Universidade de Évora, Évora.
- GUIOMAR, N., 2003. *Modelo de Avaliação Biofísica para Requalificação de Explorações Mineiras Abandonadas*. GISDay 2003, Universidade de Évora.
- GUIOMAR, N., 2004. *Relatório dos Trabalhos Executados no Âmbito do Projecto Planeamento da Recuperação dos Espaços Percorridos pelo Fogo em 2003 – Alto Alentejo*. Processo n.º FSUE/291/DGAL (Lisboa: DGRF).
- GUIOMAR, N., ALVES, P., e FERNANDES, J. P., 2001. *Reflexão Metodológica sobre os Sistemas Automáticos de Análise Morfológica do Terreno*. [CD-Rom] Proceedings do ESIG 2001 – VI Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica (Oeiras: USIG).
- GUISAN, A., e ZIMMERMAN, N. E., 2000. Predictive Habitat Distribution Models in Ecology. *Ecological Modelling*, **135**, 147-186.
- HEYWOOD, I., CORNELIUS, S., e CARVER, S., 1998. *An Introduction to Geographical Informations Systems* (Harlow: Prentice Hall).

- HRKAL, Z., e TROUILLARD, J. M., 1994. Use of GIS Optimalization of Human Activity in a Catchment Area: an Example of the Beauce Region (France). *Environmental Geology*, Vol. **24**, 22-27.
- IGEOE, 2002. *Manual de Leitura de Cartas* (5ª Edição) (Lisboa: IGEOE).
- IGM, 1992. [Carta Geológica de Portugal], 5ª Edição, 1 carta, Escala/Resolução Espacial 1:500000, (Lisboa: INETI)
- IGM, 2000. *Portugal – Indústria Extractiva*. (Lisboa: IGM).
- IGP, 2005. [Carta Administrativa Oficial de Portugal], Versão 4.0, Formato digital [* .shp], Escala/Resolução Espacial 1:25000, (Lisboa: Instituto Geográfico Português)
- INAG, 2000. *Identificação dos Sistemas de Abastecimento de Água com Origens Subterrâneas (Distrito de Beja)*. SNIRH, DSRH/INAG, Lisboa.
- INAG, 2004. *Plano Nacional da Água*. (Lisboa: INAG)
- INAG, 2005. *Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos*. (URL: <http://snirh.inag.pt/>, consulta em: 12-05-2005).
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E GEOFÍSICA, 1991. *O Clima de Portugal - Normais Climatológicas da Região de Alentejo-Algarve Correspondentes a 1951-1980*. Fascículo XLIX. Volume 4. 4ª Região (Lisboa: INMG).
- ITAMI, R. M., e RAULINGS, R. J., 1993. What is a Geographic Information System? In *SAGE Introductory Guidebook*, editado por DLSR (Melbourne: DLSR).
- ITGE, 1989. *Manual de Restauracion de Terrenos y Evaluation de Impactos Ambientales en Minería*. Serie Ingeniería Geoambiental. (Madrid: Ministerio de Industria y Energía).
- ITGE, 1991. *Evaluacion y Correccion de Impactos Ambientales*. Serie Ingeniería Geoambiental (Madrid: Ministerio de Industria y Energía).
- JHA, M. K., MCCALL, C., e SCHONFELD, P, 2001. Using GIS, Genetic Algorithms, and Visualization in Highway Development. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. **16**, 399-414.
- JULIÃO, R. P., 2001. *Tecnologias de Informação Geográfica e Ciência Regional – Contributos Metodológicos para a Definição de Modelos de Apoio à Decisão em Desenvolvimento Regional*. Tese de Doutoramento, FCSH-UNL, Lisboa.
- KATZ, S., 1989. *Geographic Information Systems – More than just another Computer Mapping Program*. Proceedings do XXI APCOM Symposium, Las Vegas, pp. 597-602.
- KNOX, R. C., SABATINI, D. A e CANTER, L. W., 1993. *Subsurface Transport and Fate Processes*. (Florida: Lewis Publishers).

- KONECNY, G., 2003. *Geoinformation – Remote Sensing, Photogrammetry and Geographic Information Systems* (London: Taylor & Francis).
- KRAAK, M., e ORMELING, F., (2003), *Cartography – Visualization of Geospatial Data*. (2nd Edition) (Harlow: Prentice Hall).
- LAIGINHAS, C., e AMADO, A. R., 1999a. *O Projecto GEIXS: Importância Nacional e Regional da Participação Portuguesa*. Proceedings do Congresso Sistemas de Informação Geográfica e Geológica de Base Regional, Beja.
- LAIGINHAS, C., e AMADO, A. R., 1999b. *O Sistema de Informação Geológica Georeferenciada (SIGGeo)*. Proceedings do Congresso Sistemas de Informação Geográfica e Geológica de Base Regional, Beja.
- LAMAS, J. M., RODRIGUEZ, J. G., e TOVAR, J. O., 1985. *Guia Para la Restauracion del Medio Natura Afectado Por la Explotacion de Canteras*. (Madrid: ITGE)
- LANTER, D. P., e VEREGIN, H., 1992. A Research Paradigm for Propagating Error in Layer-Based GIS. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **58**, 825-833.
- LARA, E. L., SIMEÓN, C. P., e NAVARRO, J. G., 1998. *Los Sistemas de Información Geográfica*. I Congreso de Ciencia Regional de Andalucía. Andalucía en el Umbral del Siglo XXI. Cádiz. Asociación Andaluza de Ciencia Regional y Servicios de Publicaciones de la Universidad de Cádiz, pp. 789-804.
- LEITÃO, T., BARBOSA, A. E., e TELHADO, A., 2005. *Proposta de uma Metodologia para a Identificação de Zonas Hídricas Sensíveis aos Poluentes Rodoviários*. 7^o Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa, Évora.
- LNEC, 2004. *Avaliação e Gestão Ambiental das Águas de Escorrência de Estradas*. 3^o Relatório – Proc. 0607/1/14666, Núcleo de Águas Subterrâneas, Departamento de Hidráulica e Ambiente, LNEC, Lisboa.
- LOBO-FERREIRA, J. P. C., 1983. *Introdução à contaminação de águas subterrâneas*. Informação Técnica, LNEC, Lisboa.
- LOBO-FERREIRA, J. P. C., 1998. *Vulnerabilidade à Poluição de Águas Subterrâneas: Fundamentos e Conceitos para uma melhor Gestão e Protecção dos Aquíferos de Portugal*. Proceedings do IV Congresso da Água (Lisboa: APRH).
- LOBO-FERREIRA, J. P. C., OLIVEIRA, M. M., e RAMOS, C. 2002. *Cartografia da vulnerabilidade à poluição das águas subterrâneas do concelho de Montemor-o-Novo utilizando o método DRASTIC*. Relatório 46/02 – GIAS, LNEC, Lisboa.
- LOBO-FERREIRA, J. P. C., e KRIJGSMAN, B., 2001. *Uma Nova Metodologia para Delimitação de Perímetros de Protecção de Captações de Águas Subterrâneas*. Actas do Seminário A Hidroinformática em Portugal (Lisboa, LNEC).

- LONGO, S., e DINIS DA GAMA, C., 2003. *Análise dos Riscos Inerentes às Vibrações Transmitidas às Estruturas*. (URL: <http://cegeo.ist.utl.pt/html/investiga/vibra.pdf>, consulta em: 20-06-2005).
- LOURENÇO, F., BARATA, P., MARTINS, J., e FAUSTINO, C., 1999. *Cartografia Digital: Controlo de Qualidade*. [CD-Rom] Proceedings do ESIG 1999, V Encontro de Utilizadores de Sistemas de Informação (Oeiras: USIG).
- MACHADO, J. R., 2000. *A Emergência dos Sistemas de Informação Geográfica na Análise e Organização do Espaço* (Lisboa: FCG-FCT).
- MAGNO, C., 2001. Indústria Extractiva - Do Paradigma do Controlo da Oferta para um Modelo de Regulamentação Orientado para os Desafios do Desenvolvimento Sustentável. *Boletim de Minas do Instituto Geológico e Mineiro*, Vol. **38**, n.º **4**.
- MAGUIRE, D. J., 1991. An overview and Definition of GIS. In *Geographical Information Systems: Principles and Applications*, editado por D. J. Maguire, M. F. Goodchild, D. W. Rhind (London: Longman). Vol. **1**, 9-20.
- MAOT, 2001. *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Sado*. Relatório Final (Lisboa: MAOT).
- MARIA DE ALMEIDA, C., MONTEIRO, A. M. V., CÂMARA, G., SOARES-FILHO, B. S., CERQUEIRA, G. C., PENNACHIN, C. L., e BATTY, M., 2005. GIS and Remote Sensing as Tools for the Simulation of Urban Land-use Change. *International Journal of Remote Sensing*. Vol. **26**, N.º **4**, 759–774.
- MARTINS, C., 1998. *Abordagem dos Impactes Paisagísticos da Actividade Extractiva no Âmbito do Sistema de Auditoria Ambiental*. Comunicações do 1º Seminário de Auditorias Ambientais Internas. Divisão de Minas e Pedreiras do IGM, Lisboa.
- MARTINS, C., FIGUEIRA, M., PITEIRA, B., DUQUE, V. e CUPETO, C., 1995. Ecogestão e Auditoria Ambiental no Sector das Pedras Naturais. *Revista A Pedra*, **58**, 19-23.
- MATOS, J., 2001. *Fundamentos de Informação Geográfica*. (2.ª Edição) (Lisboa: Lidel, Edições Técnicas).
- MILLER, H. J., 1999. Potential contributions of spatial analysis to geographic information systems for transportation (GIS-T). *Geographical Analysis*, **31**, 373-399.
- MITCHELL, S., CSILLAG, F., e TAGUE, C., 2002. *Advantages of Open-source GIS to Improve Spatial Environmental Modelling*. Proceedings da Open Source GIS - GRASS Users Conference 2002 (Trento: Università di Trento).
- MOREIRA, M. A., 1997. Introdução às Redes Neurais Artificiais. (URL: <http://todi.est.ips.pt/dmat/documentos/investig/mmoreira/inredneu.pdf>, consulta em: 05-70-2005)

- MOTA, L., BENTO, J., e BOTELHO, L., 2001. *Ontologias de Informação Geográfica*. [CD-Rom] Proceedings do ESIG 2001 – VI Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica (Oeiras: USIG).
- MÜLLER, J. C., WEIBEL, R., LAGRANGE, J. P., e SALGÉ, F., 1995. Generalization: State of the Art and Issues. In *GIS and Generalization - Methodology and Practice* editado por J. C. Müller, J. P. Lagrange e R. Weibel (London: Taylor & Francis).
- MURTEIRA, B. J. F., 1993. *Análise Exploratória dos Dados: Estatística Descritiva*. (Lisboa: McGraw-Hill)
- NEVES, N., 1995. Sistema de suporte à decisão em planeamento ambiental, In *Ordenamento, Gestão do Território e Sistemas de Informação Geográfica* (Lisboa: Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa).
- NEVES, N., 1996. *Aplicação de Sistemas de Informação Geográfica em Planeamento Municipal: desenvolvimento de Modelos de Simulação e Decisão*. Tese de Doutoramento, Universidade de Barcelona, Barcelona.
- NEVES, N., 2000. *GEOMETA – Elementos Mínimos Geográficos para Análise Territorial e Ambiental*. [CD-Rom] Projecto Coordenação de SIGs e dos IOT para o Desenvolvimento dos Espaços Rurais de Baixa Densidade (Évora: AMDE).
- NEVES, N., 2001. *Knowledge Discovery Method for Propagation Phenomena Modeling*. 16th ESRI-EMEA User Conference, Lisboa.
- NEVES, N., e CONDESSA, B., 1993. *Sistemas de Suporte à Decisão em Planeamento Municipal*. Proceedings do ESIG 1996 – II Encontro sobre Sistemas de Informação Geográfica (Estoril: USIG).
- NEVES, N., CONDESSA, B., e JULIÃO, R., 2001. *GEOMETA – Geographical Minimal Elements for Environmental and Territorial Analysis*. 16th ESRI-EMEA User Conference. Lisboa.
- NEVES, N., GUEAU, C., e RODRIGUES, A., 1997. Interoperable WWW Toolkit for Municipal Planning. In *Environmental Challenges in an Expanding Urban World* editado por J. R. Machado e J. Ahern (Lisboa: FCT-UNL/CNIG).
- NEVES, N., GUIOMAR, N., SANTOS, H., e ALVES, P., 2002. *Geographical Minimal Elements Data Model and Knowledge Discovery on Surface Propagation Modelling*. EuroConference Eco-Geowater 2002, Génova.
- NEVES, N., JULIÃO, R. P., CONDESSA, B., FONSECA, A., e SANTOS, H., 2001. *Modelo de Dados do Projecto GEOMETA e a sua Utilização em Análise Exploratória de Relações Espaciais*. [CD-Rom] Proceedings do ESIG 2001 – VI Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica (Oeiras: USIG).

- NICOLAU, M. R. R. C., 2002. *Modelação e Mapeamento da Distribuição Espacial de Precipitação: Uma Aplicação a Portugal Continental*. Tese de Doutoramento, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- NOGUCHI, N., REID, J. F., ZHANG, Q., e TIAN, L. F., 1998. *Vision intelligence for precision farming using fuzzy logic optimized genetic algorithm and artificial neural network*. ASAE Paper. (URL: <http://www.age.uiuc.edu/oree/pdf/uilu-eng-98-7020.pdf>, consulta em: 25-05-2005).
- NUNES, L. P., e DOMINGUES, F. V., 1999. *A Qualidade da Base de Dados Geográficos do IGeoE*. [CD-Rom] Proceedings do ESIG 1999, V Encontro de Utilizadores de Sistemas de Informação (Oeiras: USIG).
- OLIVEIRA, J. F. S., 2005. *Gestão Ambiental* (Lisboa: Lidel Edições Técnicas).
- OLIVEIRA, J. M. C., e BAÇÃO, F., 1999. Análise de Clusters: Os Métodos e as Técnicas. In *Metodologias de Análise Regional: A Análise Factorial e de Clusters*, editado por M. J. Ferreira, (Lisboa: Centro de Estudos de Geografia e Planeamento Regional – UNL).
- OLIVEIRA, M. M., 2001. *A Estimativa da Recarga das Águas Subterrâneas a partir da Decomposição de Hidrogramas de Escoamento Superficial: O Programa de Computador DECHIDR_VB.VBP*. Actas do Seminário A Hidroinformática em Portugal (Lisboa, LNEC).
- OLIVEIRA, M. M., 2004. *Aplicação de Dois Métodos Diferentes para a Estimativa da Recarga de Águas Subterrâneas numa Área de Estarreja*. Proceedings do 7º Congresso da Água (Lisboa: APRH).
- OLIVEIRA, M. M., e LOBO-FERREIRA, J. P., 1998. *Cartografia Automática da Vulnerabilidade de Aquíferos com Base na Aplicação do Método DRASTIC*. Proceedings do IV Congresso da Água (Lisboa: APRH).
- OLIVEIRA, M. M., e LOBO-FERREIRA, J. P., 2003. Análise de Sensibilidade da Aplicação de Métodos Indexados de Avaliação da Vulnerabilidade à Poluição de Águas Subterrâneas. Jornadas Luso-Espanholas sobre Águas Subterrâneas no Sul da Península Ibérica, Faro.
- OLIVEIRA, M. M., LOBO-FERREIRA, J. P. e MOINAMONTE, M. J., 1996. *Avaliação da vulnerabilidade à poluição dos aquíferos superficiais da faixa costeira de Portugal Continental utilizando o método DRASTIC: Caracterização dos parâmetros DRASTIC*. 3º Congresso da Água, VII Silubesa, Lisboa, pp. 147-156.
- OLIVEIRA, M. M., MOINAMONTE, M. J., e LOBO-FERREIRA, J. P., 1997. *Cartografia Automática da Vulnerabilidade de Aquíferos com Base na Aplicação do Método DRASTIC*. Relatório 60/97-GIAS, LNEC, Lisboa.

- OPENSHAW, S., 1991, *Developing appropriate spatial analysis methods for GIS*. In *Geographical Information Systems: Principles and Applications*, editado por D. J. Maguire, M. F. Goodchild, D. W. Rhind (London: Longman). Vol. 1, 389-402.
- ORMSBY, T., e ALVI, J., 1999. *Extending ArcView GIS: with Network Analyst, Spatial Analyst and 3D Analyst*. (Redlands: ESRI Press).
- PAINHO, M., SENA, R., e CABRAL, P., 1999. *Metodologias de Desenvolvimento para Aplicações de Sistemas de Informação Geográfica*. [CD-Rom] Proceedings do ESIG 1999, V Encontro de Utilizadores de Sistemas de Informação (Oeiras: USIG).
- PARALTA, E. A., e FRANCÈS, A. P., 2000. Caracterização Hidrogeológica e Avaliação da Vulnerabilidade à Poluição do Complexo Gabro-Diorítico de Seroa-Brinches: Sector Oriental do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja. *Geonovas*, n.º 14, 27-35.
- PARALTA, E. A., FRANCÈS, A. P., e RIBEIRO, L. F., 2005. *Avaliação da Vulnerabilidade do Sistema Aquífero dos Gabros de Beja e Análise Crítica das Redes de Monitorização no Contexto da Directiva da Água*. 7º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa (Évora: APRH).
- PARRA, A., e LOPES, J., 1999. *Sistema de Informação de Ocorrências e Recursos Minerais Portugueses*. Proceedings do Congresso Sistemas de Informação Geográfica e Geológica de Base Regional, Beja.
- PAULO, C. V., 1999. *A Tecnologia SIG na Modelação Hidrológica Distribuída para o Estudo das Áreas de Risco de Cheia*. . [CD-Rom] Proceedings do ESIG'99 – V Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica (Oeiras: USIG).
- PEREIRA, H. G., 1992. *A Contribuição da Geoestatística para os SIG Geológico-Mineiros – Princípios, Estado de Conhecimento e Possíveis Generalizações*. Seminário Recursos Naturais e Sistemas de Informação Geográfica, Instituto Superior de Agronomia, Lisboa.
- PIJANOWSKI, B. C., HYNDMAN, D., e SHELLITO, B. A., 2001. *The Application of the Land Transformation, Groundwater Flow and Solute Transport Models for Michigan's Grand Traverse Bay Watershed*. Comunicação apresentada no National American Planning Association Meeting, New Orleans. (URL: <http://www.asu.edu/caed/proceedings01/PIJANOWS/pijanows.htm>, consulta em: 25-05-2005).
- PIMENTA, M. T., 1998a. *Caracterização da Erodibilidade dos Solos a Sul do Rio Tejo*. (URL: <http://snirh.inag.pt>, consulta em: 21-03-2004).
- PIMENTA, M. T., 1998b. *Directrizes para a Aplicação da Equação Universal da Perda de Solos em SIG*. (URL: <http://snirh.inag.pt>, consulta em: 21-03-2004).

- PINHO, P., 1994. Impactes Sociais e Económicos. In *Avaliação do Impacte Ambiental*, editado por M. R. Partidário e J. Jesus (Caparica: CEPGA), pp. **230-240**.
- PONS J. M. S., e PÉREZ, M. R., 2003. Geographic Information Systems and Intelligent Transport Systems: Technologies Used to Form New Communication Networks. *Networks and Communication Studies*, vol. **17**, n° **1-2**, 53-70.
- PORTARIA n.º 441/90. *Diário da República I Série*, **136 (15-06-1990)**, Pág. 2544.
- PUEBLA, J. G. e GOULD, M., 1994. *SIG: Sistemas de Información Geográfica*. Colección Espacios y Sociedades, Serie General n.º **2** (Madrid: Editorial Síntesis).
- RAMALHO, E. C., 1999. O “Atlas de Recursos Geotérmicos da Europa” como Impulso da Inventariação da Informação Geotérmica Existente em Portugal Continental. Proceedings do Congresso Sistemas de Informação Geográfica e Geológica de Base Regional, Beja.
- RAVENGAI, S., LOVE, D., LOVE, I., GRATWICKE, B., MANDINGAISA, O. e OWEN, R., 2005. Impact of Iron Pyrite Mine on Water Chemistry and Aquatic Life. *Water SA*, Volume **31**, 219-228.
- RECKNAGEL, F., 2001. *Ecological Informatics – Understanding Ecology by Biologically-Inspired Computation*. (Berlin: Springer Verlag).
- RESOLUÇÃO DO CONCELHO DE MINISTROS n.º 86/94. *Diário da República I-B Série*, **219 (21-09-1994)**, Pág. 5655.
- RESOLUÇÃO DO CONCELHO DE MINISTROS n.º 10/96. *Diário da República I-B Série*, **20 (24-01-1996)**, Pág. 132.
- RESOLUÇÃO DO CONCELHO DE MINISTROS n.º 93/2002. *Diário da República I-B Série*, **106 (08-05-2002)**, 4318-4338.
- RIBEIRO, N. A., DIAS, S. S., SUROVÝ, P., GONÇALVES, A. C., FERREIRA, A., e OLIVEIRA, A. C., 2004. The Importance of Crown Cover on the Sustainability of Cork Oak Stands: A Simulation Approach. In *Sustainability of Agrosilvopastoral Systems – Dehesas, Montados* editado por S. Schnabel e A. Ferreira (Reiskirchen: Catena Verlag).
- RIMBERT, S., 1995. A Cartografia e o Computador. In *Os Mapas em Portugal – Da Tradição aos Novos Rumos da Cartografia*, editado por M. H. Dias (Lisboa: Edições Cosmos), pp. 311-344.
- ROSEWELL, C. J., e EDWARDS, K., 1998. *Soilloss – A program to Assist in the Selection of Management Practices to Reduce Erosion*. Technical Handbook n.º 11. (USA: Soil Conservation Service of New South Wales).
- RUSSEL, J. B., 1994. *Química Geral*. (2ª Edição) (São Paulo: McGraw Hill)

- SAIDI, A., 2002. *The use of the GIS into the Forest Fire prediction – The Simulation Model*. Proceedings da Open Source Free Software GIS-GRASS Users Conference, Trento, Italy.
- SANTOS, H., 2001. *Identificação e Caracterização de Unidades de Paisagem com base na Análise de Clusters – Estudo de caso do Concelho de Tavira*. Trabalho de Fim de Curso, Universidade de Évora, Évora.
- SANTOS OLIVEIRA, J. M., 1997, Algumas Reflexões com Enfoque na Problemática dos Riscos Ambientais Associados à Actividade Mineira. *Estudos, Notas e Trabalhos do Instituto Geológico e Mineiro*, Tomo **39**, 3-25.
- SANTOS OLIVEIRA, J. M., FARINHA, J., MATOS, J. X., ÁVILA, P., ROSA, C., CANTO MACHADO, M. J., DANIEL, F. S., MARTINS, L., e LEITE, M. R. M., 2002. Diagnóstico Ambiental das Principais Áreas Mineiras Degradadas do País. *Boletim de Minas*, Vol. **39**, n.º **2**.
- SARMENTO, P., 1992. A Integração dos Aspectos Ambientais na Actividade da Indústria Mineira – Aplicação ao caso Somincor. *Geo-Sistemas*, **1**, 47-61.
- SEIXAS, J., 2004. *Tecnologias de Informação Geográfica 2004-2005*. (URL: http://air.dcea.fct.unl.pt/aulas/tig/trab_final.html, consulta em: 14-03-2003).
- SENDRA, J. B., 1997. *Sistemas de Información Geográfica* (2ª Edição) (Madrid: Ediciones Rialp S. A.).
- SEQUEIRA, M., 1998. *Os Sistemas de Gestão Ambiental e as Auditorias Ambientais no Âmbito das Normas ISSO 14001*. Comunicações do 1º Seminário de Auditorias Ambientais Internas. Divisão de Minas e Pedreiras do IGM, Lisboa.
- SERVIÇOS CARTOGRÁFICOS DO EXÉRCITO, 1952. [*Carta Militar de Portugal*], Escala 1:25000, 8 Cartas ([Lisboa]: IGeoE). (Folhas 519, 520, 528, 529, 530, 537, 538 e 539).
- SILVA, J. M. S., e SOUSA, L. A., 2001. *Implementação Paralela de um Algoritmo de Triangulação de Delaunay*. Relatório Técnico RT/004/2001, INESC ID, Lisboa.
- SILVA, S. L., 1982. *Cartografia – Aspectos Essenciais e sua Evolução*. Divulgação Técnica, n.º **4**. (Lisboa: Direcção-Geral das Florestas).
- SIMÃO, A. J. V., e RODRIGUES DE CARVALHO, M. M., 1999. *Aplicação de Modelos Digitais de Terreno ao Estudo Físico do Território*. [CD-Rom] Proceedings do ESIG'99 – V Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica (Oeiras: USIG).
- SNPPRCN, 1990. *Livro Vermelho dos Vertebrados*. Vol. I – Mamíferos, Aves, Répteis e Anfíbios. (Lisboa: Secretaria de Estado do Ambiente e Defesa do Consumidor).
- SROA, 1962. [*Carta Complementar de Solos de Portugal*], Escala 1:25000, 8 Cartas ([Lisboa]: IDRHa). (Folhas 519, 520, 528, 529, 530, 537, 538 e 539).

