

C& SIG

***SISTEMA DE APOIO À GESTÃO DAS ZONAS
COSTEIRAS***
***Aplicação de um modelo para simulação do
crescimento urbano no trecho Ovar-Mira***

Pedro Miguel Ferreira Pinto

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

SISTEMA DE APOIO À GESTÃO DAS ZONAS COSTEIRAS
Aplicação de um modelo para simulação do crescimento urbano no
trecho Ovar-Mira

Dissertação orientada por

Professor Doutor Pedro da Costa Brito Cabral

e

Professor Doutor Mário Sílvio Rochinha de Andrade Caetano

Junho de 2008

AGRADECIMENTOS

Dirijo-me, nas próximas linhas, às pessoas que contribuíram de forma directa ou indirecta para o trabalho agora finalizado, às quais gostaria de expressar o meu profundo agradecimento.

Agradeço, em primeiro lugar, aos Professores Doutores Pedro Cabral e Mário Caetano pela forma rigorosa, solícita e amiga com que orientaram e acompanharam esta dissertação.

À Professora Fátima um agradecimento especial por ter sido a primeira pessoa a incentivar e apoiar este trabalho, por me fazer acreditar que era possível levá-lo a bom porto e pela constante disponibilidade para troca de ideias.

À Professora Doutora Celeste Coelho, coordenadora do Grupo de Planeamento dos Recursos Naturais, Ambiente e Património, assim como às colegas do Grupo que acompanharam e incentivaram o desenvolvimento deste trabalho ao longo dos últimos meses.

Ao Instituto Geográfico Português, através do Grupo de Detecção Remota pela disponibilização das imagens de satélite essenciais ao desenvolvimento deste trabalho. Aos colegas do GDR pela forma atenciosa como me receberam e acompanharam nos dias que lá passei.

Aos meus pais, à minha irmã, à minha avó e à Carmen pelo apoio, compreensão e força anímica. Sem a Vossa ajuda esta etapa teria sido muito mais complicada.

A todos o meu muito obrigado!

SISTEMA DE APOIO À GESTÃO DAS ZONAS COSTEIRAS

Aplicação de um modelo para simulação do crescimento urbano no trecho Ovar-Mira

RESUMO

As zonas costeiras constituem ecossistemas únicos e irreconstituíveis à escala humana. O seu delicado equilíbrio está actualmente posto em causa como consequência da intensa utilização destes espaços, designadamente pelos usos artificializados do território.

Além dos problemas relativos à artificialização das zonas costeiras, estas enfrentam uma série de outros problemas de índole biofísica e antrópica, sendo a erosão costeira o mais difundido. Este é um processo induzido por uma combinação de factores naturais, enfatizado por acções humanas.

É essencial, que numa perspectiva de gestão integrada das zonas costeiras se equacione a compatibilização de factores e interesses adversos, para que o modelo de desenvolvimento destas áreas não ponha em causa a utilização dos recursos pelas gerações futuras. Neste âmbito, a aplicação de modelos para simulação das implicações que as opções e políticas de ordenamento do território encerram, é um importante instrumento de apoio à tomada de decisão, reduzindo de sobremaneira o seu grau de incerteza.

Na presente dissertação aplica-se um modelo de vulnerabilidade da zona costeira às acções do mar (*Secur-Ria*) e um modelo para simulação do crescimento urbano (*Geomod*) ao trecho Ovar-Mira, analisando quais as implicações da erosão costeira sobre os territórios artificializados no ano de 2030 caso se mantenha uma tendência de crescimento semelhante à registada entre 1990 e 2006.

COASTAL ZONE MANAGEMENT SUPPORT SYSTEM

Application of an urban growth simulation model to the Ovar-Mira stretch

ABSTRACT

Coastal zones are unique and irreversible ecosystems on a human scale. Its delicate balance is currently under threat by the intensive use of coastal spaces, particularly by the artificial land uses in these coastal areas.

In addition to the artificialization of coastal zones, these areas face a range of additional problems of human and biophysical nature. The most widespread problem is coastal erosion, which results from a combination of natural factors and that is aggravated by human action.

From an integrated coastal zone management perspective, it is essential to frame the compatibilization of adverse factors and interests so that the development model of these areas doesn't compromise the use of coastal resources by future generations. In this context, the application of predictive models that allow for the ex-ante impact assessment of spatial planning policies and options is an important tool to support decisions as it reduces the degree of uncertainty surrounding these decisions.

In this dissertation we combine a coastal zone sea actions vulnerability model (*Secur-Ria*) and a urban growth model (*Geomod*) to assess the implications of coastal erosion on artificial land uses in coastal areas by 2030, based on a trend of urban growth similar to the recorded over the period 1996 to 2006. A case study is provided for the Ovar-Mira coastline in Central Portugal.

PALAVRAS-CHAVE

Apoio à tomada de decisão

Crescimento urbano

Detecção Remota

Erosão costeira

Gestão Integrada das Zonas Costeiras

Modelos de *LUC*

KEYWORDS

Decision making support

Urban growth

Remote sensing

Coastal erosion

Integrated Coastal Zone Management

LUC models

ACRÓNIMOS

| | |
|----------------|--|
| AA | Acções antropogénicas |
| AC | Autómatos Celulares |
| AEA | Agência Europeia do Ambiente |
| AHP | <i>Analytical Hierarchy Process</i> |
| AM | Amplitude de marés |
| AMRIA | Associação de Municípios da Ria de Aveiro |
| AMU | Áreas Mediamente Urbanas |
| AO | Altura de onda significativa |
| APR | Áreas Predominantemente Rurais |
| APU | Áreas Predominantemente Urbanas |
| BI | <i>Bareness Index</i> |
| CEHIDRO | Centro de Estudos de Hidrossistemas do Instituto Superior Técnico |
| CLC | CORINE Land Cover |
| COS | Carta de Ocupação do Solo |
| CRL | Carta de Risco do Litoral |
| CT | Cota topográfica |
| DC | Distância à linha de costa |
| DGOTDU | Direcção-Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano |
| DL | Decreto-Lei |
| DPH | Domínio Público Hídrico |
| DPM | Domínio Público Marítimo |
| EA | Erosão e Acreção |
| EEA | <i>European Environment Agency</i> |
| EG | Exactidão Global |
| EP | Exactidão do Produtor |
| ETM+ | <i>Enhanced Thematic Mapper</i> |
| EU | Exactidão do Utilizador |
| EUA | Estados Unidos da América |
| GDR | Grupo de Detecção Remota |

| | |
|----------------|---|
| GIZC | Gestão Integrada das Zonas Costeiras |
| GL | Geologia |
| GM | Geomorfologia |
| ICN | Instituto de Conservação da Natureza e da Biodiversidade |
| IDAD | Instituto do Ambiente e Desenvolvimento |
| IGBP | <i>International Geosphere-Biosphere Program</i> |
| IGP | Instituto Geográfico Português |
| IGT | Instrumentos de Gestão Territorial |
| IHDP | <i>International Human Dimensions Programme on Global Environment Change</i> |
| IHRH | Instituto de Hidráulica e dos Recursos Hídricos |
| INAG | Instituto da Água |
| INE | Instituto Nacional de Estatística |
| IPCC | <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> |
| IRS | <i>Indian Remote Satellite</i> |
| K | <i>Kappa</i> |
| Landsat | <i>Land Remote Sensing Satellite</i> |
| LISS | <i>Linear Self Scanning Sensor</i> |
| LMPMAVE | Linha máxima de preia-mar de águas vivas equinociais |
| LNEC | Laboratório Nacional de Engenharia Civil |
| LUCC | <i>Land Use & Cover Change</i> |
| MAOTDR | Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional |
| MCE | <i>Multi-Criteria Evaluation</i> |
| NC | Nível de Cinzento |
| ND | Número digital |
| NDVI | <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> |
| NNW | Norte-Noroeste |
| NRSA | <i>National Remote Sensing Agency</i> |
| NUT | Nomenclatura das Unidades Territoriais |
| PBH | Plano de Bacia Hidrográfica |
| PDM | Plano Director Municipal |

| | |
|----------------|--|
| PEOT | Planos Especiais de Ordenamento do Território |
| PMOT | Planos Municipais de Ordenamento do Território |
| PNPOT | Programa Nacional de Política de Ordenamento do Território |
| POCOAST | Rede Portuguesa de Investigação na Zona Costeira (<i>ENCORA National Branch</i>) |
| POOC | Plano de Ordenamento da Orla Costeira |
| PROT | Plano Regional de Ordenamento do Território |
| RCM | Resolução do Conselho de Ministros |
| REN | Reserva Ecológica Nacional |
| RGB | <i>Red, Green, Blue</i> |
| RIZK | <i>National Institute for Coastal and Marine Management</i> |
| RS | Revestimento do Solo |
| SIG | Sistemas de Informação Geográfica |
| SLEUTH | <i>Slope – Land use – Exclusion – Urban extent – Transportation - Hillshade</i> |
| TM | <i>Thematic Mapper</i> |
| UA | Universidade de Aveiro |
| UAB | Universidade Autónoma de Barcelona |
| UEA | Unidade Espacial de Análise |
| UMC | Unidade Mínima Cartográfica |
| WNW | Oeste-Noroeste |
| ZH | Zero Hidrográfico |
| ZPE | Zona de Protecção Especial |

ÍNDICE DO TEXTO

| | |
|---|------|
| AGRADECIMENTOS | iii |
| RESUMO | iv |
| ABSTRACT | v |
| PALAVRAS-CHAVE | vi |
| KEYWORDS | vi |
| ACRÓNIMOS | vii |
| ÍNDICE DE TABELAS | xiii |
| ÍNDICE DE FIGURAS | xv |
| 1. Introdução | 1 |
| 1.1 Temática da investigação | 1 |
| 1.2 Objectivo da investigação | 3 |
| 1.3 Pressupostos de trabalho | 4 |
| 1.4 Metodologia da investigação | 5 |
| 1.5 Organização da dissertação | 7 |
| 2. A gestão das zonas costeiras | 9 |
| 2.1 Objectivos do capítulo | 9 |
| 2.2 Definição de zona costeira | 9 |
| 2.3 Instrumentos e programas de ordenamento e gestão territorial com implicações na zona costeira | 12 |
| 2.4 Os problemas da zona costeira | 14 |
| 2.5 Revisão de estudos sobre o potencial de vulnerabilidade e risco da zona costeira à erosão em Portugal | 20 |
| 2.5.1 Carta de Risco do Litoral (CRL) | 21 |

| | | |
|-------|--|----|
| 2.5.2 | Projecto EUrosion | 22 |
| 2.5.3 | O projecto SECUR-Ria | 24 |
| 3. | A área de estudo: trecho Ovar-Mira | 26 |
| 3.1. | Objectivos do capítulo | 26 |
| 3.2 | Enquadramento geográfico | 27 |
| 3.3 | Evolução da população | 30 |
| 3.4 | Análise da ocupação do solo | 31 |
| 3.5 | Erosão costeira na área de estudo | 35 |
| 4. | Delimitação de áreas urbanas | 41 |
| 4.1 | Objectivo do capítulo | 41 |
| 4.2 | Definição de 'Urbano' | 41 |
| 4.3 | Delimitação das áreas urbanas em 1990 | 45 |
| 4.4 | Técnicas de detecção remota | 47 |
| 4.5 | Seleção das imagens de satélite | 49 |
| 4.5.1 | A composição colorida RGB | 50 |
| 4.5.2 | Melhoramento de contraste | 51 |
| 4.6 | Nomenclatura de referência | 51 |
| 4.7 | Avaliação da qualidade dos mapas | 52 |
| 4.8 | Derivação de mapa de uso do solo em 2006 | 56 |
| 4.8.1 | Classificações das imagens de satélite | 56 |
| 4.8.2 | Aperfeiçoamento dos mapas classificados | 58 |
| 5. | Simulação do crescimento urbano | 62 |
| 5.1 | Objectivo do capítulo | 62 |
| 5.2 | O fenómeno do crescimento urbano | 62 |
| 5.3 | Modelos de crescimento urbano | 63 |

| | |
|--|----|
| 5.3.1 Os autómatos celulares e os modelos de LUCC | 65 |
| 5.3.2 Técnicas de validação de modelos de LUCC | 67 |
| 5.4 A escolha do modelo <i>Geomod</i> | 68 |
| 5.5 Derivação do mapa de aptidão para o solo urbano | 71 |
| 5.6 Desenvolvimento e validação dos cenários de crescimento urbano | 79 |
| 5.7 Impactos da erosão costeira nos territórios urbanos | 83 |
| 6. Conclusão | 85 |
| 6.1 Síntese e desenvolvimentos futuros | 85 |
| Referências bibliográficas | 90 |