- SROA, 1970. *Carta de Solos de Portugal, Classificação e Caracterização Morfológica dos Solos*. (I Volume, 6ª Edição) (Lisboa: Ministério da Economia, Secretaria de Estado da Agricultura, Serviço de Reconhecimento e de Ordenamento Agrário).
- SROA, 1972. Carta de Capacidade de Uso do Solo, Bases e Normas adoptadas na sua elaboração. *Boletim de Solos*, n.º 12, 1-195. (Lisboa: Ministério da Economia, Secretaria de Estado da Agricultura, Serviço de Reconhecimento e de Ordenamento Agrário).
- SROA, 1973. *Carta de Solos de Portugal, Classificação e Caracterização dos Solos de Portugal – Dados Analíticos das Unidades Pedológicas*. (II Volume, 6ª Edição). Lisboa: Ministério da Economia, Secretaria de Estado da Agricultura, Serviço de Reconhecimento e de Ordenamento Agrário).
- TODD, D. K., 1959. *Hidrologia de Águas Subterrâneas*. (São Paulo: Editora Edgard Blücher).
- TOMÁS, P. M. P. P., 1992. *Estudo da Erosão Hídrica em Solos Agrícolas: Aplicação à Região Sul de Portugal*. Tese de Mestrado, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.
- TOMÁS, P. M. P. P., 1997. *Modelos de Previsão da Erosão Hídrica em Solos Agrícolas: Aplicação à Região Sul de Portugal*. Tese de Doutoramento, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa.
- TOMLIN, C. D., 1991. Cartographic Modelling. In *Geographical Information Systems: Principles and Applications*, editado por D. J. Maguire, M. F. Goodchild, D. W. Rhind (London: Longman), Vol. 1, 361-374.
- TORRES, L., 1999a. *GEOMIST – O Sistema de Informação Geológica e Mineira da Faixa Piritosa Ibérica*. Proceedings do Congresso Sistemas de Informação Geográfica e Geológica de Base Regional, Beja.
- TORRES, L., 1999b. *GEOAMB – A Informação Geológica e Geofísica ao Serviço da Protecção do Ambiente e do Ordenamento*. Proceedings do Congresso Sistemas de Informação Geográfica e Geológica de Base Regional, Beja.
- TURNER, M., 1990. Spatial and temporal analysis of landscape patterns. *Landscape Ecology*, Vol. 4, n.º 1, 21-30.
- VAN DER MERWE, C., 2003. *The Assessment of the Influence of Treated Underground Mine Water on the Benthic Fauna in a Portion of the Blesbokspruit Ramsar Site*. Magister Thesis, Faculty of Arts, Rand Afrikaans University.
- VERMEULEN, H., LOBO-FERREIRA, J. P., e OLIVEIRA, M. M., 1994. A method for estimating aquifer recharge in DRASTIC vulnerability mapping. *Proceedings of the Second*

- European Conference on Advances in Water Resources Technology and Management* (Rotterdam: European Water Resources Association) pp. 275-282.
- WYATT, P., e RALPHS, M, 2003. *GIS in Land and Property Management* (London: Spon Press).
- WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT, 1987. *Our Common Future*. World Commission for the Environment and Development, (Oxford: Oxford University Press).
- WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1987. *Groundwater Pollution Risk Assessment: A methodology Using Available Data*. World Health Organization, Pan American Health Organization.
- YEH, A. G., e LI, X., 2002. *Urban Simulation Using Neural Networks and Cellular Automata for Land Use Planning*. Proceedings do Symposium on Geospatial, Processing and Applications, Ottawa.

ANEXO 1 – CLASSIFICAÇÃO DOS SOLOS

SOLOS	CLASSIFICAÇÃO
A	Solos Incipientes - Aluviossolos Modernos, Não Calcários, de Textura Mediana
Aa	Solos Incipientes – Aluviossolos Modernos, Não Calcários, de Textura Pesada
Aac	Solos Incipientes – Aluviossolos Modernos, Calcários, (Para-Solos Calcários), de Textura Pesada
Al	Solos Incipientes – Aluviossolos Modernos, Não Calcários, de Textura Ligeira
At	Solos Incipientes – Aluviossolos Antigos, Não Calcários, de Textura Mediana
Atl	Solos Incipientes – Aluviossolos Antigos, Não Calcários, de Textura Ligeira
Bp	Barros Pretos, Não Calcários, de Dioritos ou Gabros ou outras Rochas Eruptivas ou Cristalofílicas Básicas
Bvc	Barros Castanho-Avermelhados, Calcários, Muito Descarbonatados, de Dioritos ou Gabros ou Rochas Cristalofílicas Básicas associados a Calcário Friável
Ca	Solos Hidromórficos, sem Horizonte Eluvial, Para-Aluviossolos (ou Para-Coluviossolos), de Aluviões ou Coluviais, de Textura Mediana
Caa	Solos Hidromórficos, sem Horizonte Eluvial, Para-Aluviossolos (ou Para-Coluviossolos), de Aluviões ou Coluviais, de Textura Pesada
Cb	Barros Castanho-Avermelhados, Não Calcários, de Basaltos ou Dolerito ou outras Rochas Eruptivas ou Cristalofílicas Básicas
Cbc	Barros Castanho-Avermelhados, Não Calcários, Não Descarbonatados, de Basaltos ou Doleritos ou outras Rochas Eruptivas ou Cristalofílicas Básicas associados a Calcário Friável
Cp	Barros Pretos, Calcários, Pouco Descarbonatados, de Rochas Eruptivas ou Cristalofílicas Básicas associadas a Calcário Friável, ou de Grés Argilosos, Calcários ou Margas
Cpv	Barros Castanho-Avermelhados, Calcários, Pouco Descarbonatados, de Rochas Eruptivas ou Cristalofílicas Básicas associadas a Calcário Friável, ou de Grés Argilosos, Calcários ou Margas
Ec	Solos Incipientes – Litossolos dos Climas de Regime Xérico, de Basaltos ou Doleritos ou Outras Rochas Eruptivas Básicas Afins
Ep	Solos Incipientes – Litossolos dos Climas de Regime Xérico, de Pórfiros
Ex	Solos Incipientes – Litossolos dos Climas de Regime Xérico, de Xistos ou Grauvaques
Pac	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados – Solos Mediterrâneos, Pardos de Materiais Calcários, Para-Barros, de margas ou Calcários Margosos ou de Calcários Não compactos associados com Xistos, Grés argilosos, Argilitos ou argilas ou de Grés Argilosos Calcário
Pag	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados – Solos Mediterrâneos, Pardos, de Materiais Não Calcários, Para-Solos Hidromórficos, de arenitos ou conglomerados argilosos ou argilas (de textura arenosa ou franco-arenosa)
Pagx	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados – Solos Mediterrâneos, Pardos, de Materiais Não Calcários, Para-Solos Hidromórficos, de xistos ou Grauvaques associados a rochas detríticas arenáceas
Par	Solos Litólicos, Não Húmicos Pouco Insaturados, Normais, de materiais arenáceos pouco consolidados (de textura arenosa a franco-arenosa)
Pb	Solos Hidromórficos, Sem Horizonte Eluvial, Para-Solos Argiluvitados Pouco Insaturados, de xistos ou Grauvaques ou de materiais de ambos
Pc	Solos Calcários, Pardos dos Climas de Regime Xérico, Normais, de calcários não compactos
Pct	Solos Calcários, Pardos dos Climas de Regime Xérico, Normais de arenitos grosseiros associados a depósitos calcários

Pcx	Solos Calcários, Pardos dos Climas de Regime Xérico, Normais, de xistos ou Grauvaques associados a depósitos calcários
Pcz	Solos Hidromórficos, Sem Horizonte Eluvial, Para-Barros, de margas ou calcários margosos ou arenitos calcários
Ppt	Solos Podzolizados – Podzóis, (Não Hidromórficos), Com Surraipa, com A2 incipiente, de, ou sobre arenitos
Ps	Solos Hidromórficos, Com Horizonte Eluvial, Planossolos, de arenitos ou conglomerados argilosos ou argilas
Px	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados – Solos Mediterrâneos, Pardos, de Materiais Não Calcários, Normais, de xistos ou Grauvaques
Rg	Solos Incipientes – Regossolos Psamíticos, Normais, Não húmicos
Sag	Solos Hidromórficos, Sem horizonte Eluvial, Para-Solos Argiluvitados Pouco Insaturados, de rochas detríticas argiláceas
Sb	Solos Incipientes – Solos de Baixas (Coluviosolos), Não Calcários, de textura mediana
Sba	Solos Incipientes – Solos de Baixas (Coluviosolos), Não Calcários, de textura pesada
Sbl	Solos Incipientes – Solos de Baixas (Coluviosolos), Não Calcários, de textura ligeira
Sr	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados – Solos Mediterrâneos, Vermelhos ou Amarelos, de Materiais Não Calcários, Normais, de rañas ou depósitos afins
Vc	Solos Calcários, Vermelhos dos Climas de Regime Xérico, Normais, de calcários
Vcm	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados – Solos Mediterrâneos, Vermelhos ou Amarelos, de Materiais Calcários, Para-Barros, de margas ou calcários margosos
Vct	Solos Calcários, Vermelhos dos Climas de Regime Xérico, Normais, de arenitos grosseiros associados a depósitos calcários
Vcx	Solos Calcários, Vermelhos dos Climas de Regime Xérico, Normais, de xistos ou Grauvaques associados a depósitos calcários
Vt	Litólicos, Não húmicos, Pouco Insaturados Normais, de arenitos grosseiros
Vx	Solos Argiluvitados Pouco Insaturados - Solos Mediterrâneos, Vermelhos ou Amarelos, de Materiais Não Calcários, Normais, de xistos ou Grauvaques

Tabela A.1 – Classificação dos Solos

ANEXO 2 – CONDICIONANTES PEDOLÓGICOS

SOLOS	FERTILIDADE	CALCÁRIO	ENCHARCAMENTO	SOLOS ESPECIAIS
A	V	0	0	
A(h)	V	0	0	
A(i)	V	0	0	
Aa	V	0	0	
Aa(h)	V	0	0	
Aa(i)	V	0	0	
Aac	V	0	0	
Al	IV	0	0	Al
At	III	0	0	
Atl	III	0	0	
Bp	V	0	0	Bp
Bvc	V	0	0	
Ca	IV	0	1	
Cb	IV	0	1	
Cb(d)	III	0	0	
Cbc	IV	0	1	
Cp	V	1	0	Cp
Cp(h)	V	1	0	Cp
Cpv	V	1	0	Cpv
Ec	I	0	0	
Ep	I	0	0	
Ex	I	0	0	
Pac	IV	1	0	
Pag	III	0	0	
Pag(p)	III	0	0	
Pagx	III	0	0	
Par	II	0	0	
Par(p)	II	0	0	
Pb	IV	0	1	
Pb(d)	I	0	1	
Pc	IV	1	0	
Pct	III	1	0	
Pcx(d)	II	1	0	
Pcz	III	1	1	
Ppt	II	0	0	
Ps	IV	0	1	
Px	III	0	0	
Px(d)	I	0	0	
Px(d,p)	I	0	0	
Rg	II	0	0	Rg

Sag	V	0	0	
Sb	V	0	0	
Sb(h)	V	0	0	
Sb(p)	V	0	0	
Sba	V	0	0	
Sba(h)	V	0	0	
Sbl	IV	0	0	
Sr	III	0	0	
Sr(h)	III	0	0	
Sr(p)	III	0	0	
Sr*	III	0	0	
Sr*(h)	III	0	0	
Vc	III	1	0	
Vc(d)	II	1	0	
Vcm	III	1	0	
Vct	IV	1	0	
Vcx	II	1	0	
Vcx(d)	II	1	0	
Vt	II	1	0	
Vt(p)	II	1	0	
Vx	III	0	0	
Vx(d)	I	0	0	
Vx(p)	III	0	0	

Tabela A.2 – Condicionantes Pedológicos

ANEXO 3 – CORRESPONDÊNCIA ENTRE OS AGRUPAMENTOS PEDOLÓGICOS E A VEGETAÇÃO DE REFERÊNCIA

ESTRUTURA PEDOLÓGICA	NOME	VEGETAÇÃO DE REFERÊNCIA
I000 Rg 3B22	Dunas interiores	Charnekas de ericáceas e tojos
I000 Rg 4B1	Dunas interiores	Charnekas de ericáceas e tojos
I000 Rg 4B2	Dunas interiores	Charnekas de ericáceas e tojos
I000 Rg 4B3	Dunas interiores	Charnekas de ericáceas e tojos
I000 Rg 4C1	Dunas interiores	Charnekas de ericáceas e tojos
I000 3B21	Solos esqueléticos silicícolas	Tojais e estevais
I000 3B22	Solos esqueléticos silicícolas	Tojais e estevais
I000 4A24	Solos esqueléticos silicícolas	Tojais e estevais
I000 4B1	Solos esqueléticos silicícolas	Tojais e estevais
I000 4B2	Solos esqueléticos silicícolas	Tojais e estevais
I000 4B3	Solos esqueléticos silicícolas	Tojais e estevais
I000 4C1	Solos esqueléticos silicícolas	Tojais e estevais
I000 Ars 3B22	Afloramentos rochosos silicícolas	Vegetação casmofítica silicícola
I000 Art 4B2	Afloramentos rochosos de arenitos	Vegetação casmofítica silicícola
I000 Arx 3B22	Afloramentos rochosos xistosos	Vegetação casmofítica silicícola
I000 Rgd 4B2	Dunas litorais	Geosérie das dunas litorais
I000 Rgd 4B3	Dunas litorais	Geosérie das dunas litorais
I000 Rgd 4C1	Dunas litorais	Geosérie das dunas litorais
I001 4A24	Salgados	Geosérie dos salgados
I001 4B1	Salgados	Geosérie dos salgados
I001 4B2	Salgados	Geosérie dos salgados
I001 4C1	Salgados	Geosérie dos salgados
I100 3B22	Solos esqueléticos calcícolas	Tojais e estevais
I100 4A24	Solos esqueléticos calcícolas	Tojais e estevais
I100 4B1	Solos esqueléticos calcícolas	Tojais e estevais
I100 4B2	Salgados	Geosérie dos salgados
I100 4B3	Solos esqueléticos calcícolas	Tojais e estevais
I100 4C1	Solos esqueléticos calcícolas	Tojais e estevais
I100 Arc 4A24	Afloramentos rochosos calcários	Vegetação casmofítica calcícola
I100 Arc 4B2	Afloramentos rochosos calcários	Vegetação casmofítica calcícola
I100 Arc 4B3	Afloramentos rochosos calcários	Vegetação casmofítica calcícola
I100 Arc 4C1	Afloramentos rochosos calcários	Vegetação casmofítica calcícola
I101 4A24	Salgados calcícolas	Geosérie dos salgados
I101 4B1	Salgados calcícolas	Geosérie dos salgados
II000 3B21	Carrascais e espinhais silicícolas	Asparago Rhamneto oleoides
II000 3B22	Carrascais e espinhais silicícolas	Asparago Rhamneto oleoides

II000 4A24	Sobreirais silicícolas psamofílicos	Oleo Querceto suberis/Myrto Querceto suberis
II000 4B1	Sobreirais salicícolas	Oleo Querceto suberis
II000 4B2	Sobreirais silicícolas psamofílicos	Oleo Querceto suberis/Myrto Querceto suberis
II000 4B3	Sobreirais silicícolas psamofílicos	Oleo Querceto suberis/Myrto Querceto suberis
II000 4C1	Sobreirais silicícolas psamofílicos	Oleo Querceto suberis/Myrto Querceto suberis
II100 3B21	Carrascais alcalinos	Crataego Querceto coccifera
II100 3B22	Carrascais alcalinos	Crataego Querceto coccifera
II100 4A24	Carrascais arbóreos	Querco Junipereto turbinatae
II100 4B1	Carrascais arbóreos	Melico Querceto cocciferae
II100 4B2	Carrascais arbóreos	Melico Querceto cocciferae
II100 4B3	Carrascais arbóreos	Querco Junipereto turbinatae
II100 4C1	Carrascais arbóreos	Querco Junipereto turbinatae
III000 3B21	Sobreirais silicícolas	Myrto Querceto suberis
III000 3B22	Azinhais termófilos	Myrto Querceto suberis
III000 4A24	Sobreirais silicícolas em arenitos	Myrto Querceto suberis
III000 4B1	Sobreirais silicícolas em arenitos	Asparago Querceto suberis
III000 4B2	Sobreirais silicícolas em arenitos	Myrto Querceto suberis
III000 4B3	Sobreirais silicícolas em arenitos	Myrto Querceto suberis
III000 4C1	Sobreirais silicícolas em arenitos	Myrto Querceto suberis
III100 3B22	Azinhais alcalinos	Smilaco Querceto rotundifolia
III100 4A24	Cercais alcalinos	Arisaro Querceto broteroi
III100 4B2	Azinhais alcalinos	Lonicero Querceto rotundifolia
III100 4B3	Cercais alcalinos	Arisaro Querceto broteroi
III100 4C1	Carrascais arbóreos	Querco Junipereto turbinatae
IV000 3B22	Sobreirais silicícolas	Myrto Querceto suberis
IV000 4A24	Sobreirais silicícolas	Myrto Querceto suberis
IV000 4B1	Sobreirais silicícolas	Myrto Querceto suberis
IV000 4B2	Sobreirais silicícolas	Myrto Querceto suberis
IV000 4B3	Sobreirais silicícolas	Myrto Querceto suberis
IV000 4C1	Sobreirais silicícolas	Myrto Querceto suberis
IV000 AI 3B22	Aluviões	Geosérie ripícola
IV000 AI 4A24	Aluviões	Geosérie ripícola
IV000 AI 4B1	Aluviões	Geosérie ripícola
IV000 AI 4B2	Aluviões	Geosérie ripícola
IV000 AI 4B3	Aluviões	Geosérie ripícola
IV000 AI 4C1	Aluviões	Geosérie ripícola
IV010 Sp 3B22	Turfeiras baixas	Salgueiral palustre
IV010 Sp 4B2	Turfeiras baixas	Salgueiral palustre
IV010 Spg 4B2	Turfeiras baixas	Salgueiral palustre
IV010 3B22	Formações palustres	Geosérie palustre
IV010 4A24	Formações palustres	Geosérie palustre
IV010 4B1	Formações palustres	Geosérie palustre

IV010 4B2	Formações palustres	Geosérie palustre
IV010 4C1	Formações palustres	Geosérie palustre
IV010 AI 4B2	Aluviões	Geosérie palustre
IV100 3B22	Azinhais alcalinos	Smilaco Querceto rotundifolia
IV100 4A24	Cercais alcalinos	Arisaro Querceto broteroi
IV100 4B2	Azinhais alcalinos	Lonicero Querceto rotundifolia
IV100 4B3	Cercais alcalinos	Arisaro Querceto broteroi
IV100 4C1	Azinhais alcalinos	Smilaco Querceto rotundifolia
IV100 AI 4A24	Aluviões	Geosérie ripícola
IV100 AI 4B1	Aluviões	Geosérie ripícola
IV100 AI 4B2	Aluviões	Geosérie ripícola
IV100 AI 4B3	Aluviões	Geosérie ripícola
IV100 AI 4C1	Aluviões	Geosérie ripícola
IV110 3B22	Formações palustres calcícolas	Geosérie palustre
IV110 4A24	Formações palustres calcícolas	Geosérie palustre
IV110 4B1	Formações palustres calcícolas	Geosérie palustre
IV110 4B2	Formações palustres calcícolas	Geosérie palustre
IV110 4C1	Formações palustres calcícolas	Geosérie palustre
V000 AI 3B22	Aluviões	Geosérie ripícola
V000 AI 4A24	Aluviões	Geosérie ripícola
V000 AI 4B1	Aluviões	Geosérie ripícola
V000 AI 4B2	Aluviões	Geosérie ripícola
V000 AI 4B3	Aluviões	Geosérie ripícola
V000 AI 4C1	Aluviões	Geosérie ripícola
V000 Br 3B22	Zambujal arbóreo dos Barros	Viburno Oleeto sylvestris
V000 Br 4A24	Zambujal arbóreo dos Barros	Viburno Oleeto sylvestris
V000 Br 4B2	Zambujal arbóreo dos Barros	Viburno Oleeto sylvestris
V000 Br 4B3	Zambujal arbóreo dos Barros	Viburno Oleeto sylvestris
V000 Br 4C1	Zambujal arbóreo dos Barros	Viburno Oleeto sylvestris
V100 4A24	Aluviões calcícolas	Geosérie ripícola
V100 4B2	Aluviões calcícolas	Geosérie ripícola
V100 4B3	Aluviões calcícolas	Geosérie ripícola
V100 AI 3B22	Aluviões	Geosérie ripícola
V100 AI 4A24	Aluviões	Geosérie ripícola
V100 AI 4B1	Aluviões	Geosérie ripícola
V100 AI 4B2	Aluviões	Geosérie ripícola
V100 AI 4B3	Aluviões	Geosérie ripícola
V100 AI 4C1	Aluviões	Geosérie ripícola
V100 Br 3B22	Zambujal arbóreo dos Barros	Viburno Oleeto sylvestris
V100 Br 4A24	Zambujal arbóreo dos Barros	Viburno Oleeto sylvestris
V100 Br 4B2	Zambujal arbóreo dos Barros	Viburno Oleeto sylvestris
V100 Br 4B3	Zambujal arbóreo dos Barros	Viburno Oleeto sylvestris

V100 Br 4C1	Zambujal arbóreo dos Barros	Viburno Oleeto sylvestris
-------------	-----------------------------	---------------------------

Tabela A.3 – Correspondência entre os agrupamentos pedológicos e biogeográficos, o tipo de coberto e a Vegetação de Referência

ANEXO 4 – DESCRITORES PRIMÁRIOS DE AVALIAÇÃO PARA A VEGETAÇÃO DE REFERÊNCIA

Vegetação de Referência	DE	DF	R	S	ER	N	M	R	G	P	FR	FP	FA	Cn	Co	Es
Arisaro Querceto broteroi	5	4	4	5	4	5	5	4	4	3	5	5	4	4	5	4
Asparago Querceto suberis	3	4	4	5	4	5	5	4	4	3	5	5	4	4	5	4
Asparago Rhamneto oleoides	4	4	3	5	3	5	4	4	3	2	4	4	5	3	4	3
Charnecas de ericaceas e tojos	2	2	2	5	2	5	2	3	3	1	3	2	2	2	2	2
Crataego Querceto coccifera	3	3	4	5	3	5	3	3	3	2	4	4	5	3	4	3
Geosérie de dunas litorais	3	3	4	5	4	5	3	5	4	1	3	2	2	3	3	5
Geosérie dos salgados	2	3	4	5	3	5	4	4	3	1	2	5	5	4	3	5
Geosérie palustre	4	4	5	5	4	5	4	4	4	4	4	4	5	2	3	5
Geosérie ripícola	4	4	4	5	3	5	4	3	3	5	5	4	4	5	4	4
Lonicero Querceto rotundifolia	5	4	4	5	4	5	5	4	4	3	5	5	4	4	5	4
Melico Querceto cocciferae	4	4	3	5	3	5	4	4	3	2	4	4	5	3	4	3
Myrto Querceto suberis	5	4	4	5	4	5	5	4	4	3	5	5	4	4	5	4
Oleo Querceto suberis	5	4	4	5	4	5	5	5	5	2	5	5	4	4	5	4
Oleo Querceto suberis/ Myrto Querceto	5	4	4	5	4	5	5	4	4	2	5	5	4	4	5	4
Quercus Junipereto turbinatae	4	4	3	5	3	5	4	4	3	2	4	4	5	3	4	3
Salgueiral palustre	4	5	5	5	5	5	5	5	5	4	5	5	4	2	3	5
Smilaco Querceto rotundifolia	5	4	4	5	4	5	5	4	4	4	5	5	4	4	5	4
Tojais e estevais	3	3	3	5	3	5	3	2	2	1	3	3	3	2	3	2
Vegetação casmofítica calcícola	3	4	4	5	4	5	3	5	4	1	4	3	3	3	3	4
Vegetação casmofítica silícola	3	4	4	5	4	5	3	5	4	1	4	3	3	3	3	4
Viburno Oleeto sylvestris	3	4	5	5	4	5	3	4	5	5	3	5	4	4	5	4

DE – Diversidade estrutural das formações vegetais, DF – Diversidade florística das formações vegetais, R – Raridade da associação vegetal, S – Significado da formação vegetal, ER – Existência de espécies raras na formação vegetal, N – Naturalidade da formação vegetal, M – Maturidade da formação vegetal, R – Resiliência da formação vegetal, G – Grau de ameaça da fitocenose, P – Produtividade, FR – Funcionalidade da formação vegetal como habitat de refúgio, FP – Funcionalidade da formação vegetal como habitat de reprodução, FA – Funcionalidade da formação vegetal como habitat de alimentação, CO – Significado da formação vegetal como complemento de outras formações, CN – Significado da formação vegetal para a continuidade funcional, ES – Estatuto de classificação da formação vegetal.

Tabela A.4 – Descritores Primários de Avaliação para a Vegetação de Referência

ANEXO 5 – DESCRITORES PRIMÁRIOS DE AVALIAÇÃO PARA O USO ACTUAL DO SOLO

Uso do Solo	DE	DF	R	S	ER	N	M	R	G	P	FR	FP	FA	CN	CO	ES
Áreas sem Vegetação	1	1	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2
Arrozais	1	2	1	1	4	2	1	1	2	3	2	2	3	4	3	2
Azinheira + Sequeiro Esparso	2	3	2	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3
Azinheira + Sobreiro Denso	5	4	4	4	4	5	5	5	4	4	4	4	4	5	5	4
Azinheira + Sobreiro Esparso	3	3	3	3	3	4	4	4	3	4	3	3	4	4	4	3
Azinheira Denso	5	4	4	5	4	5	5	5	4	5	4	4	4	5	5	4
Azinheira Esparso	3	3	3	4	3	4	4	4	3	4	3	3	4	4	4	3
Eucalipto + Sobreiro Denso	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2
Eucalipto Denso	2	1	1	1	1	1	2	2	1	3	1	1	1	1	1	1
Hortas	1	2	1	2	1	1	1	2	1	3	1	1	3	2	1	1
Infraestruturas	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
Matos	2	3	3	4	3	4	3	3	3	1	4	4	4	3	4	2
Olival	2	3	2	1	2	2	2	3	2	3	2	2	3	2	2	5
Olival + Pomar	2	1	1	1	2	2	2	2	2	3	2	2	3	3	2	2
Olival Misto	2	2	2	1	2	2	2	3	2	3	2	2	3	3	3	2
Outros Espaços Urbanos Descontínuo	2	2	2	2	2	1	2	1	1	0	2	1	2	1	1	1
Pastagens Naturais Pobres	1	2	1	1	1	4	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1
PB Denso	3	3	3	2	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	3	3
Pedreiras	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	2	2	1
Planos de Água	2	3	3	5	3	3	3	3	2	0	2	3	3	3	3	3
Pomares	2	2	2	1	2	2	2	3	2	3	3	2	3	2	2	2
Regadio	1	2	2	2	2	2	1	2	1	3	1	1	2	2	2	1
Regadio + Olival	2	2	1	1	2	2	2	2	2	3	2	2	3	2	2	2
Regadio + Pomar	2	2	1	1	2	1	2	1	1	3	2	2	3	2	2	2
Rochas Nuas	2	3	4	1	4	4	4	4	5	0	3	3	3	3	4	5
Sequeiro	1	2	2	2	3	2	1	2	2	3	2	2	3	2	2	1
Sequeiro + Olival	2	2	2	1	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2
Sequeiro + Pomar	2	2	1	1	2	2	2	2	2	3	2	3	2	2	2	2
Sequeiro + Sobreiro	2	3	2	3	3	3	2	2	2	4	3	3	3	3	3	3
Sobreiro + Azinheira Denso	4	4	4	4	4	5	5	5	4	4	4	4	4	5	5	4
Sobreiro + Azinheira Esparso	3	3	3	3	3	4	4	4	3	4	3	3	4	4	4	3
Sobreiro + PB Denso	3	3	2	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Sobreiro Denso	5	5	4	5	4	5	5	5	4	4	4	4	4	5	5	4
Sobreiro Esparso	3	3	3	4	3	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	3
Tecido Urbano Contínuo	2	1	1	1	1	1	1	1	1	0	2	1	2	1	1	1
Tecido Urbano Descontínuo	2	2	2	1	2	1	1	1	1	0	2	1	2	1	1	1
Vegetação Arbustiva	3	3	3	5	3	4	4	3	4	1	4	4	4	4	4	3
Vinha	2	1	1	1	1	1	2	2	1	3	1	1	2	2	1	1
Zona Verde Urbana	3	3	2	3	2	2	2	2	2	0	3	3	3	3	3	3

DE – Diversidade estrutural das formações vegetais, DF – Diversidade florística das formações vegetais, R – Raridade da associação vegetal, S – Significado da formação vegetal, ER – Existência de espécies raras na formação vegetal, N – Naturalidade da formação vegetal, M – Maturidade da formação vegetal, R – Resiliência da formação vegetal, G – Grau de ameaça da fitocenose, P – Produtividade, FR – Funcionalidade da formação vegetal como habitat de refúgio, FP – Funcionalidade da formação vegetal como habitat de reprodução, FA – Funcionalidade da formação vegetal como habitat de alimentação, CO – Significado da formação vegetal como complemento de outras formações, CN – Significado da formação vegetal para a continuidade funcional, ES – Estatuto de classificação da formação vegetal.

Tabela A.5 – Descritores Primários de Avaliação para o Uso Actual do Solo

ANEXO 6 – HEMEROBIA

Grau de Hemerobia	Grau de Naturalidade	Características	Subsolo/Relevo	Linhas de Água/Qualidade da água	Solo	Uso e Vegetação (exemplos)	Ações antropogênicas directas caracterizadoras	% de Espécies não locais
Ahemeróbico	natural	Não influenciada por acções humanas directas ou indirectas. Normalmente habitats extremos de difícil acesso	Nenhuma influência. Morfodinâmica recente natural	Nenhuma influência antropogénica. Regatos naturais	Nenhuma influência	- Falésias e penhascos - Vegetação de fendas e penhascos de alta montanha. A vegetação real corresponde à vegetação original.	Nenhuma	0%
Oligohemeróbico	próximo do natural	Fraca influência cultural e humana com eventuais acções mais intensas localizadas esporádicas. Zonas há muito recuperadas ou deixadas à natureza.	O subsolo pode estar alterado localmente, dominando a morfodinâmica natural recente	Possível poluição de fraca intensidade. Braços abandonados intactos. Ribeiros, Salgados.	Alteração insignificante do reservatório de nutrientes	- Florestas naturais com subbosque e estrato arbóreo intacto. - Paais intactos ou ligeiramente densados - Junciais e caniçais. - Zonas de sedimentação, margens próximas do natural. - Dunas. Vegetação real não corresponde na totalidade à vegetação original	Nenhuma ou fraca exploração silvícola Eventualmente alguma drenagem Nenhuma adubação, algum pastoreio	5%
Mesohemeróbico	semi-natural	Influência cultural moderada, uso normalmente extensivo, eventualmente acções mais intensas de forma localizada e esporádica	Frequentes alterações ligeiras do relevo	Água ligeiramente eutrofizada ou ligeiramente poluída, ligeiras intervenções de regularização e canalização	Alterações ligeiras das reservas de nutrientes e água e atmosfera do solo	- Florestas de espécies locais com alguma exploração silvícola - Baldios com vegetação arbustiva (estados pioneiros de floresta, bosques) - Antigas pedreiras e escombrelas - Esteveis - Pousios - Prados com uso extensivo e com matas - Leitos de cheia não perturbados	Exploração e desmatamento regular Uso anterior suspenso Pastoreio ocasional Ceifa ocasional sem adubação	5 - 12 %
B-Euhemeróbico	condicionadamente afastado do natural	Influência cultural moderada a forte, uso extensivo e localizadamente intensivo	Frequentes alterações ligeiras do relevo, surtidas, erosão do solo de origem antrópica	Água medianamente eutrofizada ou poluída. Linhas de água relativamente regularizadas e canalizadas	Alterações da oferta de nutrientes (por adubação, calagem, etc.) e da água e atmosfera do solo	- Florestas de exploração de espécies não locais - Prados de uso intensivo - Pomares com sequeiro associado - Linhas de água sem vegetação	Cortes raso s frequentes Ceifas frequentes adubação Uso moderado intenso	
a-Euhemeróbico	afastado do natural	forte influência cultural, uso intensivo	Alterações médias a fortes do relevo por aplanamento e lavas, erosão do solo antropogénica	Água fortemente eutrofizada ou poluída. Linhas de água regularizadas e canalizadas	Aumento da oferta de nutrientes por adubação, alteração da água e atmosfera do solo por drenagem e compactação ligeira	- Agricultura de sequeiro - Pomares, hortas - Vinhas - Urbanização dispersa - Áreas desportivas, parques - Tanques de aquacultura intensiva	Lava e adubação frequente, uso de pesticidas, drenagem e rega Alteração intensa ou destruição da vegetação original, pastoreio, ceifa, adubação Uso intensivo	13 - 20 %
Polihemeróbico	próximo do artificial	Forte influência cultural com uso intensivo permanente e generalizado. Alteração permanente das condições originais, destruição e criação de habitats em curtos prazos	Fortes alterações por aterros e escavação. Rugosidade artificial devida a valas, edifícios, diques de estradas, etc. Erosão de origem antrópica	Água muito poluída. Linhas de água completamente construídas e canalizadas (muitas vezes transformadas em condutas de esgoto)	Alteração de todas as características do solo, solos artificiais por incorporação de materiais. Compactação em profundidade	- Construções da periferia urbana (incluindo jardins e pátios), construções em linha abertas com zonas verdes limitadas - Áreas industriais pouco densas, entrepostos de caminho de ferro, ETARs, etc. - Parques de cemitério, zonas de recreio, hortas urbanas - Aterros sanitários, escombrelas - Pedreiras, areeiros, etc.	Alteração generalizada e destruição da vegetação original, uso de pesticidas Pastoreio constante, eutrofização, cobertura com materiais estanhos	21 - 80 %
Metahemeróbico	artificial	Influência cultural intensa e monóptica, alteração total das condições originais. Os seres vivos tendem para a destruição e o desaparecimento.	Alteração artificial e generalizada do relevo por aterros e desaterros com construções cobrindo a totalidade da superfície. Nenhuma erosão antropogénica	Canalizações artificiais urbanas, impedimento da infiltração	Compactação do solo	- Construção fechada dos centros urbanos (altas densidades de ocupação) - Áreas industriais densas	Destruição generalizada e permanente da vegetação original	

Tabela A.6 – Hemerobia

ANEXO 7 – RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

Nº ORDEM	M (m)	P (m)	LOCAL	TIPO DE CAPTAÇÃO	PROFUNDIDADE	Q (L/H)
538/33	190400	95250	Coito - Messejana	Furo	110	s/d
538/34	190470	95250	Coito - Messejana	Furo	90	s/d
538/28	190620	94180	Vale Rosa	Furo	100	s/d
538/27	190240	94260	Vale Rosa	Furo	100	s/d
538/30	191000	96000	Pavilhão de Messejana	Furo	50	s/d
538/36	185470	93520	Aldeia do Elvas	Furo	80	s/d
539/33	201000	96000	Herdade da Minhota	Furo	70	s/d
539/34	201100	96200	Herdade da Minhota	Furo	60	s/d
538/37	196000	99000	Manteira	Furo	30	s/d
538/38	196300	99020	Manteira	Furo	80	s/d
529/47	197360	101120	Posto da GNR	Furo	60	s/d
529/19	197540	101160	Piscinas	Furo	80	s/d
529/49	198800	101740	Malha Ferro	Furo	100	s/d
529/49	195440	109000	S. João de Negrilhos	Furo	128	s/d
529/50	199120	109700	S. João de Negrilhos	Furo	122	s/d
529/51	192720	103500	Rio de Moinhos	Furo	116	s/d
519/65	187580	119200	Barranco de Canhestros	Furo	63	30000
519/70	187820	119160	Barranco de Canhestros	Furo	50	s/d
519/67	187100	119160	Canhestros	Furo	67	5000
508/46	191600	124680	Vale do Curral	Furo	80	9000
508/45	191500	124560	Vale do Curral	Furo	78	9000
509/236	203300	121850	Palmeira	Furo	50	24000
497/20	198200	132700	Odivelas	Poço	20	15000
509/239	206950	127500	Alto do Pilar	Furo	30	3000
509/240	206860	127420	Alto do Pilar	Furo	25	4000
509/235	207600	123950	Zona Seria	Furo	45	8000
519/71	195680	116570	Monte Arroteia	Furo	152	4200
545/29	153700	82800	Garatuja	Furo	101	3000
545/13	153600	83300	Monte da Boavista	Furo	101	3600
545/30	153880	82350	Caniveta	Poço	31	7200
545/14	155500	81850	Cova da Zorra	Furo	92	6500
545/16	153600	86400	Ferraria	Furo	56	2500
545/15	157100	85260	Lameiros	Furo	50	3000
552/7	151760	77000	Troviscais	Furo	70	2700
553/11	154200	78750	Castelão	Furo	70	3600
553/14	153460	79000	Castelão	Furo	120	14000
544/6	150640	80320	Vale Bejinha	Furo	98	5000
554/16	176950	74720	Águas Frias	Poço	34	s/d
554/21	176870	76870	Conqueiros	Furo	70	9000
554/22	176000	75950	S. Martinho	Furo	47	2500
554/23	176100	76150	S. Martinho	Furo	62	400

554/13	175800	75820	S. Martinho	Furo	56	300
554/24	176420	75550	S. Martinho	Furo	80	600
554/25	177000	74700	S. Martinho	Furo	110	800
554/26	178500	78500	Aldeia das Amoreiras	Furo	100	10000
554/27	178130	78260	Aldeia das Amoreiras	Furo	70	9000
554/8	178900	78000	Aldeia das Amoreiras	Furo	100	200
546/41	175000	80320	Amoreiras Gare	Furo	98	25000
546/31	175000	80380	Amoreiras Gare	Furo	32	3600
546/16	174820	80500	Amoreiras Gare	Furo	62	1800
568/4	147250	57050	Vale Juncal	Furo	70	1500
568/10	144900	52470	S. Miguel	Furo	80	12000
568/11	144900	52470	S. Miguel	Furo	80	1500
568/12	141500	55700	Azenha do Mar	Furo	80	s/d
546/42	177360	87310	Vale-Alconde	Poço	31	2700
546/19	175490	87400	Bairro Social	Furo	86	15000
546/30	475280	87070	Balneários Públicos	Furo	80	2000
546/28	175100	87940	Parreiras	Furo	54	1500
546/32	175750	87780	Monte Pinheiro	Furo	47	5400
537/17	175250	99150	Fornalhas Velhas	Furo	5	3000
537/18	174180	98100	Fornalhas Velhas	Furo	80	1200
537/19	175680	99250	Fornalhas Velhas	Furo	100	1000
537/20	174400	98900	Fornalhas Velhas	Furo	120	800
537/21	174900	99100	Fornalhas Velhas	Furo	68	500
537/200	175300	99150	Fornalhas Velhas	Furo	62	s/d
552/14	141700	76590	S. Salvador	Poço	74	s/d
553/13	163200	70040	S. Salvador	Furo	70	2000
544/22	149350	86140	Caldeirão	Furo	70	3600
544/23	149600	86650	Caldeirão	Dreno	41	2000
544/24	149420	86420	Caldeirão	Poço	12	5000
544/25	149700	86800	Caldeirão	Poço	8	9000
544/26	149850	86950	Caldeirão	Poço	11	10000
544/13	144440	86450	Brunheiras	Furo	80	s/d
544/12	145380	86180	Foros do Galeado	Furo	74	s/d
561/20	161100	61400	Portela da Fonte Santa	Furo	65	s/d
561/21	160900	61640	Portela da Fonte Santa	Furo	62	4000
562/10	176300	65500	Cortes Pereira	Furo	75	s/d
562/11	175020	65130	Cortes Pereira	Furo	60	1800
562/12	175870	64700	Cortes Pereira	Furo	100	2000
536/24	166980	95000	Bicos	Furo	77	2100
536/23	166630	94230	Bicos	Furo	98	10000
537/11	173300	97950	Fornalhas Novas	Furo	80	1300
536/25	165710	97760	Foros da Caiada	Furo	92	6500
536/26	165160	93260	Foros dos Vales	Furo	58	s/d
536/27	164320	93430	Foros dos Vales	Furo	68	s/d