ÍNDICE DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1.1. Principais especificações técnicas do IRS-P6/ LISS-III. Fonte: Manual do RESOURCESAT (NRSA, 2003) | 6 |
| Tabela 2.1. Diplomas legais com impacto na gestão das zonas costeiras | 13 |
| Tabela 2.2. Diplomas de natureza orientadora com impacto na gestão das zonas costeiras | 14 |
| Tabela 2.3. Atribuição de pesos aos parâmetros de vulnerabilidade. Fonte: SECUR-Ria – Erosão Costeira (Coelho <i>et al.</i> , 2006a) | 25 |
| Tabela 3.1. Áreas afectas às tipologias de ocupação do solo, 1990 e 2000 (km ²). Fonte: CORINE Land Cover 2000, Instituto do Ambiente | 33 |
| Tabela 3.2. Áreas de migração entre classes de ocupação do solo entre 1990 e 2000 (km ²). Fonte: CORINE Land Cover 2000, Instituto do Ambiente | 33 |
| Tabela 3.3. Distribuição detalhada de áreas nos territórios artificializados, em 1990 e 2000 (km ²). Fonte: CORINE Land Cover 2000, Instituto do Ambiente | 34 |
| Tabela 3.4. Trechos críticos na área de estudo segundo o POOC Ovar – Marinha Grande. Fonte: POOC (Hidrotécnica Portuguesa <i>et al.</i> , 1998) | 36 |
| Tabela 3.5. Trechos críticos na área de estudo. Fonte: CRL (CEHIDRO e INAG, 1998) | 38 |
| Tabela 3.6. Casos EUrosion no trecho Ovar - Mira. Fonte: EUrosion (IHRH e UAB, 2003) | 38 |
| Tabela 4.1. Zonas Artificializadas: classes e suas características. Fonte: CORINE land cover technical guide: Addendum 2000 (Bossard <i>et al.</i> , 2000) | 42 |
| Tabela 4.2. Tipologia de áreas urbanas em Portugal. Fonte: <i>Indicadores Urbanos do Continente</i> (INE e DGOTDU, 1999) | 44 |
| Tabela 4.3. Classificação dos concelhos de Portugal com base no Decreto-Lei n.º 74/84, de 8 de Março. Adaptado de Cabral (2006) | 45 |
| Tabela 4.4. Folhas COS'90 utilizadas | 45 |
| Tabela 4.5. Correspondência entre classes de espaços considerados urbanos entre a COS'90 e CLC. Fonte: GDR/IGP | 46 |

| | |
|--|----|
| Tabela 4.6. Parâmetros das imagens LISS-III utilizadas | 50 |
| Tabela 4.7. Nomenclatura em três níveis | 57 |
| Tabela 4.8. Desempenho das classificações | 58 |
| Tabela 4.9. Matriz de confusão da classificação de 8 bandas | 58 |
| Tabela 4.10. Reclassificação dos NDVI | 59 |
| Tabela 4.11. Reclassificação dos ND para cálculo do índice de solo nu (Haobo <i>et al.</i> , 2005) | 60 |
| Tabela 5.1. Variáveis utilizadas em mapas de aptidão para solo urbano | 72 |
| Tabela 5.2. Módulo <i>FUZZY</i> – características para normalização de variáveis | 77 |
| Tabela 5.3. Pesos atribuídos a cada uma das variáveis | 78 |
| Tabela 5.4 Avaliação da qualidade da simulação para 2006 quando comparado com 2006 real | 80 |
| Tabela 5.5 Avaliação da qualidade para o modelo nulo | 81 |
| Tabela 5.6. Tipologias de uso do solo (áreas) para os três momentos temporais | 82 |
| Tabela 5.7. Variação das áreas afectas aos territórios urbanos | 83 |
| Tabela 5.8. Solo urbano (ha) por diversos níveis de vulnerabilidade costeira | 84 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1.1. Esquema da metodologia de investigação | 7 |
| Figura 2.1. Limites a considerar para estudos do sistema costeiro. Fonte: <i>Bases para a Gestão Integrada da Zona Costeira</i> (MAOTDR, 2006) | 10 |
| Figura 2.2. Risco Alto (vermelho), Risco Médio (cor-de-laranja) e Risco Baixo (amarelo) - delimitações de risco na Zona costeira Centro de Portugal. Fonte: Carta de Risco do Litoral, Trecho 2: Foz do Douro-Nazaré (CEHIDRO e INAG 1998) | 22 |
| Figura 2.3. Mapa de Exposição das Regiões Europeias à Erosão Costeira. Fonte: Projecto EUrosion (RIKZ <i>et al.</i> , 2004) | 23 |
| Figura 3.1. Enquadramento da área de estudo | 27 |
| Figura 3.2. Áreas com estatuto especial de protecção. Fonte: Atlas do Ambiente | 29 |
| Figura 3.3. Evolução da população residente na área de estudo. Fonte: INE, Censos 91 e 01; Estimativa Anual da População (2006) | 30 |
| Figura 3.7. Mapas de ocupação do solo para 1990 (esquerda) e 2000 (direita). Fonte: CORINE Land Cover, Instituto do Ambiente | 32 |
| Figura 3.8. Territórios artificializados em 1990 (esquerda) e 2000 (direita). Fonte: CORINE Land Cover, Instituto do Ambiente | 35 |
| Figura 3.9. Quatro trechos críticos na área de estudo segundo o POOC Ovar – Marinha Grande | 36 |
| Figura 3.10. Resultado da aplicação do método SECUR-Ria à área de estudo | 39 |
| Figura 4.1. Solo artificializado segundo a COS' 90 | 47 |
| Figura 4.2. Curvas de reflectância do solo, água e vegetação. Adaptado de (Lillesand e Kiefer, 2000) | 48 |
| Figura 4.3. As quatro bandas espectrais do LISS-III (paleta de cinzentos) e a RGB453. | 51 |
| Figura 4.5. Ilustração dos vários esquemas de amostragem, seus pontos fortes e fracos. Adaptado de (Banko, 1998) | 53 |
| Figura 4.6. Esquema metodológico para derivação do mapa de solo urbano em 2006 | 56 |

| | |
|---|----|
| Figura 4.7. Mapas de uso do solo em 2006 em 6 classes (esquerda) e 2 classes (direita) | 61 |
| Figura 5.1. Mapas das variáveis integrantes na derivação do mapa de aptidão | 74 |
| Figura 5.2. Valores atribuídos na comparação par-a-par das variáveis | 78 |
| Figura 5.3. Mapa de aptidão para transformação em solo urbano no ano de 1990 | 79 |
| Figura 5.4. Mapas de urbano /não urbano para 2006. Real à esquerda e simulado à direita | 80 |
| Figura 5.5. Mapa de urbano /não urbano para 2030 | 82 |

1. INTRODUÇÃO

1.1 Temática da investigação

No ano de 1990 o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) expôs, pela primeira vez, as zonas costeiras como áreas particularmente vulneráveis às alterações climáticas, nomeadamente no que refere à subida do nível médio das águas do mar, proclamando uma atenção internacional para este problema (Alves, 2006).

A intensificação do crescimento populacional nas áreas costeiras, a ampliação das áreas industriais, os impactos das actividades antrópicas levadas a cabo nas bacias hidrográficas e das intervenções de defesa costeira, o crescimento do turismo balnear e as alterações climáticas entre outros factores, em muitos casos com expressão transfronteiriça, constituem os principais problemas destas áreas litorais. Segundo o relatório *The Changing Face of Europe's Coastal Areas* (EEA, 2006a), a rápida aceleração de utilização do espaço costeiro ameaça destruir o delicado equilíbrio destes ecossistemas, ressaltando o facto que a densidade populacional destas áreas é, em média, 10% mais elevada que no interior, chegando aos 50% em alguns países. Mais preocupante, é a conversão de áreas naturais costeiras para áreas artificializadas estar a dar-se num ritmo superior ao aumento da densidade populacional, atingindo em alguns locais, dos quais a costa portuguesa é exemplo, 45% da área total da faixa costeira (Alves *et al.*, 2007).

O processo de gestão das zonas costeiras é complexo, englobando factores diversos como: a governação, as tarefas de gestão e os instrumentos e capacidades de gestão (Alves, 2006). Segundo esta autora, designa-se por Gestão Integrada das Zonas Costeiras (GIZC) o processo de compatibilização dos factores e interesses com vista à tomada de decisão, de modo a que a exploração destas áreas e dos seus recursos não venha a pôr em causa a sua utilização e usufruto pelas futuras gerações, sendo fundamentalmente um processo administrativo de políticas públicas onde a ciência e a técnica adquirem um valor acrescido face à importância social, económica e ambiental destes territórios.

Sustentado pelas orientações da *Recomendação Europeia* (2002/413/CE) de 30 de Maio, o Estado português determinou a elaboração das Bases de uma Estratégia de Gestão Integrada da Zona Costeira Nacional (aprovado em 2006), com objectivo de sustentar as políticas de ordenamento, planeamento e gestão da zona costeira portuguesa, na sua vertente terrestre e marinha (MAOTDR e INAG, 2006). O ordenamento e gestão destas áreas em Portugal assentam num conjunto de instrumentos e programas de natureza

vinculativa ou orientadora. Ressaltam como mais significativos: o Domínio Público Marítimo (DPM), que submete a um regime especial de propriedade pública do Estado os terrenos situados na margem de 50 m a contar da linha máxima de preia-mar; o Decreto-Lei n.º 321/83, de 5 de Julho que cria a Reserva Ecológica Nacional (REN), com implicações directas na gestão das zonas costeiras, pois integra no seu domínio as áreas de praias, dunas litorais e arribas; a Lei de Bases do Ambiente (Lei 11/87 de 7 de Abril), sugerindo uma gestão costeira que evidencie a vertente ambiental dos seus recursos e; os Planos de Ordenamento da Orla Costeira (POOC), instituídos pelo Decreto-Lei n.º 309/93, de 2 de Setembro, que estabelecem condicionamentos, vocações e usos dominantes para a orla costeira.

O processo de erosão costeira é, sem qualquer dúvida, o mais mediático dos problemas que assolam as zonas costeiras. Segundo Dias e Pereira (1994) o processo erosivo generalizado e o consequente recuo da linha de costa devem-se a uma conjuntura de factores, entre os quais a elevação do nível médio das águas do mar, a diminuição da quantidade de sedimentos fornecidos ao litoral, a degradação antropogénica das estruturas naturais, ou a obras pesadas de engenharia costeira. De um modo geral, todo o litoral encerra um potencial de vulnerabilidade às acções energéticas do mar. A variação deste potencial prende-se com as características físicas de cada local. A transformação do potencial de vulnerabilidade para uma situação de risco depende da presença de pessoas (e.g. bairro dos Pescadores em Esmoriz, praia da Vagueira) e de bens (e.g. campo de campismo da Costa da Caparica).

Coelho (2005) considera que a avaliação das vulnerabilidades e dos riscos de exposição das zonas costeiras às acções do mar não é possível sem uma boa capacidade para previsão de cenários. Contudo, considera que o grau de conhecimento e de modelação dos fenómenos costeiros é ainda bastante limitado.

Representações abstractas (modelos) do processo de alteração aos usos do solo, designadamente das alterações provocadas pela expansão do solo urbano, são objecto de estudo de inúmeros investigadores desde há já largos anos. O recurso a modelos é essencial na análise e simulação das dinâmicas de evolução urbana (Silva, 2002). Estes modelos podem ser mais ou menos complexos e categorizados de diversos modos, dependendo do objectivo para o qual foram pensados.

Os modelos de alteração do uso e ocupação do solo (*Land Use & Cover Change - LUCC*) têm registado um rápido desenvolvimento no domínio científico. Pontius e Chen (2006) referem que, tal se deve ao facto das alterações ao uso do solo serem um importante indicador do modo como o Homem influencia o ambiente. A importância deste tipo de modelos é tal, que foi implementado um projecto internacional com o mesmo

nome – Lucc. Este projecto, finalizado em Outubro de 2005 e desenvolvido pelo *International Geosphere-Biosphere Programme* (IGBP) e pelo *International Human Dimensions Programme on Global Environment* (IHDP), visou apoiar o intercâmbio de conhecimento neste domínio, numa perspectiva de promover o aumento do conhecimento sobre as dinâmicas de alteração ao uso e ocupação do solo e a seu relacionamento com as alterações ambientais a nível global (IGBP e IHDP, 2005).