546/21	169190	86070	Vimieiro	Poço	40	s/d
546/22	171040	85400	Colos	Furo	50	14400
546/18	171840	85400	Marujo	Furo	68	8000
536/47	161950	90280	Campos Redondo	Furo	55	s/d
536/48	162200	90400	Campos Redondo	Furo	78	7200
545/48	166880	85330	Vale Rodrigo	Furo	98	5800
545/19	162350	87810	Ribeira Seisaal Cima	Furo	60	s/d
545/22	162060	89250	Ribeira Seisaal Baixo	Furo	60	s/d
545/24	165910	89020	Barranco do Bebedouro	Furo	82	2000
545/25	167510	87590	Barranco do Cai Logo	Furo	50	8000
562/13	168390	69700	Luziares Gare	Furo	104	3000
562/14	168570	69380	Luziares Gare	Poço	20	s/d
554/28	169100	70040	Luziares Gare	Furo	66	400
554/29	169160	70300	Luziares Gare	Furo	100	300
562/15	169000	69920	Luziares Gare	Furo	80	400
562/17	168130	69100	Luziares Gare	Furo	100	s/d
546/23	169750	81500	Barreirinho	Poço	21	s/d
546/24	170470	81650	Carrascos	Furo	50	3600
546/17	170770	82050	Portelinha	Furo	120	5000
546/26	169400	82200	Mal Jogado	Poço	115	7500
546/27	169350	81850	Relíquias	Furo	114	2600
545/26	161400	82700	Relíquias	Furo	89	8000
545/49	163150	80070	Vale Ferro	Furo	40	6000
545/27	162190	82320	Juncalinho	Furo	72	5000
545/50	167580	81390	Corgo de Água	Furo	56	2000
553/7	160250	79080	Cabaços	Furo	82	2000
545/51	161580	81730	Vale de Água	Furo	76	2500
545/28	163750	80930	Ribeira Salto	Furo	82	5600
554/11	169510	78850	Pereiro Grande	Furo	70	5000
537/14	178800	96580	Torre Vã	Furo	90	3000
537/15	180300	93200	S. Romão	Poço	5	1300
547/32	184645	88209	Panoias	Furo	100	3000
555/71	191700	75138	Mureta	Furo	105	3000
555/67	192200	74775	Horta Velha	Furo	100	5000
555/65	191710	77125	Ravasca	Furo	72	2000
555/66	191713	77100	Ravasca	Furo	86	2000
555/64	191488	76625	Ravasca	Furo	52	5700
555/65	191350	76830	Ravasca	Furo	100	4000
555/66	192263	76450	Rossio	Furo	72	3000
555/67	192658	77250	Brochas	Furo	50	5000
555/76	189426	71025	Aldeia de Palheiros	Furo	70	3000
555/77	189480	70980	Aldeia de Palheiros	Furo	80	1000
555/78	189340	71100	Aldeia de Palheiros	Furo	70	3000
546/37	181200	82580	Garvão	Furo	109	10000

546/36	181120	82500	Garvão	Furo	62	5000
546/40	180760	82280	Garvão	Furo	70	6000
571/17	185040	59280	Santana da Serra	Furo	109	4000
555/80	194300	70140	S. Braz	Poço	6	2500
555/79	189700	70000	Monte Guerreiros	Furo	80	2500
555/81	192300	70600	Aldeia Nova da Favela	Furo	75	4000
555/82	195820	71840	Monte da Estrada	Furo	70	2000
546/38	176040	84840	Santa Luzia	Furo	70	5000
546/39	175900	85340	Santa Luzia	Furo	70	5000
548/26	210540	89250	Entradas	Furo	92	4000
548/27	210600	89100	Entradas	Furo	120	3600
549/42	216840	82000	S. M. Ataboeira	Poço	26	s/d
556/32	211560	73100	Beringelinho	Furo	98	s/d
556/33	213380	74500	Santa Bárbara	Furo	65	s/d
556/35	214880	75120	Montinhos	Furo	29	s/d
556/36	215900	72260	Sete	Furo	92	s/d
556/27	215700	72000	Sete	Furo	120	s/d
556/25	215300	72100	Sete	Furo	92	s/d
556/38	215400	72080	Sete	Poço	22	s/d
556/39	213540	71140	Lombador	Furo	57	s/d
556/40	213380	71280	Lombador	Poço	22	s/d
564/39	213580	67080	Neves	Furo	72	s/d
556/41	210900	76440	Namorados	Furo	68	s/d
556/42	211000	76300	Namorados	Furo	120	s/d
556/44	207860	77900	Sem termo	Furo	85	s/d
548/31	207420	80500	Geraldos	Furo	75	s/d
548/32	207260	80540	Geraldos	Furo	112	s/d
557/43	216180	76300	Viseus	Furo	80	s/d
557/44	216280	76400	Viseus	Furo	95	s/d
557/45	216300	76100	Viseus	Furo	100	s/d
557/46	216320	76480	Viseus	Poço	20	s/d
557/47	220840	74460	Figueirinha	Furo	75	s/d
555/84	198000	76400	Piçarras	Furo	89	s/d
547/36	192240	87640	Tribeira dos Aivados	Furo	20	s/d
547/37	192940	87000	Aivados	Furo	65	s/d
547/38	192240	87620	Aivados	Poço	19	7000
547/39	195680	88300	Casével	Poço	25	s/d
547/40	198780	85400	Almeirim	Furo	70	s/d
548/34	201040	82880	Estrada C. Verde	Furo	99	s/d
548/35	201160	82780	Estrada C. Verde	Furo	89	s/d
548/36	201920	82440	Estrada C. Verde	Poço	30	10000
548/37	202820	82950	Estrada C. Verde	Poço	24	3000
521/172	220200	114500	Meia Légua	Poço	31	80000
521/173	220090	114195	Meia Légua	Poço	30	48000
521/269	219050	116300	Barranco do Curral	Furo	25	7500
521/270	218260	116440	Represas	Furo	27	15000
521/271	218350	115800	Represas	Furo	25	15000

521/272	218560	116680	Represas	Furo	27	15000
521/273	219540	117140	Lobeira	Furo	38	60000
521/274	219760	117160	Lobeira de Baixo	Furo	30	21000
521/275	220060	117220	Lobeira de Baixo	Furo	33	20000
521/38	220220	117360	Lobeira da Horta	Furo	35	14000
521/170	220970	117265	Lobeiras	Poço	60	s/d
521/171	221590	117230	Lobeiras	Poço	31	60000
521/277	221700	116200	Terras Frias	Furo	35	23000
521/155	221340	116190	Terras Frias	Poço	20	100000
521/279	222520	115990	Terras Frias	Furo	33	s/d
521/280	220500	116690	Lobeira do Meio	Furo	46	14000
510/41	225320	127940	Ribeira de Odearce	Poço	32	7500
510/42	216720	122630	S. Brissos	Furo	34	10500
509/23	213180	120160	Monte Boiões	Poço	30	14000
520/6	208330	117680	Mombeja	Poço	30	14000
532/145	234560	100200	Gaiolas	Poço	7	s/d
522/68	236160	110760	Quintos	Furo	73	5000

Tabela A.7 – Recursos Hídricos Subterrâneos na Área de Estudo e Áreas Adjacentes

ANEXO 8 – DADOS CLIMATOLÓGICOS

Temperatura do Ar								Mês
Médias das Temperaturas (° C)						T (° C)		
....6.... h	12.... h	18.... h	Mensal	MMáx	MMin	Max	Min	
7.0	11.0	11.1	9.5	13.6	<u>5.4</u>	20.4	- 3.6	Janeiro
7.5	12.2	12.5	10.2	14.6	5.7	23.4	<u>- 5.5</u>	Fevereiro
7.8	14.1	14.4	11.8	16.8	6.7	27.5	- 2.8	Março
8.8	16.8	17.2	13.8	19.7	8.0	30.5	0.5	Abril
11.1	20.7	21.5	17.1	24.0	10.3	36.7	2.3	Maio
13.9	24.4	25.8	20.7	28.3	13.0	40.7	6.2	Junho
15.6	27.8	30.2	23.6	<u>32.3</u>	14.9	<u>42.7</u>	8.8	Julho
15.8	27.8	30.1	<u>23.8</u>	<u>32.3</u>	15.2	41.4	9.0	Agosto
15.5	25.0	26.2	21.8	29.0	14.7	40.3	6.4	Setembro
13.1	20.1	19.9	17.6	23.1	12.2	35.0	3.2	Outubro
9.2	14.7	13.9	12.8	17.4	8.2	27.9	- 0.5	Novembro
7.0	11.3	10.9	9.9	14.1	5.7	21.2	- 4.9	Dezembro
11.1	19.0	19.6	16.1	22.1	10.0	42.7	- 5.5	1. <u>MÉDIAS</u>

Tabela A.8.1 – Valores de temperatura medidos na Estação Climatológica de Beja no período, compreendido entre 1951-1980 (INSTITUTO DE METEOROLOGIA E GEOFÍSICA, 1991)

Humidade relativa do ar Ū (σ _g)			1.1 NEBULOSIDADE Ñ (0 – 10)			1.2 INSOLAÇÃO I		Precipitação R (mm)		Evaporação (mm)	Mês
...6...h	...12...h	...18...h	...6...h	...12...h	...18...h	Total (h)	Percent. (%)	Total	Max. (dia)		
93	82	81	4	5	5	145.8	<u>49</u>	83.2	55.0	<u>51.2</u>	Janeiro
93	78	76	4	6	5	152.9	51	83.0	44.6	61.5	Fevereiro
92	70	68	4	6	5	183.3	50	80.2	51.5	87.2	Março
91	61	59	4	5	5	235.5	60	49.9	44.2	118.4	Abril
91	54	52	4	4	4	291.2	67	35.0	40.6	170.3	Maio
90	49	45	3	3	3	310.0	71	26.2	<u>90.0</u>	208.6	Junho
87	41	35	2	1	1	367.9	<u>83</u>	<u>1.2</u>	5.2	287.9	Julho
84	41	34	2	2	2	345.1	<u>83</u>	2.5	12.8	<u>300.0</u>	Agosto
86	49	44	3	3	3	252.6	68	18.8	39.7	217.7	Setembro
88	62	60	3	4	4	202.6	59	67.0	63.0	137.1	Outubro
90	72	74	3	5	4	160.9	54	73.7	56.0	78.3	Novembro
92	79	80	4	5	5	147.7	51	85.9	55.2	56.6	Dezembro
90	61	59	3	4	4	2795.5	62	605.6	90.0	1774.8	1.2.1.1 MÉDIAS

Tabela A.8.2 – Valores de humidade relativa do ar, nebulosidade, insolação, precipitação e evaporação medidos na Estação Climatológica de Beja, no período compreendido entre 1951-1980 (INSTITUTO DE METEOROLOGIA E GEOFÍSICA, 1991)

Precipitação R (mm)		Número de dias		Mês
Total	Máxima diária	R ≤ 0.1 mm	R ≥ 10.0 mm	
85.4	70.2	9	3	Janeiro
80.5	55.6	9	3	Fevereiro
78.8	55.2	8	3	Março
47.6	40.1	5	2	Abril
34.0	29.6	4	1	Mai
17.7	57.5	2	1	Junho
5.4	81.5	0 ⁽¹⁾	0 ⁽¹⁾	Julho
1.2	10.0	0 ⁽¹⁾	0	Agosto
18.5	60.0	2	1	Setembro
64.1	71.6	6	2	Outubro
73.6	45.3	8	3	Novembro
87.1	60.0	8	3	Dezembro
593.9	81.5	61	22	Ano

⁽¹⁾ Média superior a 0 e inferior a 0.5

Tabela A.8.3 – Valores de precipitação medidos na Estação Udométrica de Aljustrel, no período compreendido entre 1951-1980 (INSTITUTO DE METEOROLOGIA E GEOFÍSICA, 1991)

Local	XX	YY	Precipitação Máxima	Média da Temperatura Máxima Diária
Aljustrel	195474,65	100175,84	593,9	s/d
Almodôvar	204294,31	61327,94	608,8	s/d
Alvalade	176435,6	109458,31	556,6	22,7
Amareleja	280155,04	139420,76	525,6	22,3
Beja	223292,42	116857,56	605,6	22,1
Beja/Soeiro	215970,75	118689,97	670,4	s/d
Castro Verde	204278,98	90926,03	563,6	s/d
Cercal do Alentejo	151433,19	92918,09	807,5	s/d
Cuba	220323,62	133499,95	546	s/d
Ferreira do Alentejo	199874,75	122374,37	527,2	s/d
Mértola	241067,69	74377,64	511,8	22,2
Monchique	162937,92	39211,12	1342,5	19
Odemira	139527,51	70796,58	634,5	s/d
Roxo/Barragem	204270,32	107575,55	543,9	s/d
Santa Vitória	210126,8	111280,65	577,3	s/d
Santiago do Cacém	150111,78	116976,68	719,4	19,7
Zambujeira	145342,06	59656,47	614,2	19,7

Tabela A.8.4 – Precipitação Máxima Anual e Médias das Temperaturas Máximas Diárias (INSTITUTO DE METEOROLOGIA E GEOFÍSICA, 1991)

M/E	Alj	Alm	Alv	Ama	Bej	Soe	CVe	Cer	Cub	Fer	Mer	Mon	Ode	Rox	SVi	SCa	Zam
Jan	85,4	87,7	82,0	75,1	83,2	93,1	80,2	124,0	74,3	73,8	59,2	205,6	92,2	86,2	80,3	126,0	92,9
Fev	80,5	86,6	78,4	70,2	83,0	45,7	78,7	113,7	78,6	70,0	58,2	207,1	82,6	87,1	79,6	96,9	93,2
Mar	78,8	78,4	71,0	75,5	80,2	97,0	74,7	103,1	69,2	62,6	56,5	179,4	87,7	53,2	76,3	100,1	67,8
Abr	47,6	44,1	40,7	47,5	48,9	52,0	48,1	60,7	45,2	41,1	33,6	105,7	46,4	49,2	54,1	45,7	46,5
Mai	34,0	40,8	29,2	37,2	35,0	32,1	32,6	46,2	31,4	35,0	27,9	71,8	37,3	37,3	34,7	43,7	38,2
Jun	17,7	15,0	15,6	29,3	26,2	19,4	18,0	19,8	19,9	21,7	14,7	8,1	13,2	19,1	21,4	17,4	18,5
Jul	5,4	2,1	1,8	1,7	1,2	1,3	1,1	2,4	1,2	1,4	2,1	1,4	1,2	2,4	1,6	1,9	3,4

Ago	1,2	2,7	2,0	1,6	2,5	2,9	1,8	4,2	1,6	3,1	1,1	6,9	3,3	3,8	2,8	3,4	2,2
Set	18,5	14,4	20,4	20,3	18,8	20,5	17,3	19,0	17,4	19,1	11,3	37,3	20,2	14,4	16,4	20,0	17,2
Out	64,1	70,0	61,2	68,4	67,0	75,7	62,0	86,2	65,3	57,8	63,2	141,9	77,9	69,1	64,7	70,7	79,2
Nov	73,6	75,1	72,1	66,0	73,7	86,1	66,5	103,9	71,1	67,2	61,9	160,3	81,4	58,2	71,3	102,5	79,6
Dez	87,1	91,9	82,2	75,6	85,9	104,6	82,6	124,3	70,8	74,4	66,9	197,0	91,1	63,9	83,1	107,3	75,5

Tabela A.8.5 – Precipitações Mensais Totais (INSTITUTO DE METEOROLOGIA E GEOFÍSICA, 1991)

ANEXO 9 – MATERIAL DO AQUÍFERO

MATERIAL DO AQUÍFERO	A
Aluviões	8
Areias, arenitos e cascalheiras	8
Conglomerados	6
Dunas	8
Filão dolerítico do Alentejo e outras rochas básicas	9
Filitos e quartzitos	4
Formação de Barranco do Homem: filitos e grauvaques	4
Formação de Esbarrondadoiro	2
Formação de Vale do Guiso	6
Formação Filito-Quartzítica: filitos, siltitos e quartzitos	4
Terraços, Areias e Cascalheiras	8
Turbiditos	6
Vulcanitos básicos	6
Xistos, siltitos, tufitos e jaspes	2

Tabela A.9 – Parâmetro relativo ao Material do Aquífero

ANEXO 10 – CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS

S	Ar (%)	Li (%)	AG (%)	MO (%)	T	DR AS TIC	CAD	Dr	EP	pH	Pd	Pe	E	FK SI	FK
A	14,5	63,8	21,7	4,27	Limosa	5	Solos com Capacidade de Água de Rega	Boa	130	6,4	P1	3	2	0,039	0,38
Aa	35,2	39,4	25,4	1,94	Franco-Argilo-Limosa	3	Solos com Capacidade de Água de Rega	Boa	90	7,8	P1	4	2	0,025	0,24
Aa c	24,7	59,4	15,9	1,52	Franco-Limosa	3	Solos com Capacidade de Água de Rega	Boa	90	7,8	P1	4	2	0,045	0,44
Al	4,8	28,9	66,3	1,59	Franco-Arenosa	9	Solos com Capacidade de Água de Rega	Boa	107	5,2	P3	1	2	0,017	0,17
At	18,0	53,1	28,9	2,60	Franco-Limosa	5	Elevada	Boa	90	6,0	P2	2	2	0,033	0,33
Atl	6,1	15,7	78,2	1,64	Franco-Arenosa	9	Elevada	Boa	80	8,1	P3	1	2	0,005	0,05
Bp	35,7	37,9	26,4	1,24	Argilo-Limosa	7	Elevada	Boa	65	6,7	P1	4	4	0,033	0,33
Bv c	53,9	33,7	12,4	1,19	Argilo-Limosa	7	Elevada	Boa	80	7,1	P1	5	4	0,028	0,28
Ca	28,6	56,6	14,8	2,52	Franco-Argilo-Limosa	3	Elevada	Pobre	140	8,0	P1	4	3	0,039	0,39
Cb	20,7	35,4	43,9	0,93	Franco-Limosa	7	Elevada	Boa	85	7,3	P1	2	4	0,031	0,31
Cb c	29,4	53,2	17,4	2,93	Franco-Argilo-Limosa	7	Elevada	Boa	70	8,2	P1	4	4	0,042	0,41
Cp	49,6	36,1	14,3	1,60	Argilo-Limosa	7	Elevada	Boa	140	7,8	P1	5	4	0,030	0,30
Cp v	35,7	58,4	5,9	1,02	Franco-Argilo-Limosa	7	Elevada	Boa	145	7,9	P1	5	4	0,051	0,50
Ec	21,7	64,0	14,3	1,72	Franco-Limosa	10	Muito baixa	Pobre Inundações frequentes	10	8,0	P4	4	3	0,055	0,53
Ep	12,1	66,2	21,7	0,96	Franca	10	Muito baixa	Pobre Inundações frequentes	10	5,4	P4	2	3	0,029	0,28
Ex	25,6	39,2	35,2	1,39	Franco-Limosa	10	Baixa	Pobre Inundações frequentes	10	6,0	P4	3	3	0,030	0,30
Pa c	24,8	38,8	36,4	0,70	Franco-Limosa	5	Elevada	Boa	115	6,6	P1	3	3	0,032	0,31
Pa g	13,6	29,2	57,2	0,76	Limosa	3	Elevada	Pobre	100	5,9	P3	2	2	0,020	0,20
Pa gx	9,2	51,2	39,6	2,58	Limosa	3	Mediana	Pobre	70	6,7	P3	2	2	0,038	0,38
Par	10,9	42,5	46,6	0,68	Franco-Limosa	6	Mediana	Moderada	125	5,7	P3	2	1	0,030	0,29
Pb	33,5	50,3	16,2	1,86	Franco-Argilo-Limosa	3	Mediana	Pobre Inundações 1-5 anos	55	6,9	P3	4	4	0,041	0,40
Pc	17,1	57,5	25,4	1,41	Franco-Limosa	5	Elevada	Boa	60	8,4	P1	2	2	0,042	0,42

Pct	16,4	65,1	18,5	0,78	Franco-Limosa	6	Mediana	Boa	50	8,4	P2	2	2	0,053	0,52
Pc x	35,3	37,8	26,9	0,34	Franco-Argilo-Limosa	5	Mediana	Pobre	50	8,0	P3	4	2	0,029	0,28
Pc z	18,1	38,0	43,9	1,44	Franco-Limosa	7	Elevada	Pobre	110	8,0	P2	2	2	0,027	0,26
Ppt	7,2	35,6	57,2	1,06	Franco-Limosa	9	Mediana	Boa	75	5,2	P3	1	1	0,020	0,20
Ps	14,4	36,7	48,9	1,32	Franco-Limosa	3	Mediana	Pobre - Inundações 1-5 anos	120	6,0	P3	2	2	0,025	0,25
Px	16,7	54,7	28,6	6,37	Franco-Limosa	5	Mediana	Boa	60	6,2	P3	3	2	0,023	0,23
Rg	1,1	5,9	93,0	1,37	Arenosa	10	Muito baixa	Pobre - Inundações frequentes	120	6,1	P3	1	3	0,002	0,06
Sa g	12,0	38,7	49,3	1,52	Franco-Limosa	1	Mediana	Pobre - Inundações 1-5 anos	110	6,1	P3	2	3	0,032	0,31
Sb	15,7	52,5	31,8	2,90	Franco-Limosa	5	Elevada	Boa	75	5,5	P1	3	2	0,036	0,35
Sb a	15,7	52,5	31,8	2,90	Franco-Limosa	3	Elevada	Boa	100	5,8	P1	3	2	0,036	0,35
Sbl	15,7	52,5	31,8	2,90	Franco-Limosa	9	Mediana	Boa	110	5,8	P3	3	2	0,036	0,35
Sr	9,2	49,2	41,6	3,20	Limosa	10	Mediana	Boa	165	5,9	P2	1	2	0,029	0,28
Sr*	9,2	49,2	41,6	3,20	Limosa	10	Mediana	Boa				1	2	0,029	0,28
Vc	23,0	48,6	28,4	1,72	Franco-Limosa	5	Mediana	Boa	60	7,8	P2	3	2	0,036	0,35
Vc m	26,7	28,6	44,7	1,60	Franco-Argilosa	7	Mediana	Boa	60	6,2	P2	3	2	0,020	0,19
Vct	2,3	52,9	44,8	0,60	Limosa	6	Mediana	Boa	40	7,6	P2	1	2	0,050	0,49
Vc x	49,0	40,6	10,4	2,00	Argilo-Limosa	3	Mediana	Boa	65	7,5	P2	5	2	0,025	0,25
Vt	5,5	45,8	48,7	0,86	Franco-Limosa	9	Mediana	Boa	95	5,4	P3	1	1	0,034	0,34
Vx	27,1	52,1	20,8	0,90	Franco-Limosa	1	Mediana	Boa	50	5,8	P2	4	2	0,040	0,39

Tabela A.10 – Características dos Solos

ANEXO 11 – INFLUÊNCIA DA ZONA VADOSA

Litologia	Influência da Zona Vadosa
Aluviões	6
Areias, calhaus rolados, arenitos pouco consolidados, argilas	6
Arenitos, calcários mais ou menos margosos, areias, cascalheiras, argilas	6
Cascalheiras de planalto, arcoses da Beira Baixa, arenitos, calcários	6
Doleritos	9
Metavulcanitos	9
Xistos argilosos, grauvaques, arenitos	3
Xistos, quartzitos, anfíbolitos	3

Tabela A.11 – Influência da Zona Vadosa

ANEXO 12 – FACTOR DE ERODIBILIDADE ASSOCIADO À OCUPAÇÃO DO SOLO

Usos do Solo	Erodibilidade
Áreas sem Vegetação	0,40
Arrozais	0,05
Azinhreira + Sequeiro Esparso	0,20
Azinhreira + Sobreiro Denso	0,05
Azinhreira + Sobreiro Esparso	0,10
Azinhreira Denso	0,05
Azinhreira Esparso	0,10
Eucalipto + Sobreiro Denso	0,10
Eucalipto Denso	0,20
Hortas	0,10
Infraestruturas	0,01
Matos	0,02
Olival	0,10
Olival + Pomar	0,10
Olival Misto	0,10
Outros Espaços Urbanos Descontínuo	0,01
Pastagens Naturais Pobres	0,05
PB Denso	0,05
Pedreiras	0,50
Planos de Água	0,00
Pomares	0,10
Regadio	0,20
Regadio + Olival	0,15
Regadio + Pomar	0,15
Rochas Nuas	0,01
Sequeiro	0,40
Sequeiro + Olival	0,20
Sequeiro + Pomar	0,20
Sequeiro + Sobreiro	0,20
Sobreiro + Azinhreira Denso	0,10
Sobreiro + Azinhreira Esparso	0,20
Sobreiro + PB Denso	0,05
Sobreiro Denso	0,05
Sobreiro Esparso	0,10
Tecido Urbano Contínuo	0,01
Tecido Urbano Descontínuo	0,01
Vegetação Arbustiva	0,02

Vinha	0,20
Zona Verde Urbana	0,01

Tabela A.12 – Factor de Erodibilidade associado ao Uso do Solo

**ANEXO 13 – CORRESPONDÊNCIA ENTRE A LEGENDA DE USO DO SOLO ADOPTADA
E OS CÓDIGOS DA COS'90**

Usos do Solo	Códigos COS
Pomares	A05
Pomares	AA1
Pomares	AA2
Pomares	AA3
Pomares	AA4
Pomares	AA5
Pomares	AA9
Pomares	Aax
Pomares	AAX
Pomares + sequeiro	AC1
Pomares + sequeiro	AC3
Pomares + sequeiro	AC5
Pomares + sequeiro	ACx
Pomares + sequeiro	ACX
Pomares + olival	AO1
Pomares + olival	AO3
Pomares + olival	AO5
Pomares + olival	AO6
Pomares + olival	AOX
Pomares + vinha	AV1
Pomares + vinha	AV3
Pomares + vinha	AV5
Pomares + vinha	AVX
Sobreiro esparso	BB0
Sobreiro esparso	BB1
Sobreiro denso	BB2
Sobreiro denso	BB3
Sobreiro + sequeiro	BC1
Sobreiro + regadio	BC2
Sobreiro + eucalipto esparso	BE1
Sobreiro + eucalipto denso	BE2
Sobreiro + eucalipto denso	BE3
Sobreiro + folhosas esparso	BF1
Sobreiro + folhosas denso	BF2
Sobreiro + folhosas denso	BF3
Zona verde urbana	BF5
Zona verde urbana	FF5
Zona verde urbana	FM5
Zona verde urbana	FP5
Zona verde urbana	FR5
Zona verde urbana	MM5
Zona verde urbana	PP5

Zona verde urbana	RF5
Zona verde urbana	SL1
Zona verde urbana	SL5
Sobreiro + PM esparso	BM0
Sobreiro + PM esparso	BM1
Sobreiro + PM denso	BM2
Sobreiro + PM denso	BM3
Sobreiro + PB esparso	BP0
Sobreiro + PB esparso	BP1
Sobreiro + PB denso	BP2
Sobreiro + PB denso	BP3
Sobreiro + carvalhal esparso	BQ1
Sobreiro + carvalhal denso	BQ2
Sobreiro + carvalhal denso	BQ3
Sobreiro + azinheira esparso	BZ0
Sobreiro + azinheira esparso	BZ1
Sobreiro + azinheira denso	BZ2
Sobreiro + azinheira denso	BZ3
Sequeiro + olival	C01
Sequeiro + olival	CO1
Sequeiro + pomar	CA1
Regadio + pomar	CA2
Sequeiro + sobreiro	CB0
Sequeiro + sobreiro	CBO
Sequeiro	CC1
Regadio	CC2
Arrozais	CC3
Estufas	CC9
Sequeiro + eucalipto	CE3
Sequeiro + folhosas	CF0
Sequeiro + folhosas	CF1
Sequeiro + folhosas	CN0
Sequeiro + veg. natural	CI1
Regadio + veg. natural	CI2
Sequeiro + PM	CM0
Sequeiro + PM	CM1
Regadio + olival	CO2
Sequeiro + PB	CP0
Sequeiro + carvalho	CQ0
Sequeiro + vinha	CV1
Regadio + vinha	CV2
Hortas	CX1
Sequeiro + azinheira	CZ0
Vegetação arbustiva	DA1
Vegetação arbustiva	DD!
Vegetação arbustiva	DD9
Vegetação arbustiva	DE3
Vegetação arbustiva	IB0

Vegetação arbustiva	IBO
Vegetação arbustiva	IE0
Vegetação arbustiva	IF0
Vegetação arbustiva	IM0
Vegetação arbustiva	IP0
Vegetação arbustiva	IPO
Vegetação arbustiva	IQ0
Vegetação arbustiva	IR0
Vegetação arbustiva	IZ0
Eucalipto + sobreiro esparso	EB1
Eucalipto + sobreiro denso	EB3
Eucalipto esparso	EC2
Eucalipto esparso	EE1
Eucalipto denso	EE2
Eucalipto denso	EE3
Fogo	EE4
Fogo	FF4
Fogo	MB4
Fogo	MM4
Fogo	PB4
Fogo	PP4
Fogo	ZB4
Eucalipto + folhosas esparso	EF1
Eucalipto + folhosas denso	EF2
Eucalipto + folhosas denso	EF3
Eucalipto + PM denso	EM2
Eucalipto + PM denso	EM3
Eucalipto + PB denso	EP2
Eucalipto + PB denso	EP3
Eucalipto + azinheira	EZ3
Folhosas + sobreiro denso	FB2
Folhosas + sobreiro denso	FB3
Folhosas + sequeiro	FC1
Folhosas esparso	FF0
Folhosas esparso	FF1
Folhosas denso	FF2
Folhosas denso	FF3
Carrascal	FF6
Folhosas + PM	FM2
Folhosas + PM	FM3
Folhosas + PB	FP0
Folhosas + PB	FP2
Folhosas + PB	FP3
Folhosas + carvalho	FQ3
Folhosas + resinosas esparso	FR1
Folhosas + resinosas denso	FR2
Folhosas + resinosas denso	FR3
Prados	GG1

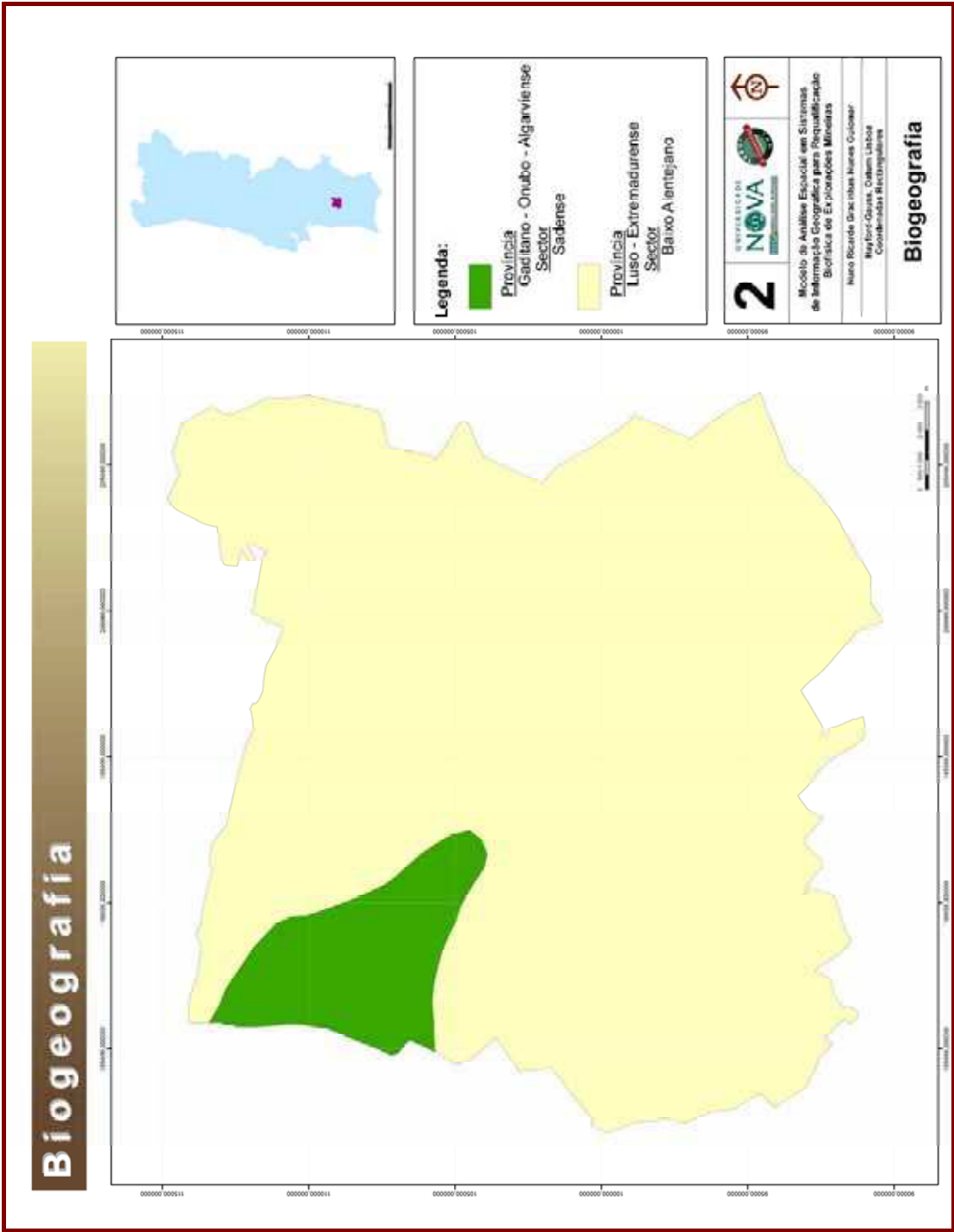
Cursos de água	HH1
Lagos e albufeiras	HH3
Lagunas e cordões litorais	HH2
Pauís	HY1
Sapais	HY2
Salinas	HY3
Zona intertidal	HY4
Pastagens naturais pobres	II1
Matos	II2
Olival degradado	IO0
Olival degradado	IO1
Áreas sem vegetação	JB0
Áreas sem vegetação	JF0
Pedreiras	JJ1
Lixeiras	JJ2
Outras áreas degradadas	JJ9
Praias	JY1
Rochas nuas	JY2
PM + sobreiro esparso	MB0
PM + sobreiro esparso	MB1
PM + sobreiro denso	MB2
PM + sobreiro denso	MB3
PM + sequeiro	MC1
PM + eucalipto denso	ME2
PM + eucalipto denso	ME3
PM + folhosas esparso	MF0
PM + folhosas esparso	MF1
PM + folhosas denso	MF2
PM + folhosas denso	MF3
PM esparso	MM0
PM esparso	MM1
PM denso	MM2
PM denso	MM3
PM + olival	MO3
PM + PB esparso	MP1
PM + PB denso	MP2
PM + PB denso	MP3
PM + PB denso	MR3
PM + azinheira denso	MZ2
PM + azinheira denso	MZ3
Olival + pomar	OA1
Olival misto	OB1
Olival misto	OC1
Olival misto	OF1
Olival misto	OM1
Olival misto	OP1
Olival misto	OZ1
Olival	OO1

Olival + vinha	OV1
PB + sobreiro esparso	PB0
PB + sobreiro esparso	PB1
PB + sobreiro denso	PB2
PB + sobreiro denso	PB3
PB + eucalipto esparso	PE1
PB + eucalipto denso	PE2
PB + eucalipto denso	PE3
PB + folhosas esparso	PF0
PB + folhosas esparso	PF1
PB + folhosas denso	PF2
PB + folhosas denso	PF3
PB + PM esparso	PM1
PB + PM denso	PM2
PB + PM denso	PM3
PB esparso	PP0
PB esparso	PP1
PB denso	PP2
PB denso	PP3
PB + carvalho denso	PQ2
PB + resinosas denso	PR2
PB + resinosas denso	PR3
PB + azinheira denso	PZ3
Carvalho + sobreiro denso	QB2
Carvalho + sobreiro denso	QB3
Carvalho + arbustivas	QD6
Carvalho + folhosas denso	QF3
Carvalho denso	QQ2
Carvalho denso	QQ3
Carvalho + carrascal	QQ6
Resinosas esparso	RF0
Resinosas denso	RF2
Resinosas denso	RF3
Resinosas denso	RP3
Resinosas denso	RR2
Resinosas denso	RR3
Espaços desportivos	SL1
Infraestruturas	SW1
Infraestruturas	SW2
Infraestruturas	SW3
Infraestruturas	SW4
Infraestruturas	SW9
Tecido urbano contínuo	UU1
Tecido urbano descontínuo	UU2
Outros espaços urbanos descontínuos	UU9
Vinha + pomar	VA1
Vinha + pomar	VAX
Vinha + sequeiro	VC1

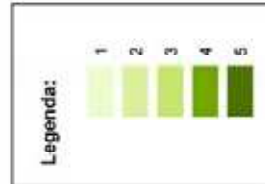
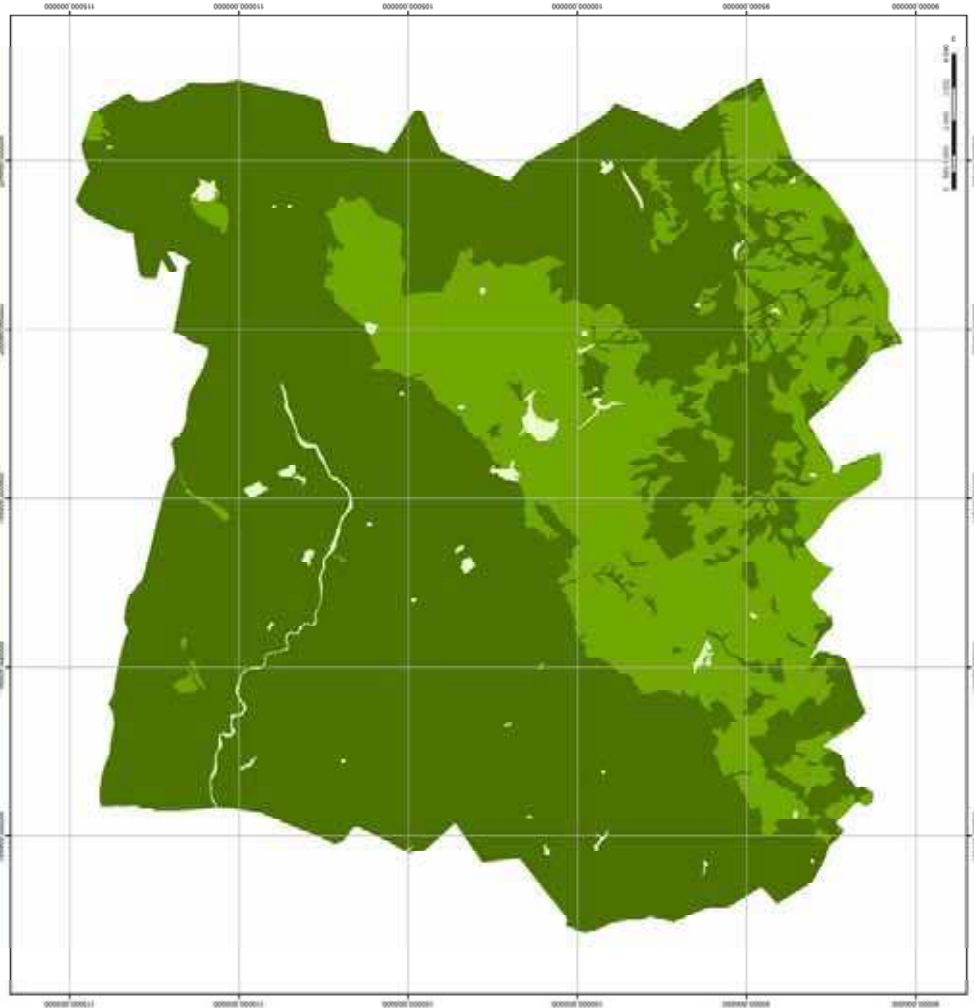
Vinha + olival	VO1
Vinha	VV1
Azinheira + sobreiro esparso	ZB0
Azinheira + sobreiro esparso	ZB1
Azinheira + sobreiro denso	ZB2
Azinheira + sobreiro denso	ZB3
Azinheira + sequeiro esparso	ZC1
Azinheira + folhosas esparso	ZF0
Azinheira + folhosas denso	ZF2
Azinheira + folhosas denso	ZF3
Azinheira + PM esparso	ZM1
Azinheira + PM denso	ZM2
Azinheira + PM denso	ZM3
Azinheira + PB denso	ZP3
Azinheira esparso	ZZ0
Azinheira esparso	ZZ1
Azinheira denso	ZZ2
Azinheira denso	ZZ3

Tabela A.13 – Correspondência entre a Legenda adoptada do Uso do Solo e a COS'90

ANEXO 14 - ANEXOS CARTOGRÁFICOS



VFE - Vegetação de Referência



5

Universidade Nova de Lisboa

Faculdade de Ciências

Departamento de Geografia

Geografia Física

Modelo de Análise Espacial em Sistemas de Informação Geográfica para Reconhecimento Ecológico de Exploração Mineiras

Nuno Ricardo Gonçalves Nunes Galvão

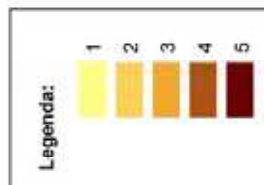
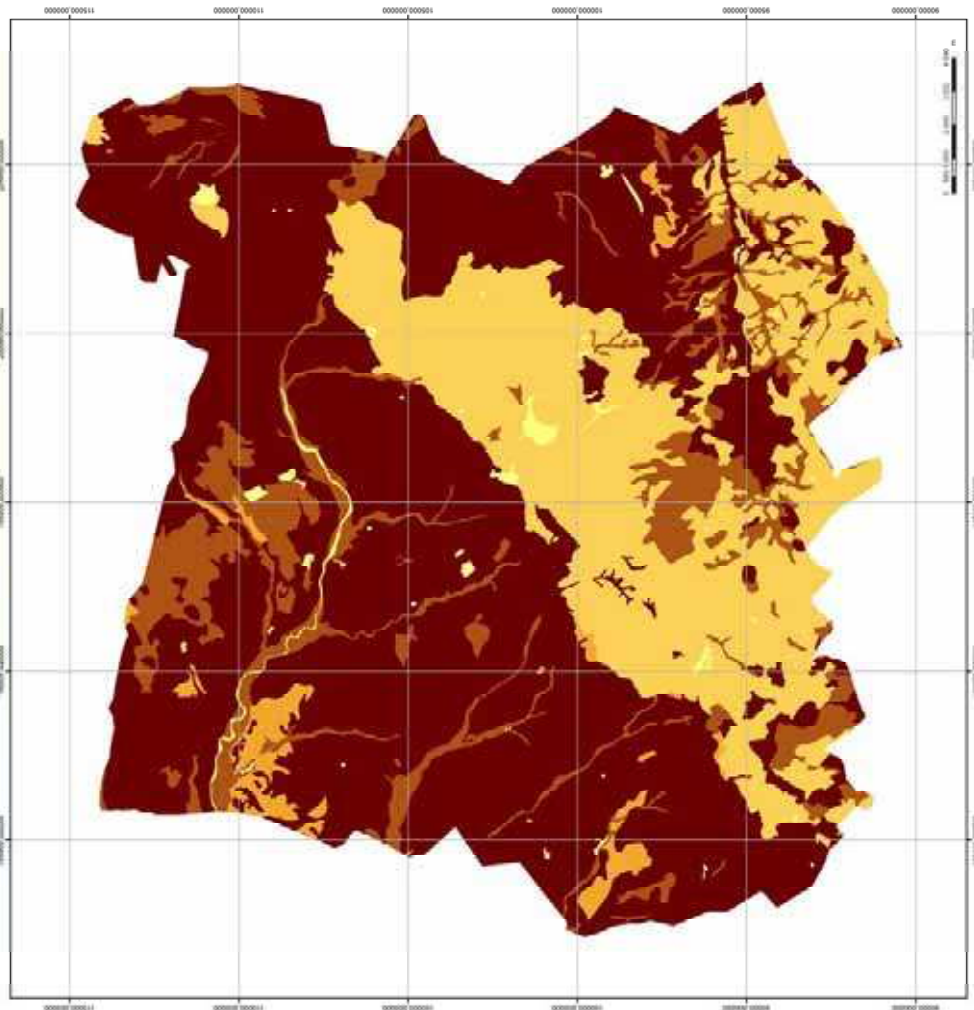
Harford Soares, Duarte Lisboa