Almeida *et al.* (2005) fornecem uma perspectiva histórica dos modelos de alterações do solo urbano categorizando-os em dois tipos: Modelos Não-dinâmicos e Modelos Dinâmicos. Segundo a autora, o primeiro tipo de modelos evoluiu desde a Teoria dos Anéis Concêntricos de Von Thunen em 1826 ou modelo dos Lugares Centrais de Christaller em 1933 até princípios da década de 60 onde o aumento das capacidades computacionais veio permitir outras abordagens. Desde esta data até meados dos anos 80 desenvolveram-se inúmeros modelos de crescimento urbano que integravam a componente tempo, ou seja, dinâmicos. No entanto, a generalidade destes modelos dinâmicos não operava sobre a dimensão espacial. Esta lacuna foi reduzida a partir dos anos 80 com a generalização dos modelos de Autómatos Celulares (AC). No seguimento deste último grupo de modelos, um grupo de cientistas do *SUNY College of Environmental Science and Forestry* da Universidade de Yale desenvolveu em 1995, o *Geomod*. Inicialmente concebido para analisar cenários do impacto da desflorestação nos níveis de carbono presentes na atmosfera, o modelo baseia-se numa estrutura de dados *raster* para simular o padrão espacial das alterações ao uso do solo em duas categorias (e.g. 1=não urbano e 2=urbano), permitindo avanços ou recuos temporais (Pontius e Chen, 2006).

Dada a enorme pressão que os aglomerados costeiros têm sentido nos últimos anos, a definição de cenários de crescimento urbano para estas áreas afigura-se como um importante instrumento para apoio à tomada de decisão, uma vez que poderá permitir a visualização das implicações da implementação das opções de ordenamento de território. Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), por serem poderosas ferramentas para armazenamento, edição, integração, extracção, visualização e análise de dados georreferenciados (Cabral, 2001), constituem um método de excelência para o desenvolvimento de processos que permitam testar e decidir conscientemente a validade destas opções.

1.2 Objectivo da investigação

O presente estudo tem como principal objectivo o desenvolvimento de um cenário de crescimento do território urbano, confrontando-o com os resultados obtidos numa simulação das definições de vulnerabilidade e risco da zona costeira às acções

energéticas do mar, com intuito de aferir as possíveis situações de conflito caso se mantenha a actual tendência de alteração. Esta investigação visa ainda dar resposta a algumas questões relacionadas com esta temática:

- análise do estado da arte no que concerne à problemática da gestão integrada da zona costeira em Portugal;
- análise do estado da arte relativo aos estudos sobre o potencial de risco da zona costeira portuguesa à erosão costeira;
- derivação de mapas de solo urbano para os anos de 1990 e 2006, no primeiro caso com manipulação de informação da base de dados do COS'90 (Carta de Ocupação do Solo de 1990) e, no segundo, com recurso às técnicas de detecção remota;
- definição de um mapa de aptidão do território para o crescimento do solo urbano.

1.3 Pressupostos de trabalho

Na base do desenvolvimento da presente dissertação estiveram os seguintes pressupostos:

- a zona costeira centro de Portugal tem sofrido nos últimos anos um processo erosivo generalizado (Barbosa, 2003, IHRH e UAB, 2003);
- as zonas costeiras sofrem pressões construtivas resultantes da elevada competição pelo uso destes espaços pelas várias actividades antrópicas (EEA, 2006a);
- a procura por habitação permanente e turística induz que em muitos casos ocorra uma expansão dos aglomerados urbanos para áreas com elevado potencial de risco de erosão costeira;
- por mais complexa e rigorosa que seja a modelação de determinado processo, esta nunca deixará de representar uma abstracção e simplificação da realidade;
- existem modelos de crescimento urbano tidos como uma variante dos definidos para alterações aos usos do solo, cientificamente validados;
- as técnicas de detecção remota possibilitam a derivação de mapas de uso/ocupação do solo para os anos de análise, com elevada fiabilidade;

- os SIG representam um valioso instrumento para armazenamento e manipulação de informação geográfica, assim como os modelos neles implementados são um excelente meio para testar e decidir sobre diferentes opções e alternativas com impacto territorial.

1.4 Metodologia da investigação

Em termos gerais a metodologia adoptada neste estudo desenvolve-se em três etapas principais. No decorrer da primeira etapa desenvolve-se uma revisão bibliográfica sobre os temas da Gestão Integrada das Zonas Costeiras e do processo de erosão costeira. Assim, discute-se o conceito de “zona costeira” e apresenta-se, sucintamente, a necessidade de uma gestão integrada destes espaços e os princípios orientadores da sua aplicação. A conclusão desta fase faz-se com uma reflexão sintética dos factores indutores de erosão costeira, caracterizando-se, mediante os estudos existentes, o potencial de erosão que a área de estudo encerra. O objectivo da segunda etapa é o desenvolvimento dos cenários de crescimento urbano para 2030 e de risco de erosão costeira para o trecho Ovar-Mira. Dos diversos modelos de simulação das alterações ao uso do solo, selecciona-se o *Geomod*, pelas suas capacidades de simulação em duas tipologias de ocupação do solo (e.g. urbano e não urbano) e também por estar disponível na plataforma IDRISI Andes, facilitando a sua utilização. O *Geomod* utiliza como *inputs* uma imagem binária do momento $t=0$ (1990), a quantificação das áreas de cada tipo no momento $t=1$ (2006) e um mapa de aptidão para a expansão de uma das classes, o solo urbano. A validação da previsão no momento $t=1$ é conseguida por comparação de índices estatísticos do mapa produzido por simulação com um mapa real de solo urbano em 2006. Após a calibração e validação do modelo, projecta-se um cenário de solo urbano e não urbano para o ano de 2030.

O mapa de áreas urbanas para o ano de 1990 baseia-se na base de dados cartográfica COS'90. Esta cartografia, constituída por 638 folhas, foi produzida com base em interpretação visual de fotografias aéreas, recolhidas em voos realizados entre o mês de Agosto de 1990 e 1991, a uma escala de 1:25000 e com uma UMC de 1ha (Schoenmakers e Caetano, 2004). Deste modo, uma agregação de várias classes da nomenclatura do COS'90 permite delimitar as áreas urbanas em 1990.

As técnicas de detecção remota possibilitam a derivação de mapas de uso e ocupação do solo com elevada fiabilidade. Com base neste pressuposto, recorre-se à utilização de imagens de satélite para produzir o mapa de solo urbano para o ano de 2006. Com objectivo de despistar as possíveis confusões do solo urbano com outros usos, utilizam-se duas imagens de satélite adquiridas em diferentes alturas do ano: Primavera e Verão. A informação na base da derivação do mapa do momento $t=1$ (2006) é proveniente do

satélite/sensor IRS – P6/ LISS-III. O programa espacial Indiano iniciou-se em Março de 1988 com o lançamento do *Indian Remote Satellite (IRS)*, que levava a bordo o sensor 1A (capta energia na região do visível e do infravermelho próximo, com resolução espacial de 72,5 m). Inicialmente o programa visava apoiar aplicações nas áreas da comunicação, da meteorologia ou da monitorização de acidentes, contudo, os melhoramentos introduzidos nos satélites seguintes vieram permitir um aumento da gama de aplicações, designadamente na monitorização de ambientes terrestres e marinhos (NRSA, 2003). O satélite utilizado neste estudo (IRS-P6 - RESOURCESAT), lançado a 17 de Outubro de 2003, visa uma continuação do anterior (IRS 1C/1D) com as capacidades melhoradas. Relativamente ao sensor LISS-III, as melhorias notam-se ao nível do aumento de resolução espacial na região do infravermelho médio, que passou de 70.5 m para 23.5m, precisamente a mesma resolução das outras regiões disponíveis. O satélite caracteriza-se ainda por ter uma órbita quase-polar heliosíncrona, a uma altitude de 817 km, uma resolução radiométrica de 7 bits e um *swath* de 141 km em todas as bandas. A tabela 1.1 descreve sucintamente algumas das especificações técnicas deste satélite/sensor.

| IRS-P6 RESOURCESAT / LISS-III | | | | | |
|-------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|-----------|----------|----------------|
| Bandas | Zona do espectro electromagnético | Intervalo em comprimento de onda | Pixel (m) | Revisita | Equiv. Landsat |
| B2 | Verde | 0.52 – 0.59 | 23.5 | 24 dias | B2 |
| B3 | Vermelho | 0.62 – 0.68 | | | B3 |
| B4 | Infravermelho próximo | 0.77 – 0.86 | | | B4 |
| B5 | Infravermelho médio | 1.55 – 1.70 | | | B5 |

Tabela 1.1. Principais especificações técnicas do IRS-P6/ LISS-III. Fonte: Manual do RESOURCESAT (NRSA, 2003).

A definição das condições de risco de erosão costeira neste trecho segue a metodologia proposta por Coelho (2005) e aplicada, no âmbito do projecto SECUR-Ria, à área territorial da Associação dos Municípios da Ria de Aveiro (AMRia). Este modelo integra factores naturais e antropogénicos para classificar o território numa escala de cinco níveis: Muito Alta a Muito Baixa.

A última etapa deste estudo visa o cruzamento de informação relativa aos modelos de simulação do crescimento urbano e dos mapas de erosão costeira. O intuito deste cruzamento é encontrar as áreas de expansão urbana que se sobreponham às áreas de risco mais elevado de erosão. Estas “áreas críticas” deverão impor uma atenção redobrada da parte de quem é responsável pelo ordenamento e gestão dos territórios costeiros. A figura 1.1 ilustra esquematicamente a metodologia seguida neste trabalho.

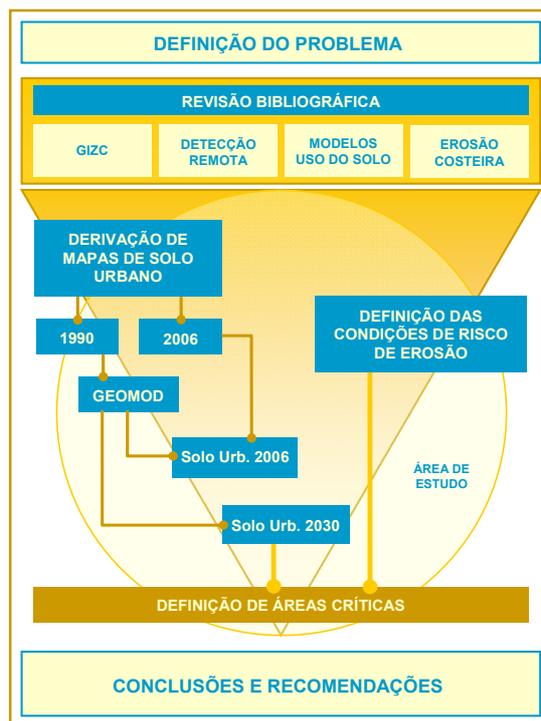


Figura 1.1. Esquema da metodologia de investigação.

1.5 Organização da dissertação

O presente estudo encontra-se organizado em seis capítulos. O capítulo introdutório apresenta a motivação para a escolha do tema de investigação, descrevendo os principais objectivos e pressupostos assumidos no decorrer da dissertação. A metodologia adoptada é referida na parte final do capítulo.

O segundo capítulo desenvolve-se mediante a análise do estado da arte no que respeita à gestão integrada das zonas costeiras. Neste domínio, reflecte-se sobre o conceito de “zona costeira”, equacionam-se os problemas mais relevantes nestas áreas e caracterizando-se os estudos e instrumentos de gestão territorial mais importantes neste domínio.

A justificação para a escolha do trecho Ovar-Mira como área de estudo, o seu enquadramento geográfico, a análise das tendências de evolução da população e do uso do solo, são temas apresentados no terceiro capítulo. Na última parte da secção analisam-se as manifestações de erosão costeira na área de estudo, avaliando os locais onde este processo é mais expressivo.

O quarto capítulo, intitulado de “delimitação de áreas urbanas”, inicia-se com uma breve reflexão sobre o que é o “urbano” e quais os métodos e técnicas mais utilizadas para delimitação de áreas urbanas. A restante parte do capítulo destina-se à explicação da

derivação de mapas de solo urbano através da exploração de ferramentas SIG e das técnicas de detecção remota.