Coordenadores Acadêmicos

VFE

Vegetação de Referência

VPN - Vegetação de Referência



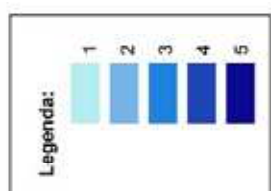
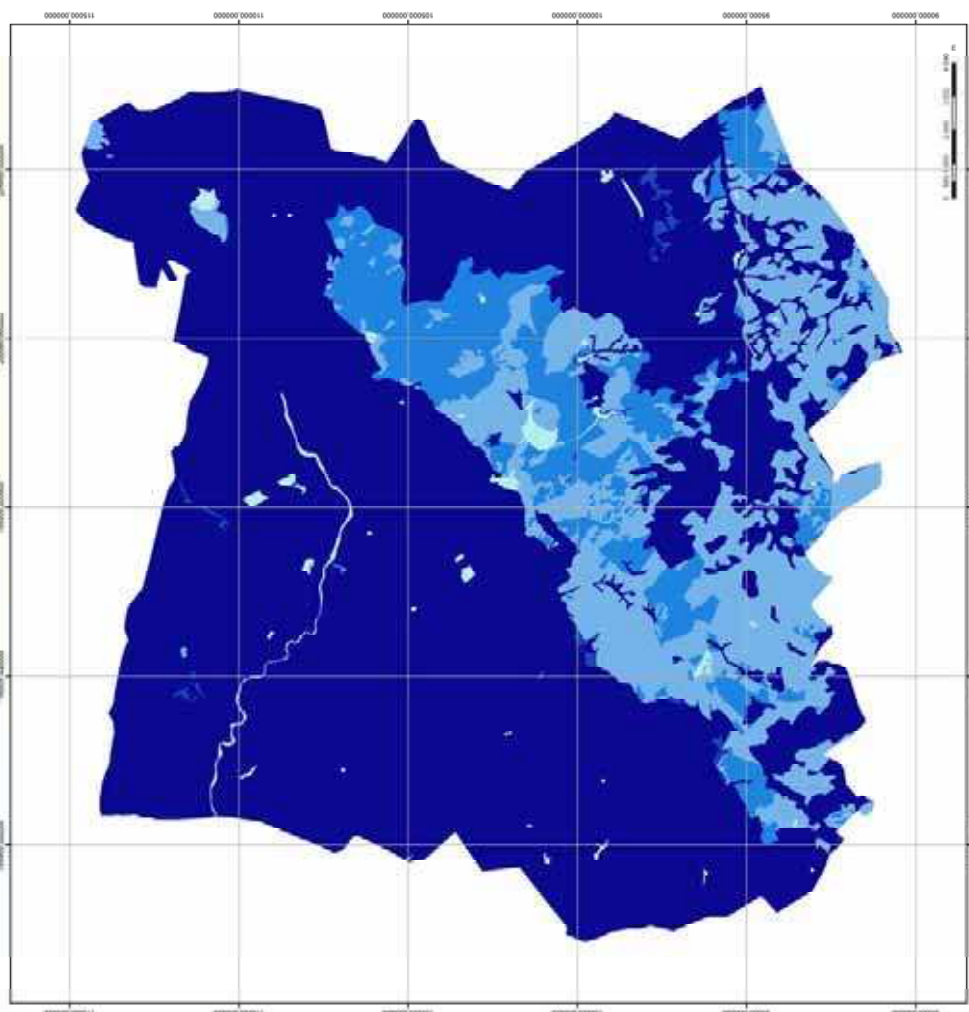
6

Modelo de Análise Espacial em Sistemas de Informação Geográfica para Recuperação Ecológica de Explorações Minerais

Nuno Ricardo Graça Nunes, Nuno Duarte
 Nuno Ricardo Graça Nunes, Carlos Lisboa
 Coordenadores Científicos

VPN
Vegetação de Referência

VCN - Vegetação de Referência



7
UNIVERSIDADE NOVA

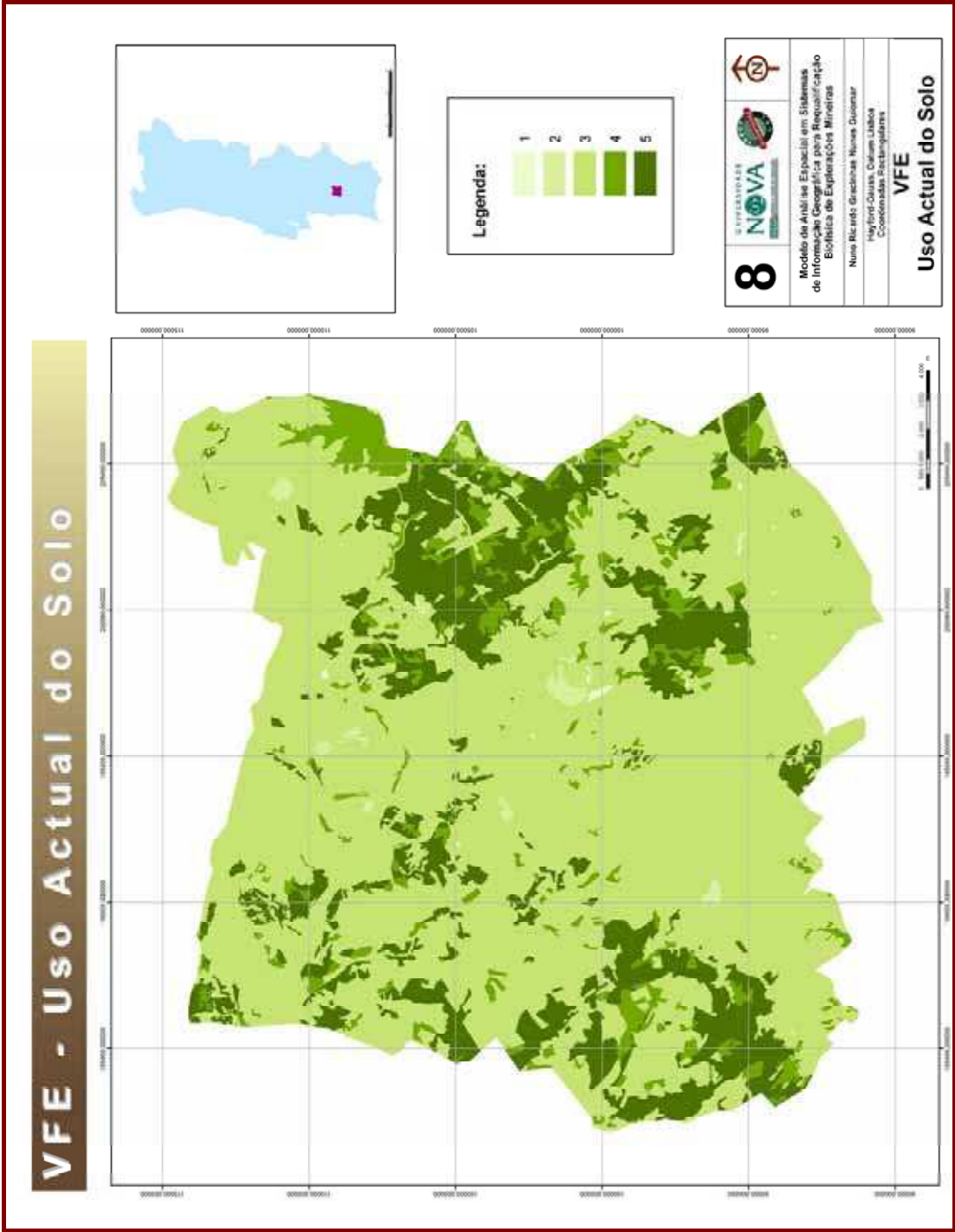
Modulo de Análise Espacial em Sistemas de Informação Geográfica para Reconhecimento Ecológico de Exploração Mineira

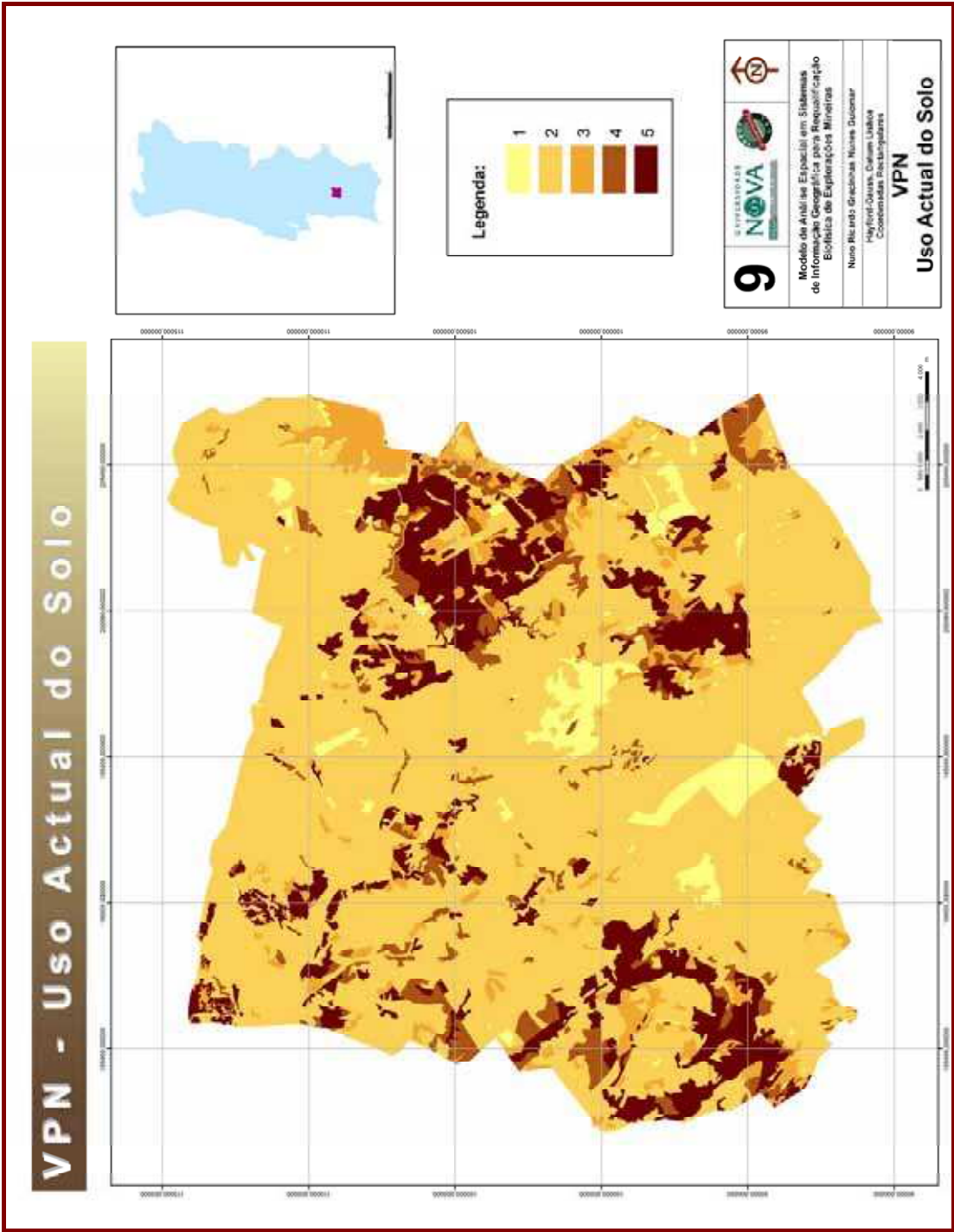
Nuno Ricardo Gonçalves Nunes Duque

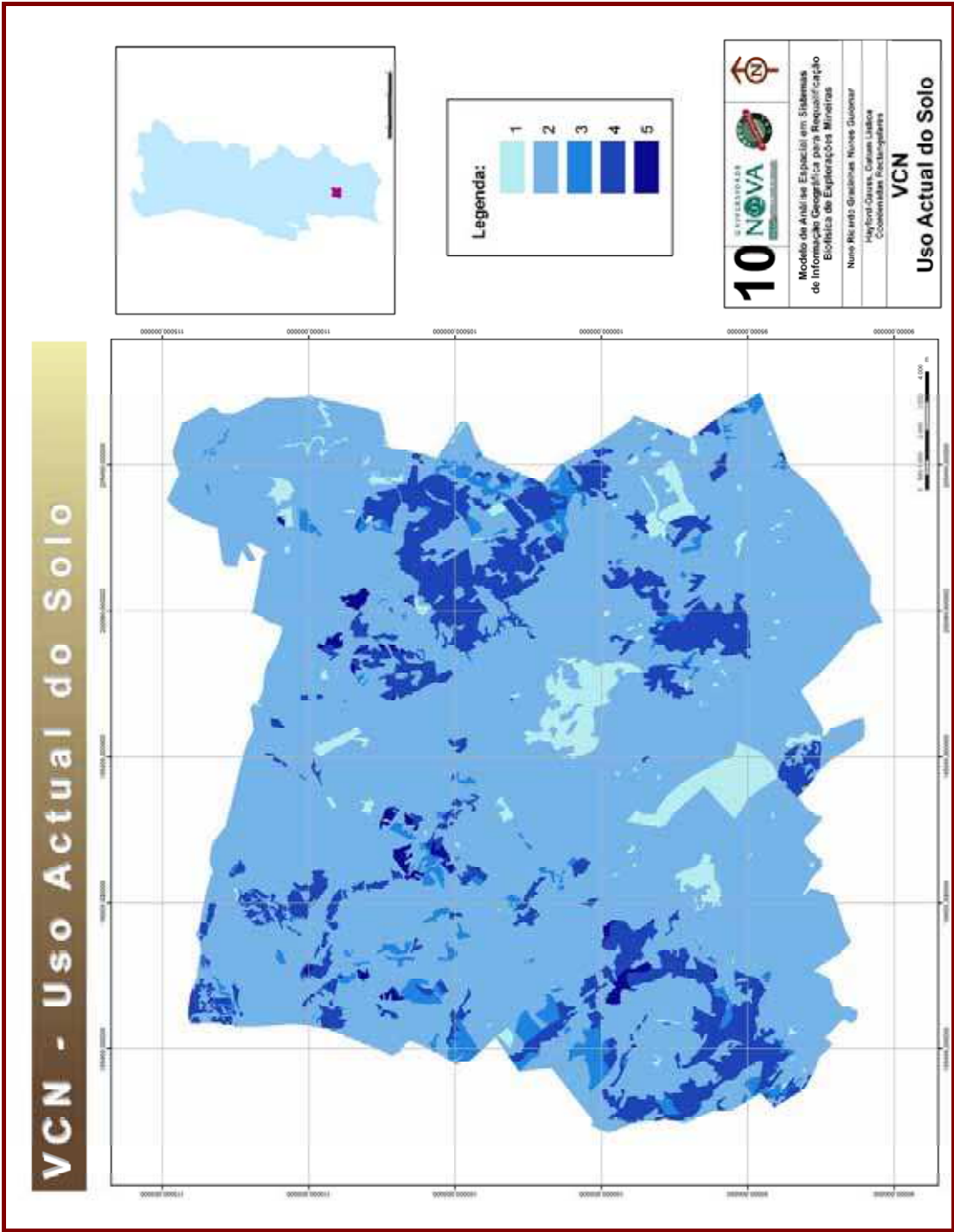
Higford Soares, Carlos Lúcio, Condições Rectangulares

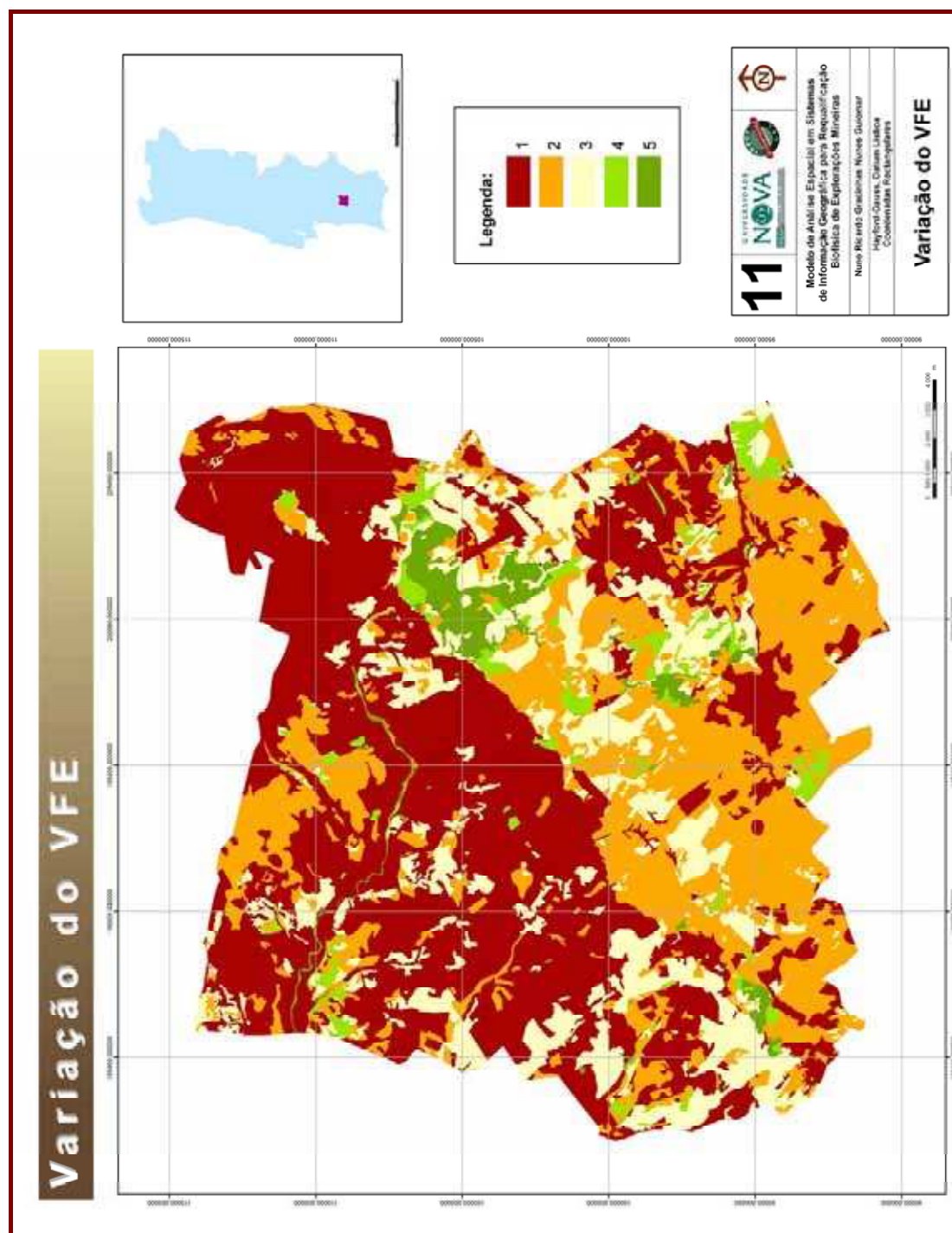
VCN

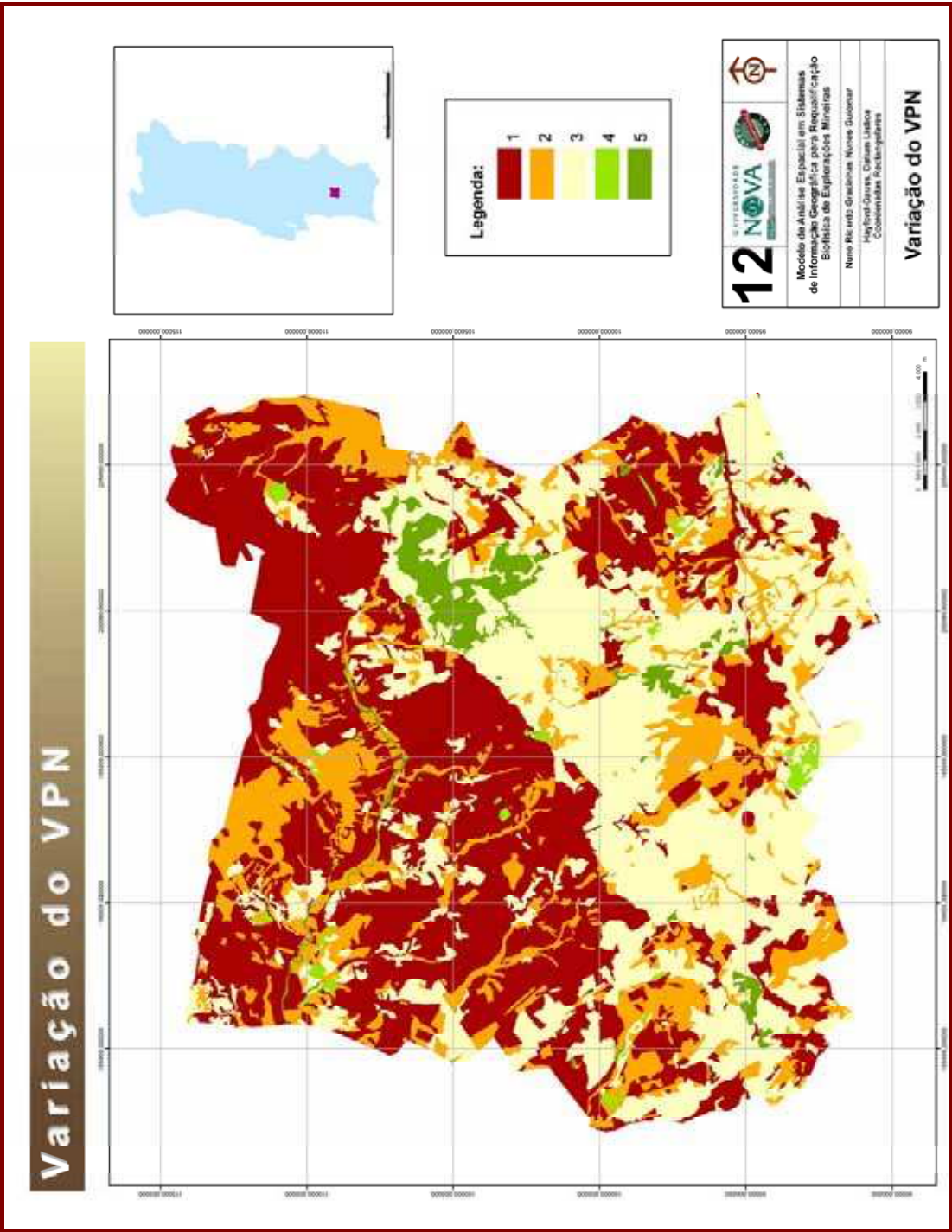
Vegetação de Referência

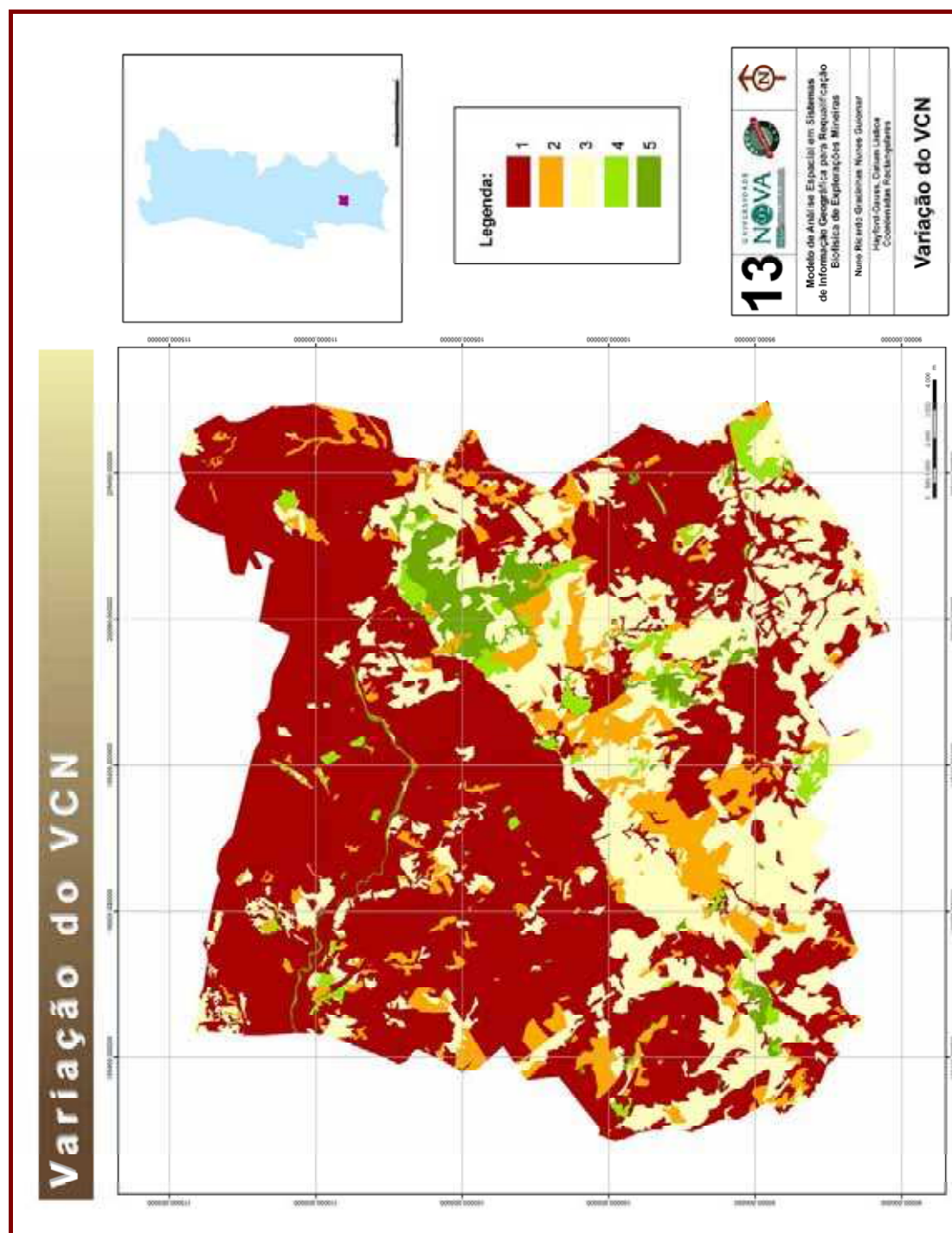




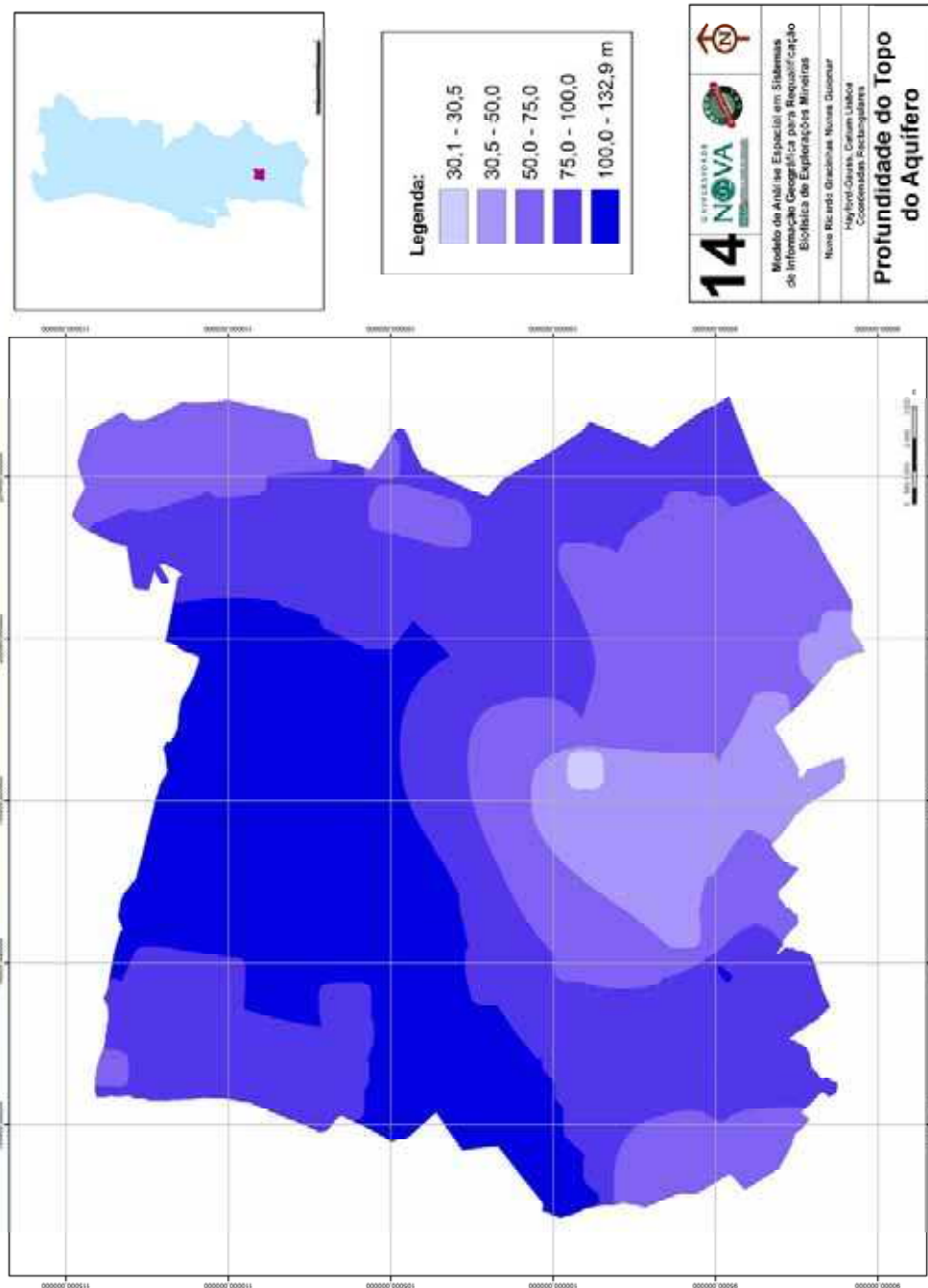




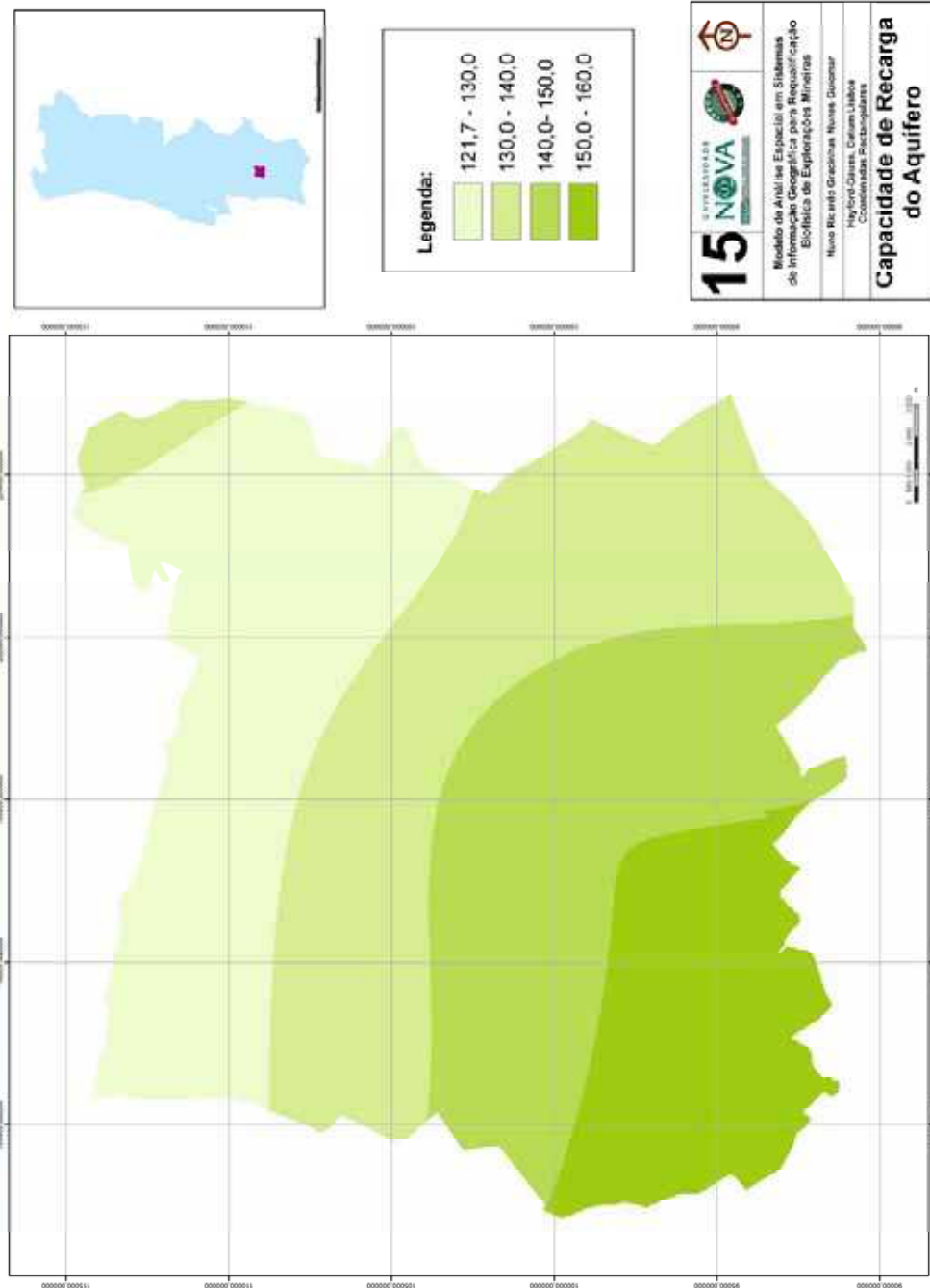


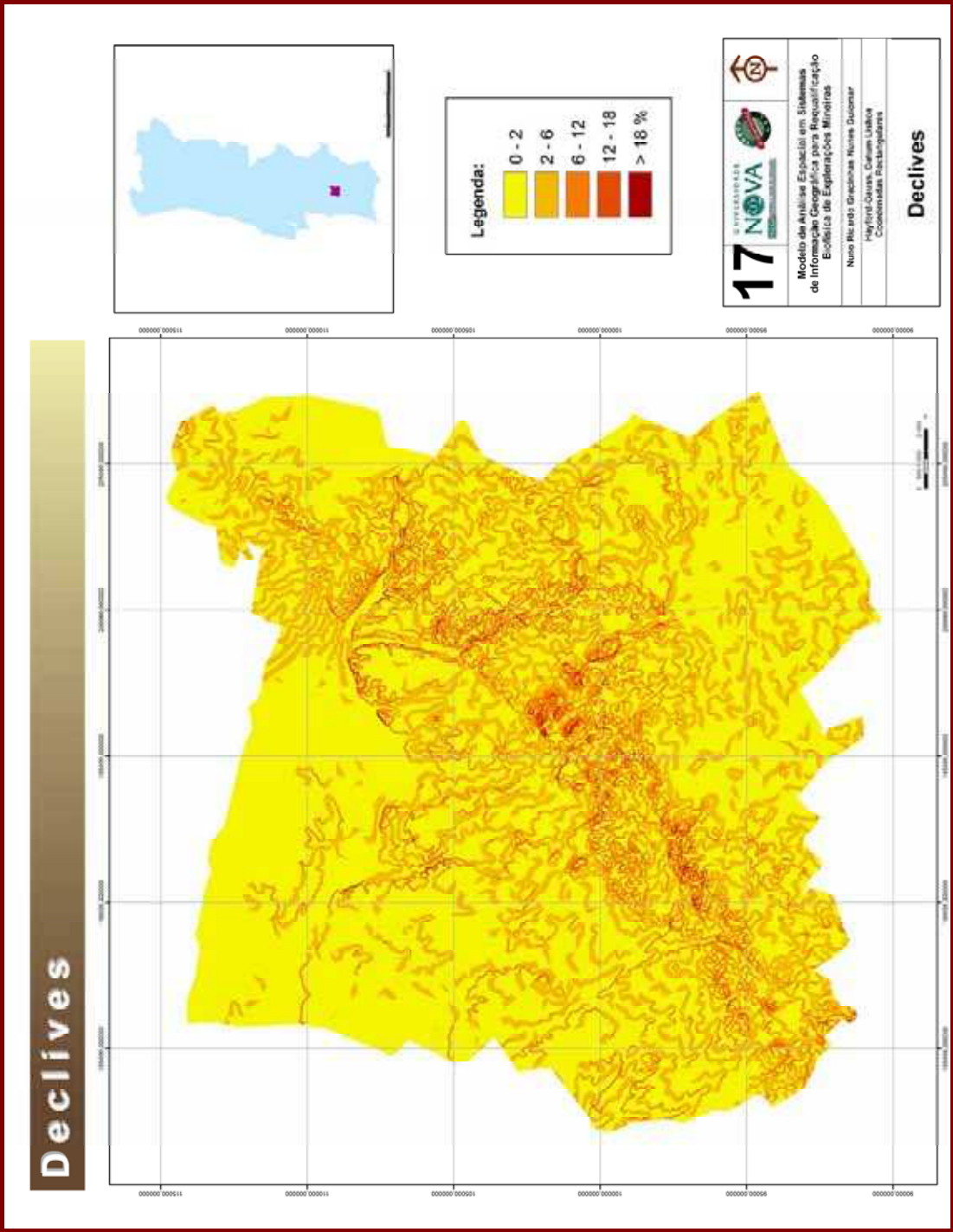


Profundidade do Topo do Aquífero

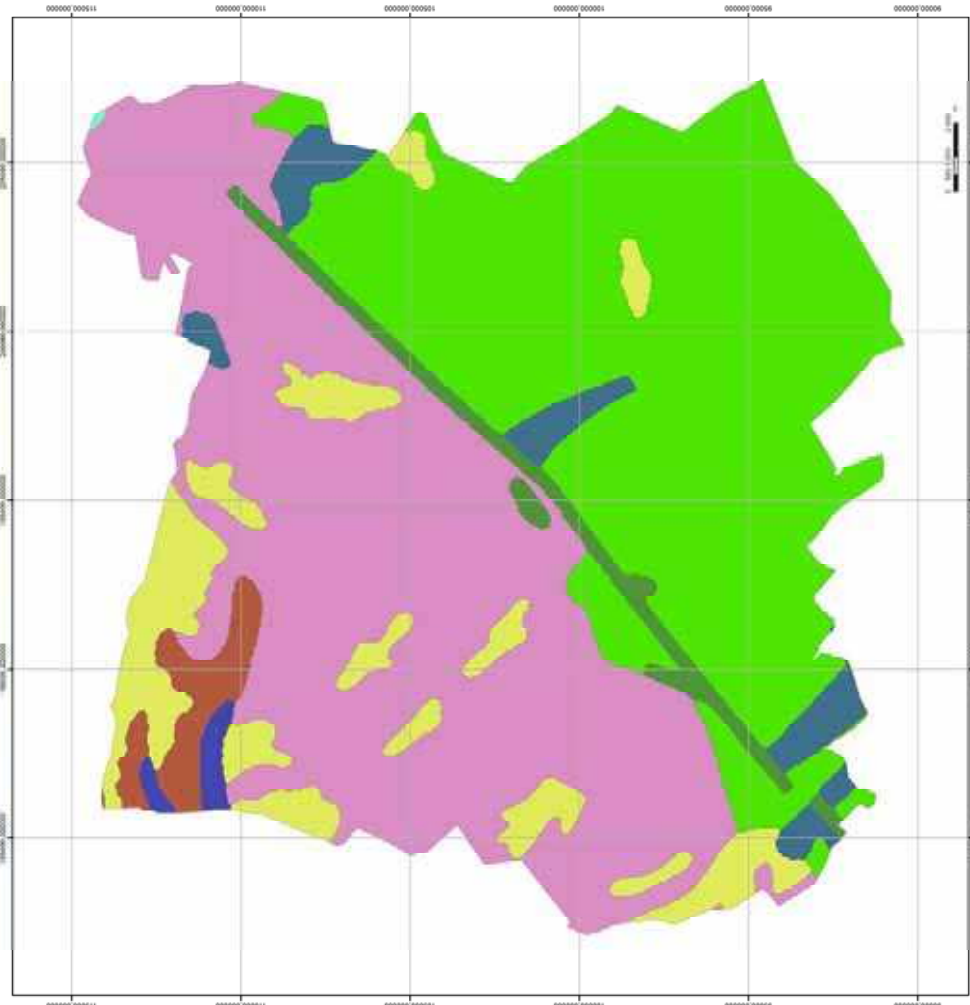


Capacidade de Recarga do Aquífero





Formações Geológicas



Legenda:

- Carbonífero Marinho e Devoniano
- Devoniano e Silúrico
- Do Devoniano Marinho ao Pré-Cambríco
- Idade Cretácica
- Mio-Pliocénico
- Paleogenérico-Miocénico
- Plio-Pleistocénico

18 ANOS

Modelo de Análise Espacial em Sistemas de Informação Geográfica para Recuperação Ecológica de Explorações Minerais

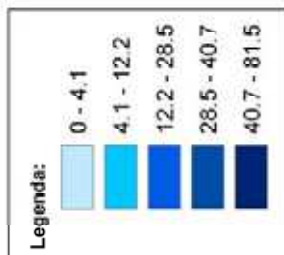
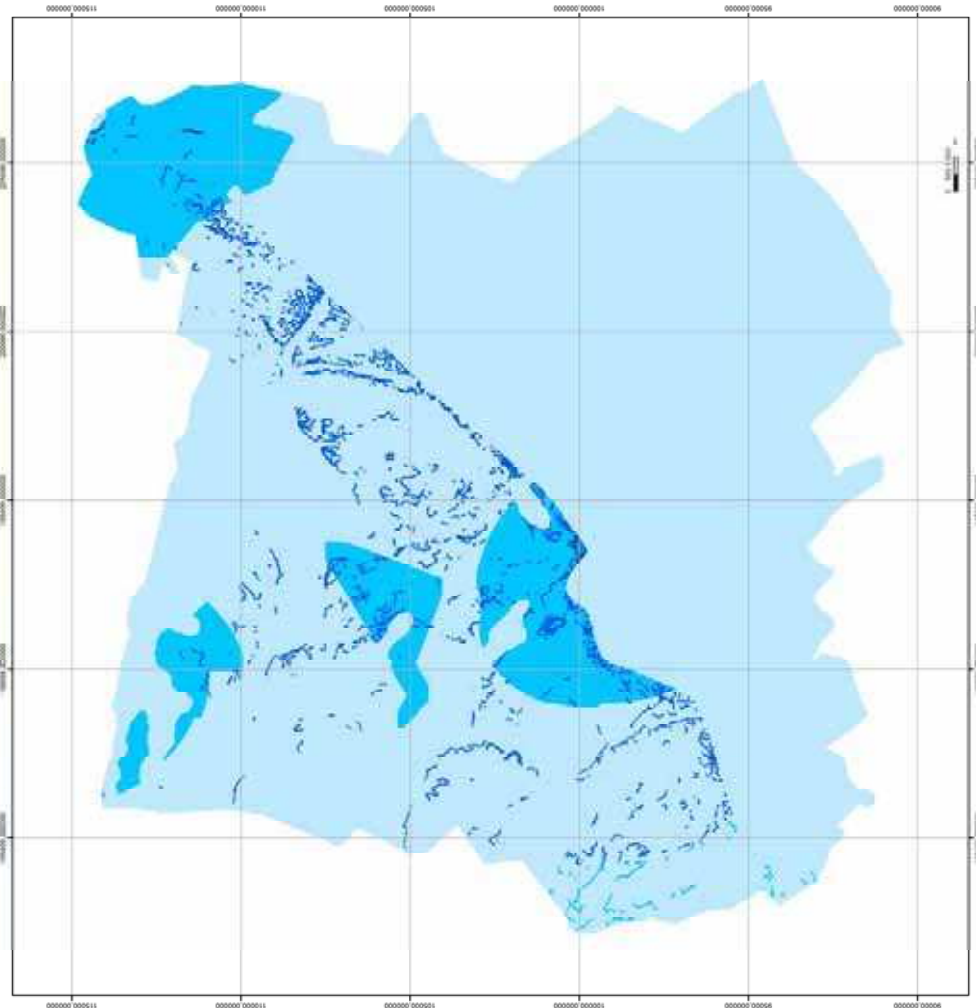
Novo Mundo Geotemas, Nuno Guadalupe

Hayford Soares, Carlos Lúcio

Coordenadas Rectangulares

Formações Geológicas

Conductividade Hidráulica



20 ANOS

UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Faculdade de Ciências Exactas e da Terra