O quinto capítulo destina-se essencialmente à temática da simulação do crescimento das áreas urbanas. Descreve-se a definição de um mapa de aptidão para a expansão destes solos e aplica-se o modelo *Geomod* ao trecho Ovar-Mira. Este capítulo incorpora, na sua última parte, os resultados da confrontação da simulação do crescimento urbano com os resultados da aplicação do modelo para definição das condições de vulnerabilidade da zona costeira às acções energéticas do mar.

O último capítulo versa sobre as conclusões e considerações finais do estudo. Analisa-se, criticamente a metodologia seguida, discutem-se os pressupostos inerentes à dissertação e apontam-se desenvolvimentos futuros decorrentes da investigação.

2. A GESTÃO DAS ZONAS COSTEIRAS

2.1 Objectivos do capítulo

O capítulo que agora se apresenta é integralmente dedicado à problemática da gestão integrada das zonas costeiras. Numa primeira parte, debate-se, numa tentativa de definição e clarificação, o que, no âmbito desta tese, se entende por zona costeira e quais os seus problemas mais evidentes. Na segunda metade do capítulo, enumeram-se os Instrumentos de Gestão Territorial com incidência na zona costeira, quais os seus objectivos e domínios de aplicação, e procede-se à reflexão sobre diferentes estudos técnicos, elaborados para definição e avaliação do potencial de risco de erosão da zona costeira portuguesa.

2.2 Definição de zona costeira

A definição dos principais conceitos associados à problemática central num estudo desta natureza é extremamente útil e importante. Isto, porque o seu entendimento nem sempre é consensual, exigindo que se especifique correctamente o significado mediante o objectivo central do estudo.

No âmbito desta dissertação, a obtenção do significado de “zona costeira” e de quais são os seus precisos limites é crucial e, simultaneamente, bastante complexa. Esta complexidade é comprovada pela existência de alguns exercícios de debate, que visam uma definição consensual de zona costeira e dos seus limites. Não existe uma definição precisa do que se entende por “zona costeira”. Esta pode referir-se a áreas de bacias hidrográficas que drenam directamente para o mar ou à parte aquática contígua à plataforma continental. No entanto, é mais comum considerar que as zonas costeiras são faixas, relativamente estreitas, que integram porções terrestres e marinhas ao longo da linha de costa (The World Bank, 1994).

A nível europeu, o relatório *Lessons from the European Commission's Demonstration Programme on Integrated Coastal Zone Management* (Comissão Europeia, 1999a), aborda a temática da definição de zona costeira, comprovando a dificuldade em atingir uma definição precisa com exemplos de definições legais de zona costeira para alguns países da Europa. Este mesmo documento salienta ser desejável que esta definição não tenha contornos muito rígidos, mas antes que os seus limites sejam suficientemente flexíveis, incluindo as áreas onde o mar e a terra exercem influências mútuas, e assim, abarcar todo o dinamismo representativo destas áreas.

O documento produzido pelo Grupo de Trabalho das Bases para a Gestão Integrada da Zona Costeira Nacional (MAOTDR, 2006), descreve como previsível o uso indiferenciado destas designações, avançando que a justificação para tal, reside, não só no objectivo que se considera, mas também porque a realidade física é muito variável em termos espaciais. Assim, a dinâmica nesta interface entre a terra e o oceano é quase sempre incompatível com a rigidez imposta por limites, qualquer que seja a sua ordem de grandeza. Ainda segundo o mesmo relatório, a compreensão do sistema costeiro a uma determinada escala espacial, impõe que se estude e compreenda a sua dinâmica à escala imediatamente maior e menor, deste modo, a escolha da escala terá que considerar quer os objectivos a atingir quer as especificidades regionais. Tendo presentes estas considerações, os autores deste estudo avançam com propostas de definição de “litoral”, de “zona costeira”, de “orla costeira” e de “linha de costa” (Figura 2.1). Entende-se então a zona costeira como uma “porção de território influenciada directa ou indirectamente em termos biofísicos pelo mar (ondas, marés, ventos, biota ou salinidade) e que pode ter para o lado de terra largura na ordem quilométrica estendendo-se, para o lado do mar, até ao limite da plataforma continental”.

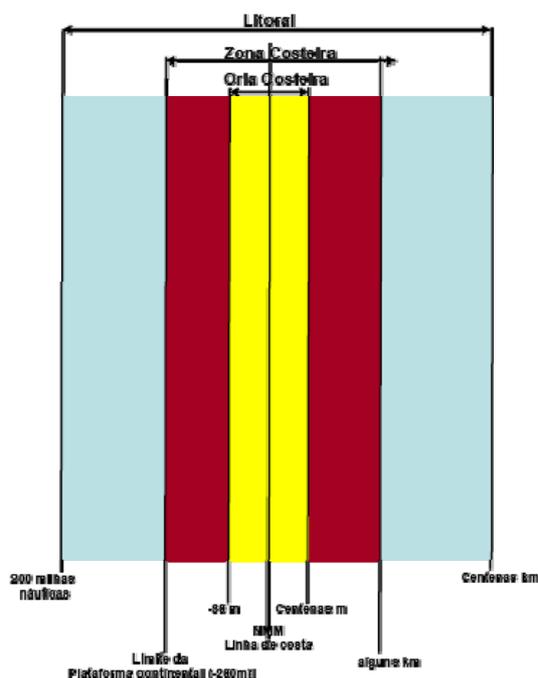


Figura 2.1. Limites a considerar para estudos do sistema costeiro. Fonte: *Bases para a Gestão Integrada da Zona Costeira* (MAOTDR, 2006).

O relatório de *Execução da Recomendação sobre Gestão Integrada da Zona Costeira em Portugal* (MAOTDR e INAG, 2006), corrobora a ideia anterior, da inexistência de uma definição universal de zona costeira e quais os seus limites, salientando, que existe

mesmo um uso indiscriminado dos termos “costa”, “zona costeira”, “litoral” ou “orla costeira”, variando em função dos objectivos do estudo onde se aplica o conceito.

Mais recentemente, no âmbito dos estudos do Quadro de Referência Ambiental do PROT Centro (UA e IDAD, 2007), discutem-se cinco cenários de delimitação da zona costeira em estudos de índole regional. O primeiro cenário integra o exposto no relatório *The Changing faces of Europe’s Coastal Areas (EEA, 2006a)*, que considera o limite terrestre da cartografia do Corine Land Cover 2000 como linha de costa. A zona costeira é delimitada por uma faixa cujos limites distam da linha de costa 10 km para o lado terrestre e 10 km para o lado marinho. O segundo cenário assume a perspectiva da homogeneidade espacial do território. Esta região desenvolve-se em terrenos da orla mezo-cenozónica ocidental, onde as cotas raramente ultrapassam os 100 m. Deste modo, entende-se como zona costeira toda a vasta planície de areias marinhas e dunares que acompanham a linha de costa até à cota dos 100 m. As dinâmicas territoriais de ordenamento e gestão municipal são o suporte para a delimitação do terceiro cenário. O princípio subjacente é que as políticas de ordenamento à escala municipal influenciam o desenvolvimento da zona costeira. Assim, o seu limite é flexível variando com os limites territoriais dos concelhos costeiros. As características biofísicas do território são fundamentais no ordenamento e desenvolvimento da zona costeira e, conseqüentemente, na sua definição. O quarto cenário propõe uma delimitação da zona costeira assente na presença de ecossistemas característicos destas áreas: dunas e areias eólicas, estuários e zonas húmidas ou matas litorais que se estendem para o interior do território numa faixa cuja largura poderá variar entre os 2 e os 10 km. O quinto e último cenário integra a perspectiva dos Planos de Ordenamento da Orla Costeira (POOC), onde a zona costeira surge definida por uma faixa ao longo do litoral, designada por “zona terrestre de protecção”, cuja fronteira é imposta por uma linha que dista 500 m do limite da margem das águas do mar (representado pela linha máxima de preia-mar de águas vivas equinociais - LMPMAVE) e pela batimétrica dos 30 m, pelo lado terrestre e marítimo respectivamente. Para efeitos de um plano de ordenamento à escala regional, entenderam os autores deste estudo que o quarto cenário traduz de uma forma mais efectiva os critérios de protecção e valorização territorial da região.

Esta dispersão em torno do conceito de zona costeira, tem-se vindo a repercutir também na legislação produzida ao longo dos anos. Este facto promove definições diferenciadas da interface terra-oceano de acordo com os objectivos específicos de cada diploma. O Decreto-Lei n.º 468/71 de 5 de Novembro, que impõe o regime jurídico do domínio público hídrico, estabelece o conceito de margem das águas do mar, indicando-lhe uma largura de 50 m. O mesmo diploma estabelece ainda uma figura legal inovadora: zona adjacente. Com esta introdução pretendeu-se assegurar a protecção de pessoas e bens

contra eventuais catástrofes provocadas pelo recuo da linha de costa. Entende-se por zona adjacente “toda a área contígua à margem que como tal seja classificada por decreto, por se encontrar ameaçada pelo mar ou pelas cheias” e, em termos de largura, “(..) estendem-se deste o limite da margem até uma linha convencional definida, para cada caso, no decreto de classificação (...)”. No princípio dos anos 90, em virtude das preocupações sobre as diferentes pressões que a zona costeira estava a sofrer, houve a necessidade de criar um diploma legal que enquadrasse com clareza e rigor as regras de ocupação e usos do solo na faixa costeira (MAOTDR e INAG, 2006). Neste contexto, pelo Decreto-Lei n.º 302/90 de 26 de Setembro, é criada uma “faixa costeira” que se estende ao longo da linha de costa, tendo como limite inferior a LMPMAVE e, como superior, a linha situada a 2 km para o interior desta LMPMAVE. Em 1993, o Decreto-Lei n.º 309/93 de 2 de Setembro (regulamenta a elaboração e aprovação dos POOC) estabelece faixas de protecção, denominadas por “faixa marítima de protecção”, delimitadas, para o lado terrestre, por uma linha que dista 500 m da margem das águas do mar e, para o lado do mar, pela batimétrica dos 30 m.

Considerando o exposto, conclui-se que o que se entende por zona costeira e quais os seus limites precisos não deve obedecer a nenhuma imposição rígida, devendo preferencialmente pautar-se pelas especificidades do território em causa e pelo objectivo para o qual se considera.

No âmbito desta dissertação, assumir-se-á a proposta definida no terceiro cenário dos referidos estudos do PROT Centro, entendendo-se “zona costeira” como uma faixa de território influenciada directa e indirectamente pelo mar, de extensão variável, cujos limites são impostos pela linha de margem das águas do mar e pela fronteira interior dos concelhos que compõem a área de estudo. A justificação para esta escolha está intimamente relacionada com o objectivo do estudo, pois pretende-se aferir possíveis situações de conflito provocados pelo crescimento urbano em áreas indicadas por risco de erosão costeira. Esta opção deve-se ao facto dos concelhos em causa serem territorialmente muito homogéneos e das orientações de ordenamento do território serem usualmente implementadas à escala municipal.

2.3 Instrumentos e programas de ordenamento e gestão territorial com implicações na zona costeira

A gestão da zona costeira em Portugal pauta-se por um conjunto de instrumentos de ordenamento e gestão do território. Estes podem ter natureza vinculativa ou um carácter orientador. A tabela 2.1 apresenta, numa perspectiva cronológica, os instrumentos de gestão do território mais importantes para a gestão da zona costeira.

| Ano | Designação | Âmbito |
|------|--|--|
| 1864 | DPH | Cria o que se considera como o mais antigo diploma legal com implicação na gestão da zona costeira nacional, o Domínio Público Hídrico. Declara as praias e margens dos cursos de água propriedade pública do Estado (MAOTDR e INAG, 2006). |
| 1971 | DL n.º 468/71 de 5 de Novembro | Revê, actualiza e unifica o regime jurídico dos terrenos do DPH. Introdução de figura inovadora para protecção de pessoas e bens: “zona adjacente”. Consideram-se zonas adjacentes às margens que, classificadas por Decreto, se encontrem ameaçadas pelo mar ou cheias. |
| 1983 | DL n.º 321/83 de 5 de Julho | Cria a REN ao integrar áreas indispensáveis à estabilidade ecológica do meio e à utilização racional dos recursos naturais. Neste domínio, surgem importantes áreas para a gestão da zona costeira como os ecossistemas costeiros (praias, dunas e arribas), assegurando-lhes uma faixa de protecção. |
| 1990 | DL n.º 302/90 de 26 de Setembro | Estabelece os princípios a que deve obedecer a ocupação, uso e transformação na faixa costeira. Esta faixa é delimitada pela LMPMAVE e pela linha situada a 2 km para o seu interior. Os princípios enunciados neste Diploma deveriam ser contemplados nos diversos IGT, nomeadamente nos PDM (MAOTDR, 2006). |
| 1993 | DL n.º 309/93 de 2 de Setembro | Cria os POOC, ao estabelecer uma faixa ao longo da linha de costa, “faixa de protecção terrestre”, cuja largura máxima não excede os 500m (terrestre), contados a partir do limite da margem do mar (LMPMAVE) e pela batimétrica dos 30m (marítima). Estes Planos visam a protecção e integridade biofísica do espaço, a valorização dos recursos existentes e a conservação dos valores ambientais e paisagísticos, surgindo como instrumentos fundamentais no ordenamento e gestão do litoral português (Alves, 2006). |
| 1994 | DL n.º 45/94 de 22 de Fevereiro | Regula o processo de planeamento dos recursos hídricos. Neste âmbito prevêem-se os Planos de Bacia Hidrográfica (PBH), cujo domínio de intervenção intercepta as zonas costeiras, que, hidrograficamente, recebem todos os fluxos e cargas introduzidos nas bacias (MAOTDR, 2006). |
| 1995 | DL n.º 151/95 de 24 de Junho | Regula a elaboração dos PEOT onde se incluem os POOC. Estes visam a definição de princípios e regras de ocupação, uso e transformação do solo, com objectivo de satisfação de um interesse público concreto. |
| 1998 | Lei n.º 48/98 de 11 de Agosto | Visa assegurar uma adequada organização e utilização do território nacional. Esta Lei consubstancia os PROT, como instrumentos que traduzem as grandes opções de organização e uso do território, promovendo um quadro de referência para os PMOT. |
| 2005 | Lei n.º 54/2005 de 11 de Novembro Lei n.º 58/2005 de 29 de Dezembro | A Lei da Titularidade dos Recursos Hídricos e a Lei da Água transpõem para Direito nacional a Directiva n. 2000/60/CE, estabelecendo as bases e quadro institucional da gestão sustentável da água. |

Tabela 2.1. Diplomas legais com impacto na gestão das zonas costeiras.

Paralelamente a estes diplomas legais surgiram outros documentos, de carácter orientador, mas não menos importantes para a gestão e ordenamento da zona costeira.

Embora não vinculem quer as entidades públicas ou as privadas, estes documentos resultam em princípios de elaboração e gestão que sustentam algumas das opções políticas e enquadram o desenvolvimento de outros documentos legais (Tabela 2.2).

| Ano | Designação | Âmbito |
|------|------------------------------------|---|
| 1981 | Carta Europeia do Litoral | Aprovada em Portugal em 1991, consagrava um conjunto de princípios de salvaguarda e valorização do litoral europeu. Promove a necessidade de integração na gestão das zonas costeiras. |
| 1998 | RCM n.º 86/98 de 10 de Julho | Aprova a estratégia nacional para a orla costeira – Programa Litoral'98. Os objectivos deste programa passavam pela defesa, requalificação e aproveitamento sustentável dos recursos naturais da zona costeira. |
| 1999 | Cartas de Risco do Litoral | O programa sugere uma delimitação da zona costeira continental em trechos ameaçados pelo mar. Para cada trecho define-se um zonamento em três níveis vulnerabilidade: baixa, média e alta (CEHIDRO e INAG, 1998). |
| 2001 | RCM n.º 152/2001 de 11 de Outubro | Estabelece a Estratégia Nacional de Conservação da Natureza e Biodiversidade que assume como crucial toda a zona costeira. Os seus objectivos impõem a necessidade de adopção de uma política do litoral. |
| 2002 | RCM n.º 39/2002 de 1 de Março | Estabelece as bases para a Estratégia Nacional de Desenvolvimento Sustentável. Uma das linhas de orientação deste documento, salienta a necessidade de, no âmbito da GIZC, se promover a actividade aquícola compatível com o ambiente e o reforço dos sistemas de informação e monitorização (MAOTDR, 2006). |
| 2003 | RCM n.º 22/2003 de 18 de Fevereiro | Cria o Finisterra – Programa de intervenção na orla costeira. Pretendeu a criação de uma política para o litoral que integrasse as directrizes europeias sobre GIZC e a promoção de uma gestão do litoral com destaque para a execução das medidas previstas nos POOC aprovados (Alves, 2006). |
| 2004 | RCM n.º 187/2004 de 22 de Dezembro | Aprova o relatório “O Oceano. Desígnio nacional para o Século XXI”. Relacionados com o mar e a zona costeira, define diversos vectores estratégicos, nomeadamente os portos e transportes marítimos, as pescas, o turismo, a náutica de recreio e biotecnologia marinha, entre outros. |
| 2007 | RCM n.º 58/2007 de 4 de Setembro | Aprova o PNPOT, que estabelece as grandes opções com relevância para a organização do território nacional. No domínio da zona costeira, é indicada a erosão costeira como um dos grandes problemas que o ordenamento do território enfrenta. |

Tabela 2.2. Diplomas de natureza orientadora com impacto na gestão das zonas costeiras.

Muitos outros documentos orientadores poderiam ter sido abordados e trazidos a esta discussão, no entanto a sua análise mais pormenorizada sai do âmbito deste estudo, tendo-se optado por referenciar apenas os de maior visibilidade.

2.4 Os problemas da zona costeira

As zonas costeiras são áreas altamente energéticas, muito activas e dinamicamente complexas. Com efeito, bastante instáveis e de equilíbrio débil (Brambati, 2004, DGOTDU e MAOTDR, 2007).

As zonas costeiras têm sido, tradicionalmente, um importante foco de desenvolvimento da sociedade humana (Comissão Europeia, 1999b). A zona costeira portuguesa não é excepção e tem promovido, ao longo dos séculos, a fixação de aglomerados urbanos e actividades económicas em toda a sua extensão. Esta caracteriza-se por ser um local de excelência para actividades de recreio e lazer, e um meio vital para os transportes marítimos e as trocas comerciais (DGOTDU e MAOTDR, 2007, Norberto, 2004). Os resultados do *Programa de Demonstração sobre Gestão Integrada das Zonas Costeiras da União Europeia entre 1997/99* (Comissão Europeia, 1999b), mostram que a dinâmica dos processos costeiros naturais (e.g. regimes de marés, transporte de sedimentos, entre outros) têm influenciado e condicionado a manutenção das actividades humanas nestas áreas. Para além do referido, algumas intervenções menos bem conseguidas por parte do homem, como obras de defesa costeira ou a sobreexploração dos recursos vivos e não vivos, têm contribuído para o exacerbar destes problemas naturais. Com efeito, este relatório aponta quatro problemas fundamentais nas zonas costeiras:

- Desenvolvimento não planeado – potencia o desperdício de investimentos, a perda de oportunidades de emprego sustentável e a degradação ambiental e social destas áreas. A falta de uma visão de desenvolvimento poderá conduzir à destruição dos recursos básicos que suportam a actividade económica, o meio ambiente, que atraem os turistas e, em último caso, à diminuição efectiva da qualidade de vida dos residentes.
- Declínio dos sectores tradicionais compatíveis com o ambiente – pode levar ao desemprego, à emigração em massa e à instabilidade social.
- Erosão costeira – prejudica os habitats naturais e os aglomerados urbanos, destrói actividades económicas e ameaça a vida humana nestes locais. Verificam-se algumas situações onde as soluções de combate à erosão costeira têm agravado o problema.
- Falta de redes de comunicações e de transportes adequadas – conduz à marginalização de algumas áreas. Este é um ponto essencial em territórios insulares.

No ano de 2000, a Comunicação da Comissão ao Conselho e ao Parlamento Europeu (COM(2000) 547 final), relativamente à Estratégia de Gestão Integrada da Zona Costeira para a Europa, indica que as zonas costeiras da Europa enfrentam uma série de problemas de índole biofísica e humana que estão inter-relacionados entre si (Comissão Europeia, 2000).

Relativamente aos problemas físicos e biológicos, o documento explica que são resultado de um desenvolvimento desmesurado que extravasa a capacidade de carga ambiental local, manifestando-se de vários modos:

- Erosão costeira – muitas vezes potenciada pela implementação de infra-estruturas inadequadas e pelo desenvolvimento muito próximo da linha de costa.
- Destruição de habitats – resultado de construção e planeamento urbano desordenado ou devido à sobreexploração marinha.
- Perda da biodiversidade – resultado dos estragos causados às zonas de desova costeiras, agravando o declínio das unidades populacionais costeiras e do largo.
- Contaminação dos recursos hídricos e do solo – migração para a costa de diversos tipos de poluição, nomeadamente, com origem em aterros sanitários.
- Qualidade e quantidade de água – causado quando a procura excede a oferta ou a capacidade de tratamento de águas residuais.

Os problemas antrópicos das zonas costeiras devem-se, em muitos casos, ao aumento do número e da intensidade de formas de utilização destas áreas por parte do homem e são agravados pela existência de problemas de índole biofísica. Segundo o mesmo relatório, os problemas da antropização mais relevantes nestas zonas são:

- Desemprego e instabilidade social – resultado do declínio dos sectores tradicionais ou compatíveis com o meio ambiente, como por exemplo a pesca artesanal costeira.
- Concorrência na utilização de recursos – algumas actividades economicamente mais rentáveis retiram espaço para outras se desenvolverem.
- Destruição do legado cultural e do tecido social – consequência do desenvolvimento descontrolado de algumas actividades, particularmente, do turismo.
- Prejuízos materiais – à medida que a erosão vai afectando o território, acumulam-se os prejuízos e desaparecem algumas oportunidades de desenvolvimento.
- Perda de oportunidade de empregos duradouros – provocada pela degradação dos recursos naturais que suportavam as actividades.

- Marginalização e emigração – agravada pela carência de infra-estruturas adequadas, incluindo redes de comunicação e de transportes.

Brambati (2004) promove uma reflexão sobre os problemas e a gestão da zona costeira. O autor divide os factores indutores dos problemas em dois grupos: os que são naturalmente induzidos e os provocados pela acção do homem.

Relativamente às causas naturais, estas podem derivar de seis factores: i) subida do nível médio das águas do mar – comumente apontada como um dos problemas mais importantes da zona costeira; ii) aluimento de terras – causado pela consolidação de solo macio e em alguns casos pela exploração de petróleo, podendo contribuir para a subida do nível das águas; iii) movimentos tectónicos de pequena e larga escala – directamente relacionados com a presença de falhas; iv) presença de zonas lagunares – interrompem o normal comportamento da deriva litoral, retendo os sedimentos e provocando erosão a sotamar; v) manifestações directas de erosão – destruição de dunas causadas pelas marés de tempestade e; vi) acumulação sedimentar na foz dos rios – provocada por razões hidrodinâmicas, pode conduzir a fortes assoreamentos e interrupção de canais de navegação.

Seis são também os principais problemas induzidos por acções antrópicas. Nomeadamente: i) canais de navegação – constituem barreiras à deriva litoral através da acumulação de sedimentos importantes para o equilíbrio a sotamar; ii) infra-estruturas de protecção costeira – constituem também barreiras à deriva litoral, com efeito semelhante ao anterior. Segundo o autor, estas estruturas produzem mais erosão que acreção; iii) exploração extensiva dos recursos – durante séculos os recursos minerais e marinhos foram considerados como um bem comum, actualmente constata-se que as comunidades costeiras chamam a si o direito de exploração destes bens; iv) poluição – resíduos industriais e das actividades portuárias muitas vezes lançados para o mar junto da costa; v) descargas no mar – resíduos industriais, esgotos e dragados são transportados e despejados em alto mar e; vi) acidentes de navegação graves – acidentes em navios que podem resultar em descargas de óleos e outras substâncias perigosas para o mar. A probabilidade destes acidentes é mais elevada junto a portos, estreitos e rotas de navegação muito concorridas.

Sintetizando os documentos referidos anteriormente, constata-se unanimidade quanto às principais causas dos problemas sentidos nas zonas costeiras, ou seja, são originados por causas naturais/biofísicas e por causas antrópicas. No entanto, a experiência adquirida com o Programa de Demonstração sobre Gestão Integrada da Zona Costeira, promovido em 1999 pela Comissão Europeia, permitiu confirmar que a justificação para a maioria destes problemas resulta de deficiências processuais, de planeamento, políticas

e institucionais, muitas das quais originadas pela falta de consciência da importância económica, social e estratégica de uma gestão sustentável das zonas costeiras (Comissão Europeia, 1999b).