Departamento de Engenharia Geológica

Unidade de Ensino e Investigação em Engenharia Geológica

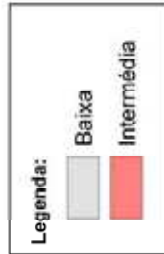
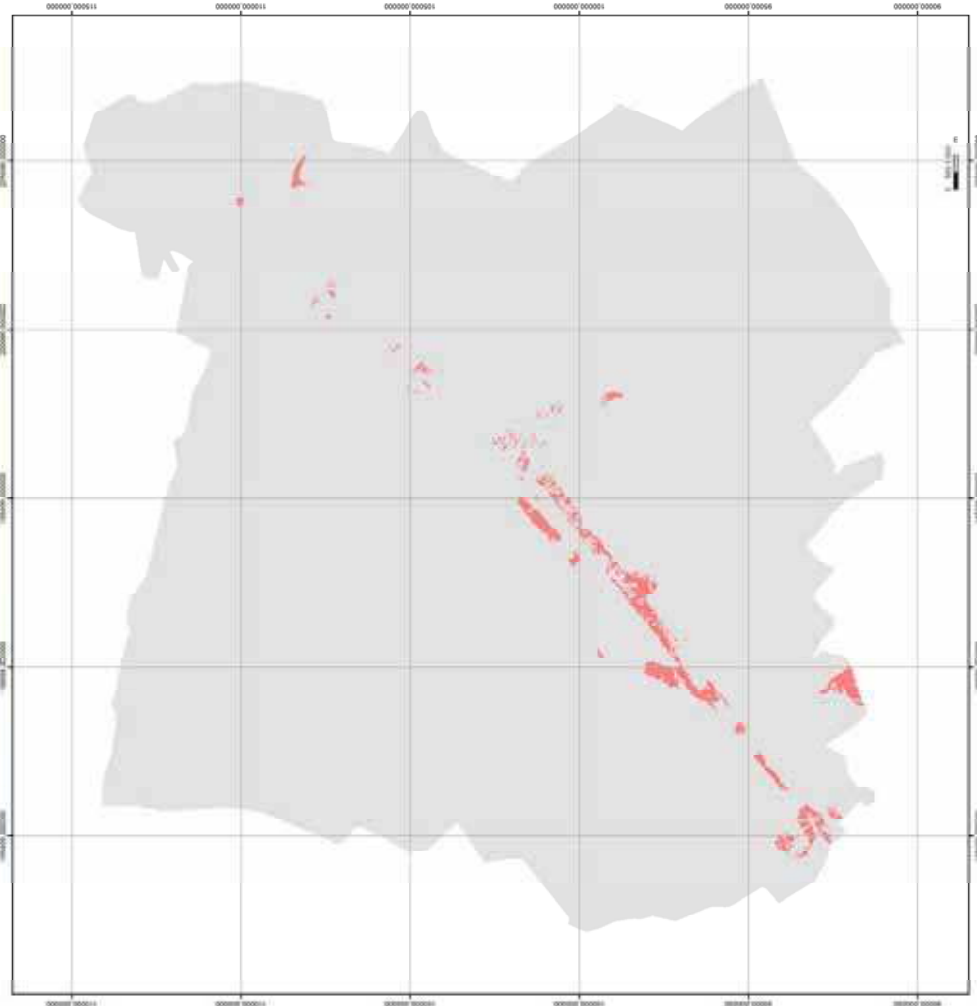
Nuno Ricardo Gonçalves Nunes Duarte

Engenheiro Geólogo

Coordenador do Curso

Conductividade Hidráulica

Vulnerabilidade dos Aquíferos



21

UNIVERSIDADES

NOVA

FEUP

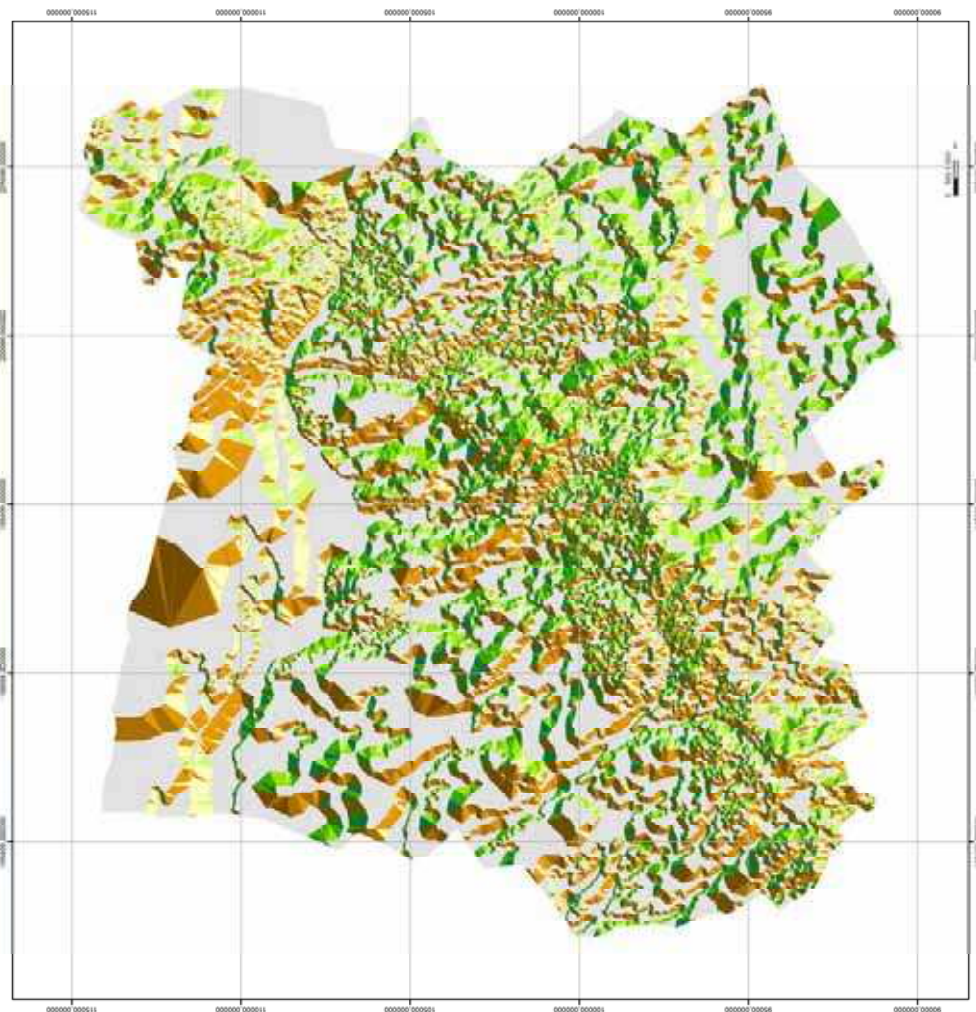
Modelo de Análise Especial em Sistemas de Informação Geográfica para Recuperação de Informação de Exploração Mineral

Nuno Miguel Gonçalves Nunes Guisardes

Mauro Gomes, Carlos Lúcia, Constança Rodrigues

vulnerabilidade dos Aquíferos

Orientações de Encosta



Legenda:

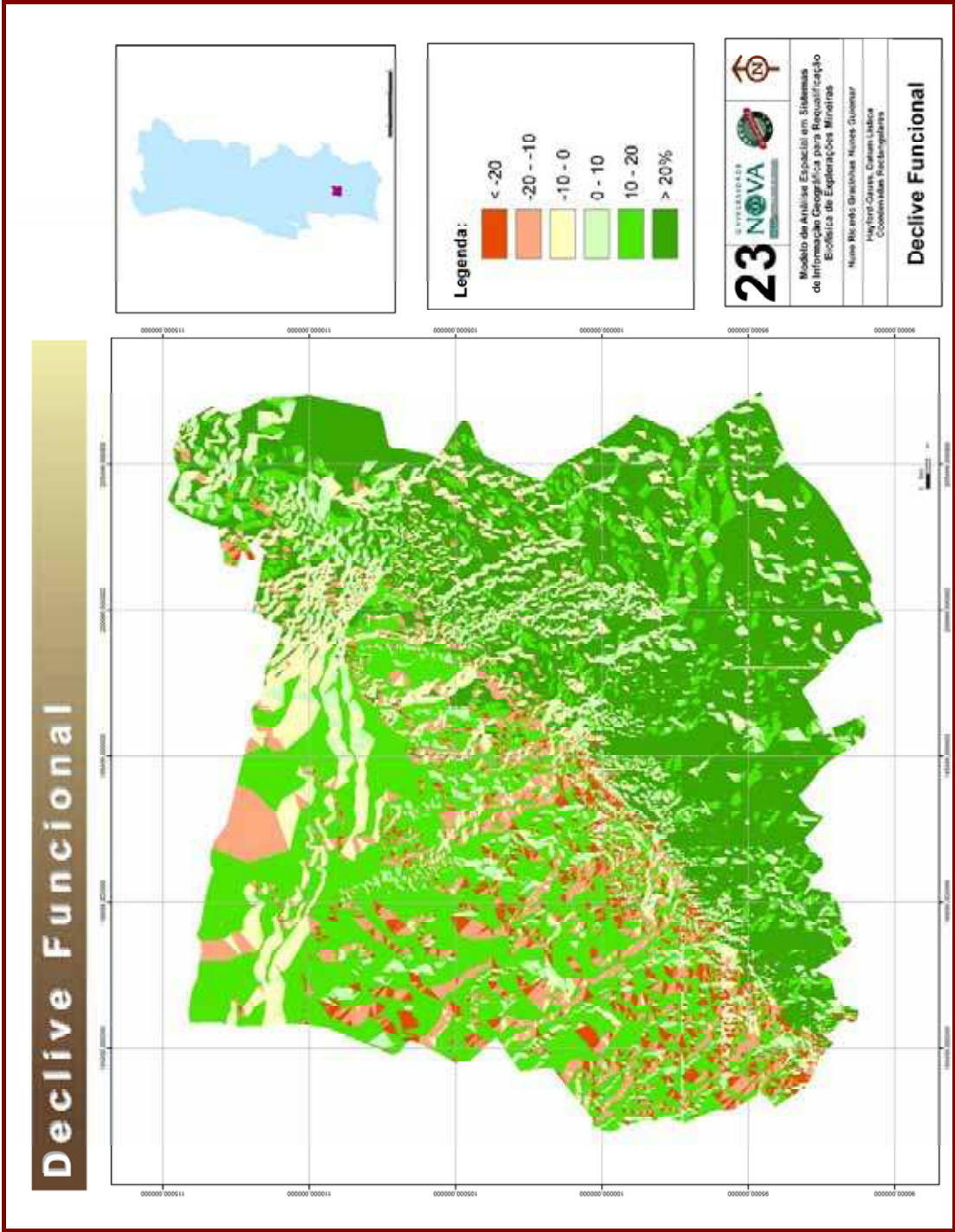
- Sem Orientação Definida
- Norte
- Noroeste
- Este
- Sudeste
- Sul
- Sudoeste
- Oeste
- Noroeste
- Norte

22

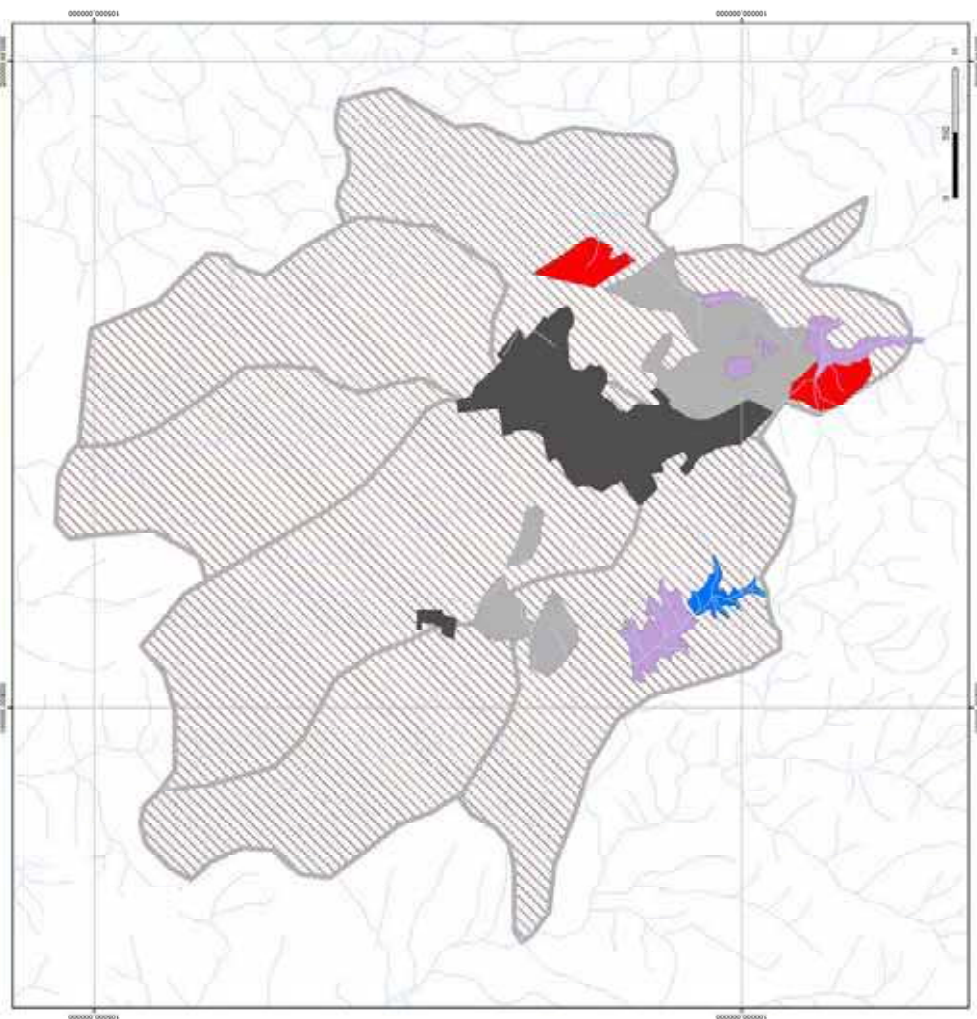
Modelo de Análise Espacial em Sistemas de Informação Geográfica para Recuperação Ecológica de Explorações Minerais

Novo Alentejo - Grândola - Nave de Guadiana - Sagres - Lagos - Faro - Alentejo - Algarve

Orientações de Encosta



Áreas a Requalificar



- Legenda:**
- Rede Hidrográfica
 - Ajustrel
 - Miras
 - Zona Industrial
 - Massas de Água Contaminadas
 - Áreas a Requalificar

24 NOVA LUSITÂNIA

Modelo de Análise Especial em Sistemas de Informação Geográfica para Requalificação Urbana de Explorações Minerais

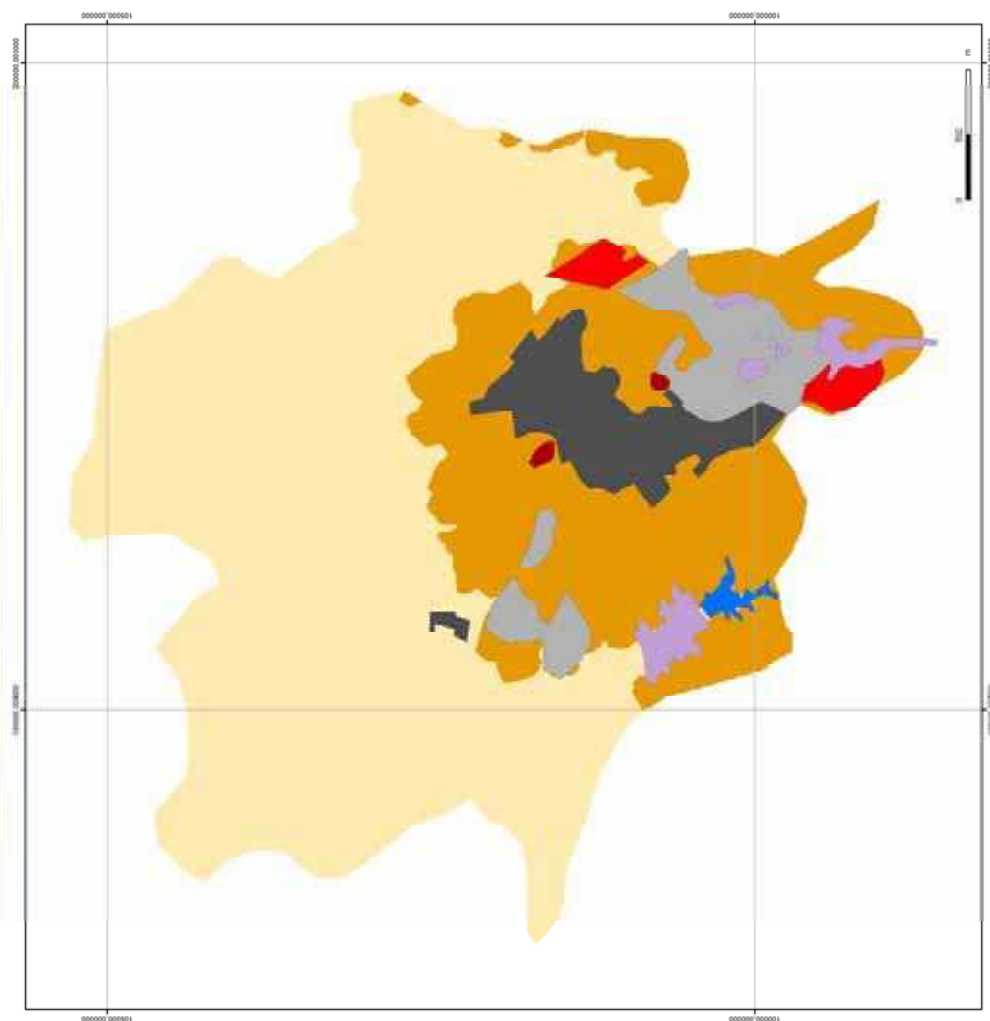
Nuno Ricardo Gonçalves, Nuno Duarte

Mayord Osorio, Celso Lisboa

Coordenadas Rectangulares

Áreas a Requalificar

Hipsometria



Legenda:

- Limite da Área a Investigar
- Minas (Algarves, Fátima e Monção)
- Alcázar
- Zona Industrial
- Planos de Água
- Massas de Água
- Cyanamida

Hipsometria

- 90 - 150
- 150 - 230
- 230 - 340 m

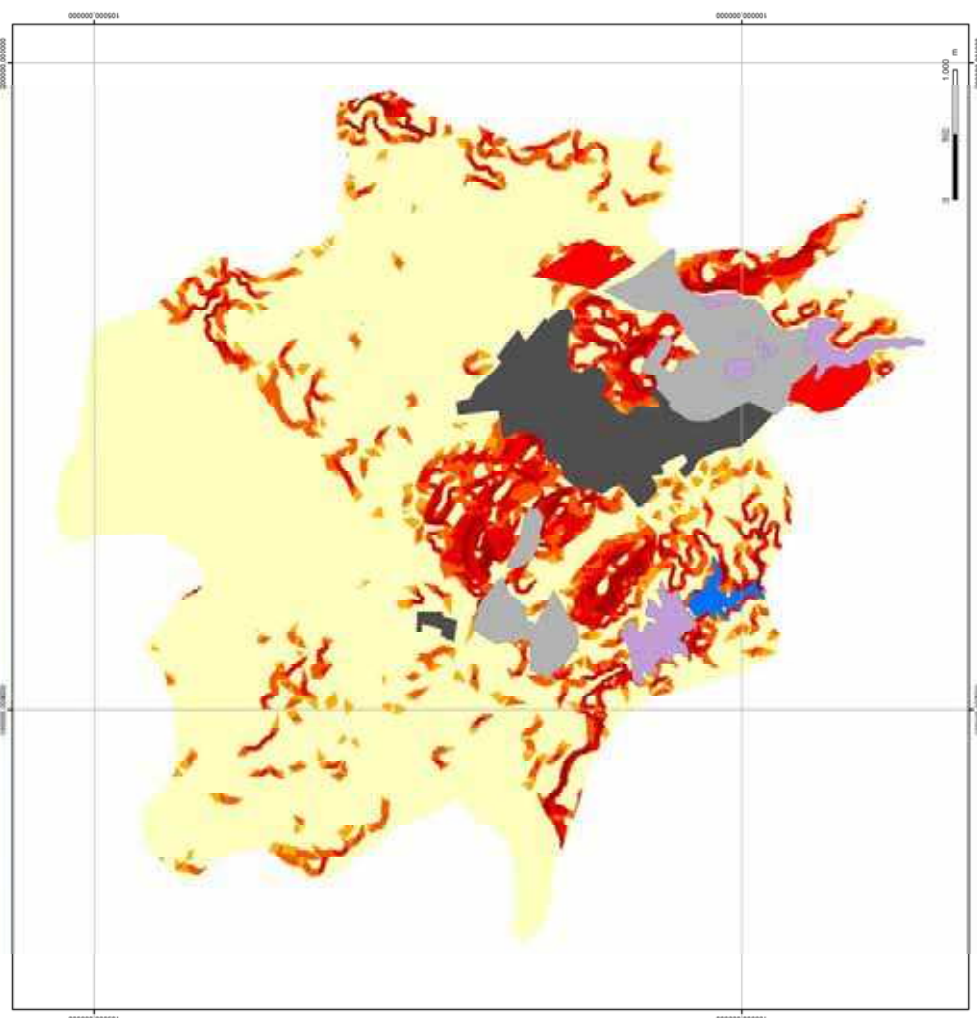
25

Modelo de Análise Espacial em Sistemas de Informação Geográfica para Recuperação Ecológica de Explorações Minerais

Nuno Ribeiro Gonçalves, Nuno Gonçalves, Miguel Gomes, Carlos Lisboa, Constança Rocha-Pereira

Hipsometria

Declives



Legenda:

- Relevo Hidrográfica
- Açudeiro
- Minas
- Zona Industrial
- Massas de Água Contaminada
- Áreas a Regularizar
- Declives



26

UNIVERSIDADES
NOVA
LISBOA

Modelo de Análise Espacial em Sistemas de Informação Geográfica para Recuperação Ecológica de Explorações Minerais

Nuno Ricardo Gonçalves Nunes, Doutorar
Háford-Clara, Carlos Lisboa
Coordenadas Rectangulares

Declives