Independentemente das causas imputadas aos problemas, a importância estratégica das zonas costeiras em termos ambientais, económicos, sociais e culturais é tão significativa, que é essencial a sua resolução (DGOTDU e MAOTDR, 2007).

O domínio desta dissertação centrar-se-á em duas das mais significativas causas dos problemas das zonas costeiras: a erosão costeira, um problema de origem natural e, uma acção antrópica, o crescimento dos aglomerados urbanos. O tema do crescimento dos aglomerados urbanos na zona costeira será aprofundado e discutido num capítulo mais adiantado deste estudo.

A erosão costeira

“A intensa e desordenada ocupação do litoral criou pressões e alterações significativas sobre o meio, originando situações de desequilíbrio e de erosão costeira, com graves consequências ambientais e paisagísticas” (DGOTDU e MAOTDR, 2007). Este é um problema à escala global, estimando-se que aproximadamente 70 % das praias arenosas a nível mundial se encontrem em regressão (Zhang *et al.*, 2004).

No domínio do planeamento, erosão costeira pode considerar-se como um movimento indesejado da linha de costa em direcção a terra (Comissão Europeia, 1999a). A aplicação do termo indesejado deve-se ao facto de que só existem efectivos problemas de erosão costeira quando estamos na presença de uma intensa ocupação humana, ou seja, quando não existem aglomerados urbanos e outro património, construído e natural, próximos de uma linha de costa em recuo, existe erosão costeira, no entanto, o seu resultado não é grave (Dias e Ferreira, 1994).

A erosão costeira é um processo induzido por uma combinação de múltiplos factores, gerados naturalmente ou como resultado directo ou indirecto de actividades antrópicas. Embora existam opiniões divergentes quanto às causas que provocam a erosão costeira, o que efectivamente se nota, é uma convergência para um conjunto de causas-chave.

O estudo de *Diagnóstico da Geomorfologia e da Dinâmica Sedimentar no troço costeiro entre Espinho e a Nazaré* (Dias e Ferreira, 1994), define a elevação do nível do mar, a diminuição da quantidade de sedimentos fornecidos ao litoral, a degradação antropogénica das estruturas naturais e, as obras pesadas de engenharia como factores responsáveis pela erosão costeira neste trecho. No decorrer deste estudo, os autores analisam o impacto que cada uma destas causas apresenta para a erosão costeira,

concluído que, embora o nível médio das águas do mar tenha subido cerca de 1,7 mm/ano desde 1920, a degradação antropogénica das defesas naturais (e.g. dunas) promoverem taxas de recuo mais elevadas e a construção de algumas obras pesadas de engenharia para defesa costeira acelerarem o processo erosivo a sotamar, é a diminuição do fornecimento sedimentar, influenciada pelas barragens, pelas dragagens e pela extracção de inertes (i.e. acções antrópicas), o maior responsável pelo aumento das dinâmicas erosivas neste trecho.

Estas mesmas causas são apontadas anos mais tarde pelo Resolução do Conselho de Ministros que aprova o Programa Finisterra (RCM n.º 22/2003 de 18 de Fevereiro), desta vez para a erosão a nível nacional. O relatório sobre os ensinamentos retirados do Programa de Demonstração em GIZC na Europa (Comissão Europeia, 1999a) numa alusão à problemática da erosão costeira, refere que esta se deve em grande parte a três factores distintos. São eles: a diminuição de sedimentos em transporte, a redução na deposição de inertes e os aluimentos de solo (naturais e antrópicos). Refere-se ainda que, grande parte da zona costeira europeia sofre de um processo erosivo natural, com efeito, mesmo com uma gestão territorial que condicione certas actividades humanas, o processo erosivo continuará. Deste modo, nas zonas ameaçadas onde a pressão cultural, social e estratégica não seja muito evidente, deverá equacionar-se a “retirada planeada” e promover-se a limitação de novas construções (Comissão Europeia, 1999a). Segundo (Barbosa, 2003), a erosão é um fenómeno natural acelerado por acções antrópicas. Com efeito, a construção de vários tipos de obra de defesa costeira, embora representem uma atenuante ao problema a barlar, antecipam o processo erosivo a sotamar. As dragagens são outro exemplo: necessárias para permitir a segurança na navegabilidade à entrada dos Portos, intensificam a erosão a sotamar.

Pope e Curtis (2004), confirmam que o processo erosivo é provocado por uma combinação de factores naturais agravados por acções humanas. No entanto é inovador ao afirmar que, além dos factores já referidos anteriormente, a topografia subaquática, os padrões de infiltração do fundo marinho e as alterações provocadas pelas tempestades, devem ser contabilizadas como causas naturais de erosão.

No âmbito de um estudo sobre o risco de exposição das frentes urbanas às intervenções de defesa costeira, discriminam-se, com mais pormenor, os principais factores indutores de erosão costeira. Assim, sem hierarquização, Coelho (2005) refere as potenciais causas de erosão e instabilidade das zonas costeiras:

- os ventos geram transporte eólico, removendo e acumulando areias;
- as marés astronómicas e meteorológicas, podem originar galgamentos com inundações das praias;

- as tempestades podem conduzir à redução de areia das bermas (emersas) das praias e das dunas e à movimentação de volumes de areia a sotamar;
- a subida do nível médio das águas do mar, tornando mais frequentes e prolongados os galgamentos aquando das tempestades;
- os aproveitamentos hidráulicos enfraquecem as fontes aluvionares;
- os quebra-mares portuários originam a interrupção do transporte sólido litoral;
- as dragagens e os canais de navegação conduzem ao défice sedimentar;
- a destruição de cordões dunares leva ao défice sedimentar e a galgamentos;
- a urbanização através de construções nas zonas de interacção fisiográfica, nomeadamente praias e dunas, pode conduzir à destruição ou fragilização destes sistemas;
- as obras de protecção costeira podem originar défices sedimentares a sotamar.

Por último, o PNPOT que considera a protecção e valorização da zona costeira um importante recurso natural, essencial para um correcto ordenamento do território, refere que a erosão costeira sentida no litoral português tem fundamentalmente três causas: a diminuição do afluxo de sedimentos como consequência, entre outros factores, da construção de barragens; a ocupação desregrada da faixa litoral; e a subida eustática do nível do mar (DGOTDU e MAOTDR, 2007). Atendendo à natureza e objectivo deste documento, percebe-se a inclusão da ocupação pouco planeada do litoral com umas das causas de erosão neste litoral. Refere-se ainda a constatação de que os trechos de litoral de erosão mais intensa coincidem muitas vezes com locais de pressão urbana significativa.

2.5 Revisão de estudos sobre o potencial de vulnerabilidade e risco da zona costeira à erosão em Portugal

A zona costeira portuguesa é, do ponto de vista da hidráulica marítima, uma das mais energéticas e dinâmicas da Europa; como tal, grande parte da sua extensão sofre de graves problemas de erosão (Barbosa, 2003). Actualmente, muitos são os casos de problemas associados à erosão costeira noticiados pela comunicação social. Os mais mediáticos são o Bairro dos Pescadores em Esmoriz, a Praia da Vagueira, ambos na região Centro ou o Parque de Campismo em São João da Caparica, no concelho de Almada. No entanto, em muitos outros locais sucedem-se com alguma frequência as

inundações, a destruição de infra-estruturas, as rupturas de cordão dunar, a destruição de habitats com a consequente perda efectiva de território e de biodiversidade, entre outros.

Apesar de todos estes casos, alguns deles com consequências bastante gravosas para as populações locais, os estudos técnicos ou trabalhos de investigação científica sobre os cenários do potencial de vulnerabilidade e de risco de erosão costeira não se têm realizado em número significativo nem têm sido suficientemente divulgados (Coelho, 2005). O autor considera que a avaliação das vulnerabilidades e dos riscos de exposição das zonas costeiras às acções do mar não é possível sem uma boa capacidade para previsão de cenários. Contudo, o grau de conhecimento e de modelação dos fenómenos costeiros é ainda bastante limitado.

O objectivo desta secção, é apresentar os estudos técnicos e trabalhos de investigação científica mais relevantes no domínio da definição das condições de vulnerabilidade e risco de erosão costeira em Portugal continental. Por ordem cronológica apresentar-se-ão a Carta de Risco do Litoral (CRL), o Projecto EUrosion e o Projecto SECUR Ria.

2.5.1 Carta de Risco do Litoral (CRL)

Em 1998 estabeleceu-se um protocolo de cooperação técnica entre o Instituto da Água e o Centro de Estudos de Hidrossistemas do Instituto Superior Técnico (CEHIDRO), com intuito de realização dos trabalhos relativos à CRL e correspondente Notícia Explicativa. A CRL propôs uma imagem dos territórios costeiros que, numa primeira delimitação, poderiam ser considerados como ameaçados pelo mar. Para tal, dividiu-se a costa portuguesa em dez trechos que, do ponto de vista geomorfológico e aluvionar, apresentavam características homogéneas: células sedimentares costeiras.

Sobre estas células incidiu um zonamento que se designou por “zonas de risco”. Entendeu a equipa de trabalho que as zonas de risco integravam os territórios costeiros que tecnicamente pudessem ser ameaçados pelo mar. Nestes verificava-se ou previa-se que viessem a acontecer erosões que conduziriam à perda irreversível do território costeiro, e acções de agitação marítima que se traduzissem em inundações da faixa litoral (CEHIDRO e INAG, 1998). Refira-se ainda que a Carta de Risco deverá ser entendida como uma carta de vulnerabilidades da zona costeira às acções do mar, uma vez que o seu zonamento não foi condicionado pelo uso que se observou nestes territórios nomeadamente pela ocupação humana e pela existência de edificações.

Para o zonamento das Cartas de Risco, recorreu-se aos estudos de base realizados no âmbito dos POOC (DL n.º 309/93 de 2 de Setembro), considerando as vulnerabilidades do território referentes à erosão costeira e à inundação. Deste modo, analisaram-se e

interpretaram-se diversos elementos de caracterização dos locais, tais como: a geomorfologia, a geologia, a orientação da linha de costa, a altimetria, a existência de protecções naturais, o clima de agitação, a história do local, as tendências evolutivas, os trabalhos de reconhecimento de campo e, o conhecimento do local. O zonamento resultante considera então três classes de risco (vulnerabilidade): baixo, médio e alto. A figura 2.2 mostra excertos da Carta de Risco do Litoral no seu Trecho 2: Foz do Douro-Nazaré, onde se podem observar as delimitações impostas pelo zonamento a três níveis de risco.

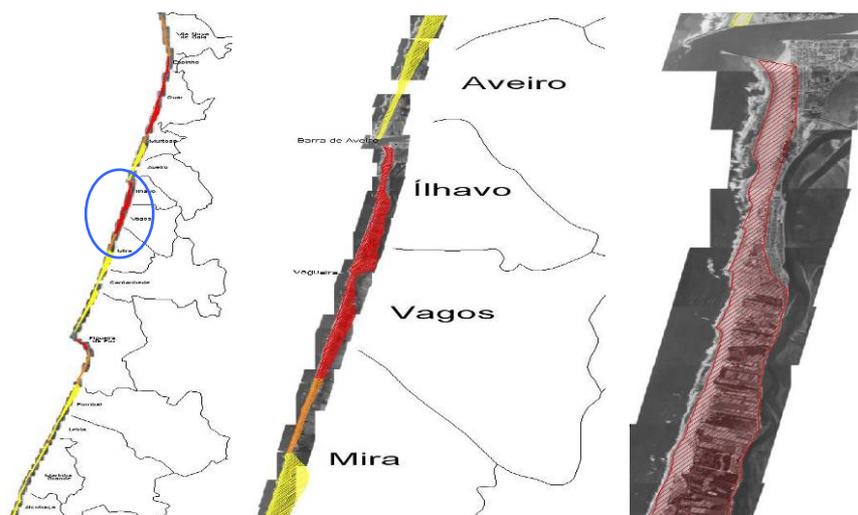


Figura 2.2. Risco Alto (vermelho), Risco Médio (cor-de-laranja) e Risco Baixo (amarelo) - delimitações de risco na Zona costeira Centro de Portugal. Fonte: Carta de Risco do Litoral, Trecho 2: Foz do Douro-Nazaré (CEHIDRO e INAG 1998).

Em termos de compatibilização de usos, a expansão urbana em zonas de risco é o problema mais evidente, devendo ser controlada a todo o custo (CEHIDRO e INAG, 1998).

2.5.2 Projecto EUrosion

Por iniciativa do Parlamento Europeu, a Direcção-Geral do Ambiente supervisionou o Projecto EUrosion que visou a quantificação do estado, impacto e tendências de erosão na Europa e a avaliação das acções necessárias ao nível da União Europeia, dos Estados-Membros e das Regiões (IHRH e POCOAST, 2006). O Projecto teve a duração de dois anos e consistiu na apresentação de quatro resultados:

- avaliação cartográfica da exposição à erosão das zonas costeiras da Europa, com base numa análise em ambiente SIG;

- revisão das práticas e experiências de gestão da erosão ao nível local e regional;
- conjunto de recomendações para uma melhor integração dos assuntos relacionados com a erosão costeira nos procedimentos de impacte ambiental, planeamento territorial e prevenção de acidentes, e também nos sistemas de informação e apoio à decisão ao nível regional e local;
- série de políticas com objectivo de melhorar a gestão da erosão costeira no futuro, nos diferentes níveis.

No âmbito deste Projecto, produziu-se um mapa de exposição das regiões europeias à erosão. Para cada uma delas calculou-se um conjunto de 13 indicadores. Os indicadores de vulnerabilidade (9) incluem análise de elementos tais como: a subida do nível médio das águas do mar; a instabilidade da linha de costa; alterações nos padrões de erosão nos últimos 15 anos; o crescimento das áreas urbanizadas nas zonas costeiras entre 1975 e 1990; o défice sedimentar fluvial; a erosão do substrato geológico; construção e obras de engenharia costeira nas frentes marítimas. Os indicadores de impacte (4) avaliam elementos relativos à população existente; às áreas urbanas e industriais; às áreas de grande valor ecológico e; ao crescimento das áreas urbanizadas nas zonas costeiras entre 1975 e 1990. Estes indicadores, de vulnerabilidade e de impacte, foram representados com uma determinada pontuação cujo resultado final se traduz numa classificação de “risco de erosão costeira” que varia numa escala de quatro níveis distintos: exposição muito elevada, elevada, moderada e baixa. Em Portugal estas regiões correspondem às divisões territoriais NUT 2, sendo que a regiões Norte, Centro e Algarve apresentam exposição elevada à erosão, a região de Lisboa e Vale do Tejo, exposição moderada e o Alentejo uma exposição baixa à erosão costeira (Figura 2.3).

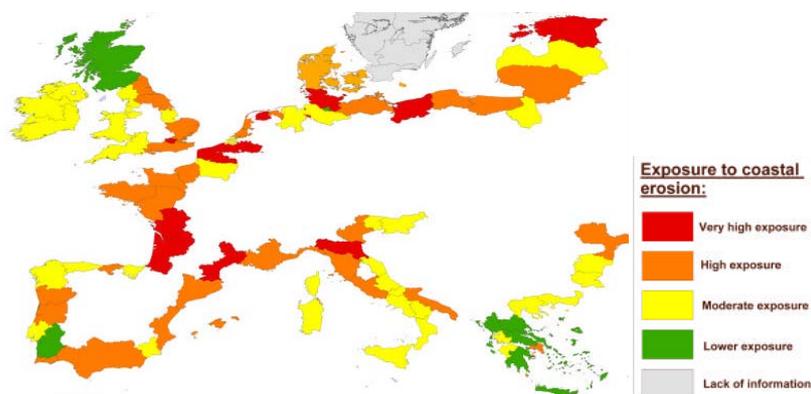


Figura 2.3. Mapa de Exposição das Regiões Europeias à Erosão Costeira. Fonte: Projecto EUrosion (RIKZ *et al.*, 2004).

À parte da indicação relativa à exposição das regiões à erosão costeira, o EUrosion avaliou um conjunto de casos de estudo (60) em toda a Europa com intuito de definir estratégias comuns de sucesso na gestão do problema da erosão. Cinco desses casos são em Portugal: Arquipélago dos Açores, Estela no concelho da Póvoa de Varzim, o segmento Vagueira-Mira na Região Centro e Vale do Lobo no Algarve. Atendendo ao facto que na apresentação da CRL se mostrou um exemplo da zona costeira Centro de Portugal, dos cinco casos de estudo do Projecto EUrosion, seleccionar-se-á um caso de estudo da mesma unidade geográfica, neste caso o trecho Vagueira-Mira.

Toda a costa Centro de Portugal, onde se insere o segmento costeiro Vagueira-Mira, caracteriza-se pela existência de praias arenosas de baixa altitude (Veloso-Gomes *et al.*, 2004). Em toda a extensão deste trecho são evidentes os sinais da acção do mar. Não obstante da inexistência de frentes urbanas a preservar, o recuo da linha de costa nesta área pode resultar em problemas significativos, nomeadamente as rupturas da restinga (IHRH e UAB, 2003). O sistema dunar é a única protecção natural que este trecho de costa possui; com efeito, eventuais episódios de ruptura da restinga não ocorrem frequentemente devido à regularidade das obras de reparação e reposição dunar. O resultado do rompimento desta restinga (salinização dos terrenos) revelar-se-ia desastroso e com consequências muito gravosas para as populações locais muito dependentes da prática agrícola nestes solos (IHRH e UAB, 2003).

Segundo o relatório do caso de estudo Vagueira-Mira, este trecho é classificado segundo o padrão de evolução da linha de costa e segundo o tipo de erosão que se verifica. Assim, este troço de costa é “muito vulnerável” à erosão costeira, assistindo-se a um de recuo cada vez mais acentuado da linha de costa que poderá culminar na criação de novas embocaduras. Refere-se ainda a zona do Labrego e a do Areão como zonas de erosão, respectivamente, crónica e pontual.

O EUrosion concluiu que devem ser feitos esforços para melhorar a resiliência das zonas costeiras através da melhoria da gestão dos sedimentos e da reserva de espaço suficiente para a ocorrência dos processos costeiros (IHRH e POCOAST, 2006).

2.5.3 O projecto SECUR-Ria

O Projecto SECUR-Ria nasceu de um protocolo celebrado entre a Universidade de Aveiro (UA) e a Associação de Municípios da Ria de Aveiro, com objectivo de definir as condições de risco de incêndio florestal, de risco de cheia, de risco de acidente industrial e de erosão costeira na sua área de intervenção. O propósito fundamental deste trabalho foi dotar os municípios integrantes e a própria AMRia de ferramentas de apoio à decisão, que permitam aos municípios complementar as análises no âmbito dos Planos de

Emergência Municipal, e à associação ter uma visão abrangente do território que privilegie a gestão do risco à escala intermunicipal (Coelho *et al.*, 2006a).

No domínio da erosão costeira, seguiu-se a metodologia proposta por (Coelho, 2005, Coelho *et al.*, 2006b), que define a vulnerabilidade da zona costeira às acções energéticas do mar como uma combinação de nove factores de vulnerabilidade. Estes factores de vulnerabilidade incluem características naturais e antropogénicas, assim como registos temporais sobre a dinâmica desta costa. São eles: a cota topográfica (CT), a distância à linha de costa (DC), a amplitude de marés (AM), a altura de onda significativa (AO), as taxas de erosão e acreção (EA), a geologia (GL), a geomorfologia (GM), o revestimento do solo (RS) e as acções antropogénicas (AA). Cada um destes factores foi representado segundo uma escala de vulnerabilidade, atribuindo-se o valor “1” a espaços de “muito baixa” vulnerabilidade e o valor “5” a espaços de vulnerabilidade “muito alta”. A combinação dos nove parâmetros com intuito de uma classificação de vulnerabilidade global do território foi feita de uma forma ponderada, ou seja, atribuíram-se pesos diferentes aos factores de vulnerabilidade. O peso que deve ser atribuído a cada parâmetro não é necessariamente igual em todos os locais da zona costeira, pelo que a análise da melhor forma de ponderação é ambígua e difícil de efectuar (Coelho, 2005). Neste caso concreto, seguiu-se a ponderação avançada por Silva e Granjo (2006) que, no relatório Vulnerabilidades das Zonas Costeiras às Acções Energéticas do Mar, exploram uma análise de sensibilidade de cada um destes parâmetros. A tabela 2.3 mostra o peso atribuído a cada um dos factores.

| Factores | CT | DC | AM | AO | EA | GL | GM | RS | AA | Total |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|
| Pesos | 0.21 | 0.21 | 0.04 | 0.07 | 0.07 | 0.21 | 0.07 | 0.07 | 0.04 | 1.00 |

Tabela 2.3. Atribuição de pesos aos parâmetros de vulnerabilidade. Fonte: SECUR-Ria – Erosão Costeira (Coelho *et al.*, 2006a).

Este estudo permitiu concluir que as vulnerabilidades mais elevadas se situam numa pequena faixa ao longo da linha de costa e que os territórios afastados mais que 5000m da linha de costa apresentam vulnerabilidade muito baixa. Esta forma de combinar e integrar informação permitiu criar uma ferramenta eficaz para delimitação de zonas vulneráveis, auxiliando os órgãos de ordenamento e planeamento (Coelho *et al.*, 2006b).

Na última secção do capítulo seguinte aplicar-se-á este modelo à área de estudo, apresentando-se aí o mapa de vulnerabilidade global resultante da combinação ponderada de todos estes factores.

3. A ÁREA DE ESTUDO: TRECHO OVAR-MIRA

3.1. Objectivos do capítulo

Este capítulo desenvolve-se totalmente em redor das características da área de estudo seleccionada, o trecho Ovar-Mira. A primeira secção destina-se ao enquadramento geográfico da área de estudo, focando aspectos mais gerais como a localização, o clima ou o relevo e temas especificamente relacionados com o processo de erosão costeira como o regime de ventos e marés ou a agitação marítima. A segunda e terceira secções destinam-se, respectivamente, à análise da evolução da população e à avaliação das dinâmicas de transformação do uso e ocupação do solo da área de estudo. A descrição e avaliação do trecho Ovar-Mira do ponto de vista das localizações críticas em termos de vulnerabilidade e risco de erosão costeira são apresentadas na última secção deste capítulo.

A selecção da área de estudo

A selecção do trecho Ovar-Mira, zona costeira da Associação de Municípios da Ria de Aveiro, como área de estudo deve-se a uma conjuntura de factores, directamente relacionados com a expansão urbana e as manifestações de erosão costeira.

Por um lado este segmento costeiro, marcado pela presença de um extenso e frágil cordão dunar, praias arenosas de cotas baixas e desenvolvido ao longo de deltas, é considerado o mais dinâmico tipo de costa (Coelho, 2005). Por outro lado, cerca de 75% da população portuguesa vive actualmente na zona costeira (MAOTDR e INAG, 2006), estimando-se que nos próximos anos este número venha a aumentar significativamente, o que implica um crescimento das áreas urbanas.

Não sendo recentes, as manifestações de erosão costeira neste trecho têm vindo a ser cada vez mais frequentes e com consequências mais gravosas e onerosas para a população. A proliferação de barragens para aproveitamento hidroeléctrico no Rio Douro é apontada como a principal causa para as elevadas taxas de recuo da linha de costa, implicando um aumento dos episódios de erosão costeira neste troço (Silva *et al.*, 2007). Os últimos Invernos têm sido ilustrativos dos efeitos deste processo, havendo permanentes chamadas de atenção por parte da comunicação social para situações de população e outros bens em risco eminente (Bairro dos Pescadores em Esmoriz (Ovar), Praia da Vagueira (Vagos) ou o Parque de Campismo da Costa da Caparica). Diversos relatórios técnicos e estudos científicos têm assumido este trecho como um dos mais

preocupantes em termos de erosão costeira (Barbosa, 2003, CEHIDRO e INAG, 1998, Dias e Ferreira, 1994, Hidrotécnica Portuguesa *et al.*, 1998, Veloso-Gomes *et al.*, 2004).

Os factores acima descritos juntamente com uma razoável disponibilidade de informação temática, justificam a selecção da zona costeira da Associação de Municípios da Ria de Aveiro como área de estudo.

3.2 Enquadramento geográfico

A área de estudo localiza-se na Região Centro de Portugal, mais concretamente no distrito de Aveiro, compreendendo o território de seis concelhos costeiros, repartidos entre as NUT III Baixo Vouga (5) e Baixo Mondego (1). De Norte para Sul: Ovar, Murtosa, Aveiro, Ílhavo, Vagos e Mira (Figura 3.1).

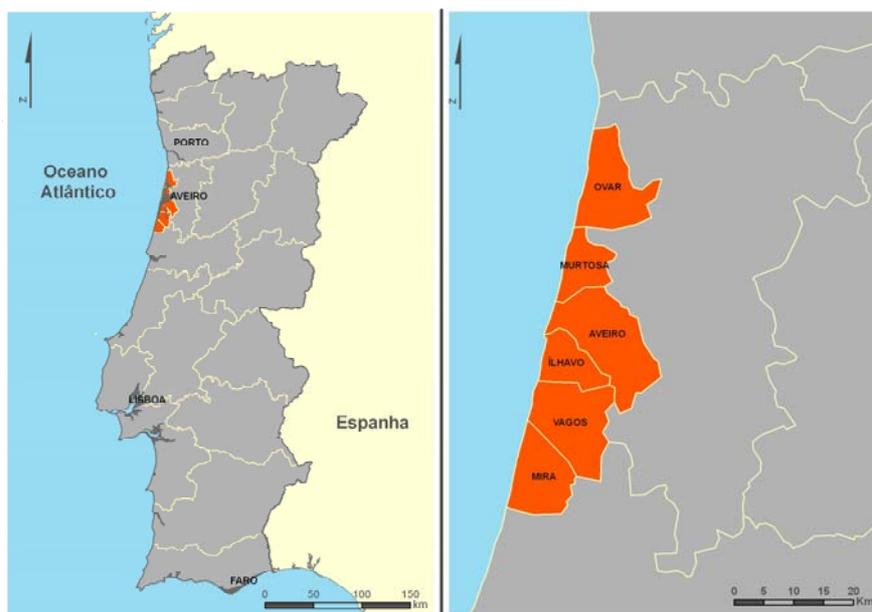


Figura 3.1. Enquadramento da área de estudo.

Tal como no restante território de Portugal Continental, a área em causa integra-se numa zona de clima mediterrâneo, com influência directa do oceano, caracterizados pela presença de duas estações bem marcadas, quer do ponto de vista térmico quer pluviométrico. Usualmente, após um Verão seco e quente segue-se um Inverno chuvoso e de temperaturas suaves (Hidrotécnica Portuguesa *et al.*, 1998).

Relativamente aos recursos hídricos, destaca-se nesta área a presença de um curso de água principal e sua bacia hidrográfica (Rio Vouga) e de diversas zonas húmidas e lagunares, nomeadamente, a barrinha de Esmoriz, a ria de Aveiro e a barrinha de Mira. Estes são elementos hidrológicos cujas utilizações nem sempre se adequam às suas

características, o que se traduz na existência de graves perturbações nos sistemas aquáticos (Hidrotécnica Portuguesa *et al.*, 1998).

De acordo com as grandes unidades geológicas de Portugal, a área insere-se na Orla Mesocenozóica Ocidental, que corresponde a uma bacia de sedimentação instalada no bordo ocidental do Maciço Hespérico. A Orla é constituída por rochas sedimentares mesocenozóicas, com grande número de fracturas, possivelmente tardi-hercínicas reactivadas, e dobras amplas de orientação Norte-Sul (Dias e Ferreira, 1994).

Em termos geomorfológicos, esta faixa continental corresponde a uma zona aplanada, de baixa altitude e de grande uniformidade topográfica. Um elemento diferenciador desta área é a zona húmida correspondente à laguna de Aveiro, muito marcada pela existência de ilhas e ilhotas e de um elevado número de canais e esteiros de baixa profundidade. A separação da laguna para o mar faz-se por um cordão arenoso de largura variável, sendo a barra artificial do Porto de Aveiro a única forma de comunicação entre estes. Esta zona costeira é muito marcada pela presença de dunas (holocénicas), onde apenas os elementos naturais, estruturas portuárias e povoações interrompem a sua continuidade (Dias e Ferreira, 1994).

A área de estudo apresenta uma linha de costa com uma extensão linear de aproximadamente 65 km. Tal como no resto do País, o regime de marés nesta área é do tipo semi-diurno, ou seja, num período de 24 horas verificam-se dois momentos de preia-mares e de baixa-mares. Coelho (2005) refere um trabalho desenvolvido pelo LNEC (1996), com base nos registos de altura, direcção e período da onda no Porto de Leixões, onde é indicado um ciclo de 12 h e 25 m entre duas marés de preia-mar. Esse mesmo estudo refere que a gama de valores típicos de maré em Leixões pode variar entre uma cota máxima de +3,88 m (ZH) numa situação de preia-mar de águas vivas e um valor máximo de +0,12 m (ZH) numa situação de baixa-mar em águas vivas. Os valores médios situam-se entre os 3,50 m (ZH) e os 0,50 m (ZH) para cada uma das marés.

O regime de ventos é um importante dado na caracterização do clima de agitação costeira de uma região, pois este é responsável pela formação e direcção das ondas na superfície do mar (Coelho, 2005). Este autor realça a dificuldade em estabelecer um regime típico de ventos para a costa Noroeste de Portugal contudo, pode assumir-se alguma uniformidade nas principais tendências, como por exemplo as maiores velocidades nos rumos de Sul e Sudoeste e as maiores frequências de ocorrência provenientes de quadrantes Norte e Noroeste. Segundo dados do Instituto de Meteorologia reportados ao período de 1980 a 2002, os ventos de Norte e Noroeste registam uma ocorrência anual de 24,0% e 20,1%, em velocidades médias de 4,9 e 4,3 m/s respectivamente e fazem-se sentir maioritariamente nos meses de Verão.

A agitação marítima caracteriza-se pela altura e período de onda sentido. Na costa Noroeste portuguesa, a altura de onda significativa e o respectivo período são, em geral, entre os 2 m a 2,5 m e de 9 s a 11 s, maioritariamente provenientes dos quadrantes WNW e NNW, geradas por ventos no Atlântico Norte (Coelho, 2005). Ainda assim, o autor refere que o registo histórico da bóia ondógrafo do Porto de Leixões, comprova a ocorrência de uma onda de altura máxima significativa de 8,89 m, ocorrida durante o temporal que durou de 26 de Dezembro de 1998 a 1 de Janeiro de 1999.

A existência reconhecida de ambientes naturais e de espécies de elevado valor para a conservação da biodiversidade justifica a classificação de algumas porções da área de estudo com um estatuto especial: Área Protegida e Áreas Classificadas. Pertencente à Rede Nacional de Áreas Protegidas, surge a Reserva Natural das Dunas de São Jacinto, classificada pelo DL n.º 41/79 de 6 de Março com objectivo de preservação de um cordão dunar muito sensível a perturbações de ordem antrópica. As áreas classificadas encontram-se abrangidas pela Rede Natura 2000, resultante da implementação da Directiva *Aves* e *Habitat*. Destas realça-se a Zona de Protecção Especial (ZPE) da Ria de Aveiro – extensa zona húmida, na sua maioria sujeita a marés, com significativas áreas de caniços (Directiva *Aves*) (ICN, 2007a) – e as Dunas de Mira, Gândara e Gafanhas – cordão dunar contínuo, formando uma planície de substrato arenoso com pequenas lagoas abastecidas por linhas secundárias de água doce como Sítio da Lista Nacional (Directiva *Habitats*) (ICN, 2007b) (Figura 3.2).

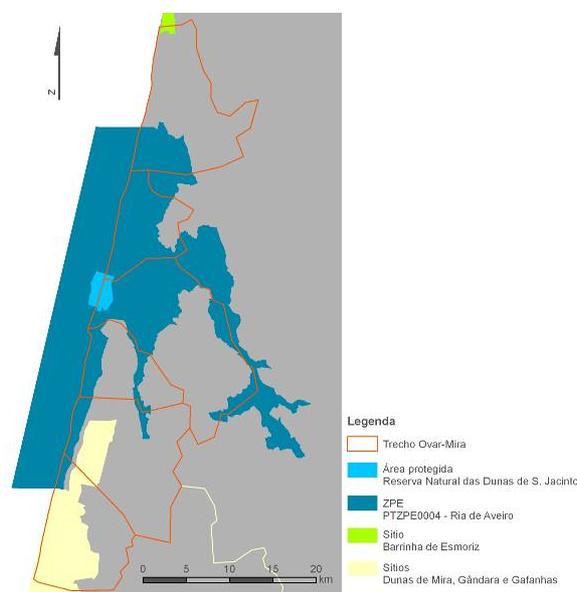


Figura 3.2. Áreas com estatuto especial de protecção. Fonte: Atlas do Ambiente.

3.3 Evolução da população

A evolução da população residente no trecho Ovar-Mira nos últimos anos mostra uma tendência de crescimento. Entre 1991 e 2006, segundo dados provenientes do Recenseamento Geral da População e Habitação (1991 e 2001) e da Estimativa Anual da População (2006), a população cresceu 14.09% e, entre 2001 e 2006, 3.86%, correspondendo a um total de 191242, 210089 e 218189 residentes em 1991, 2001 e 2006 respectivamente. Ao comparar-se a tendência da área de estudo com a região Centro de Portugal, que cresceu 5.63% (1991-2006) e 1.60% (2001-2006), verifica-se que a área de estudo registou um crescimento mais intenso que a unidade territorial onde se insere.

A figura 3.3 mostra que, em geral, entre 1991 e 2006 o número de residentes nos concelhos da área de estudo subiu. Contudo, esse crescimento não é homogéneo em toda a área. Assim, Ovar, Ílhavo e Vagos tiveram um crescimento uniforme desde 1991, Aveiro estagnou o seu crescimento em 2001 e Murtosa e Mira mantiveram-se relativamente constantes. De referir o crescimento intenso verificado na década de 90 em Ovar e, principalmente, em Aveiro e a perda de população registada em Mira entre 1990 e 2006.

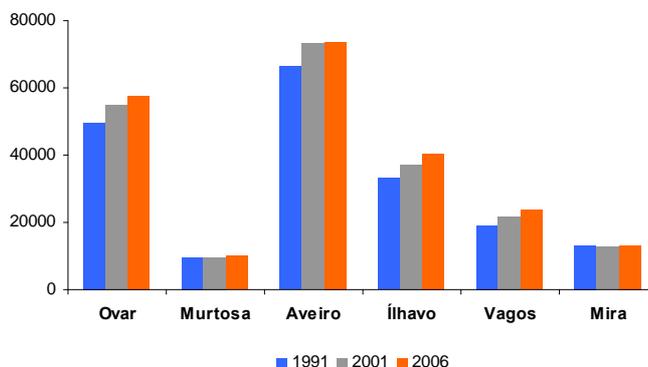


Figura 3.3. Evolução da população residente na área de estudo. Fonte: INE, Censos 91 e 01; Estimativa Anual da População (2006).

Uma análise mais detalhada, ao nível da freguesia, mostra que a freguesia de Ovar é a que apresenta mais população residente, 17185 habitantes em 2001. No outro extremo encontra-se a freguesia do Seixo, em Mira, com 74 habitantes. Relativamente às freguesias costeiras, Ovar continua a ser a mais habitada, contudo, São Jacinto com 1016 residentes é a freguesia menos povoada. Das 45 freguesias que compõem a área de estudo, somente 10 registaram perdas de população residente. Destas, apenas a Gafanha da Encarnação (-127 hab.) no concelho de Ílhavo e a Praia de Mira (-182 hab.)

em Mira, são freguesias costeiras. Este dado exemplifica a pressão populacional que se verifica na zona costeira.

Reportando ao ano de 2006, Ílhavo é o concelho que apresenta densidade populacional mais elevada (549 hab/km²). Seguem-se Ovar e Aveiro, com densidades de 390 hab/km² e 368 hab/km² respectivamente. Vagos (144 hab/km²), Murtosa (134 hab/km²) e Mira (107 hab/km²) apresentam as densidades mais baixas desta zona.

3.4 Análise da ocupação do solo

Nesta secção pretende-se construir uma percepção das dinâmicas e tendências dos usos e ocupações no trecho Ovar-Mira. Avaliar um mapa de uso e ocupação do solo para uma determinada área proporciona uma ideia da distribuição espacial e das áreas afectas a cada tipologia de ocupação. Contudo, se o objectivo passar por analisar e quantificar as alterações à ocupação do solo, é imprescindível o recurso a mapas de uso e ocupação do solo para diferentes datas.

A informação utilizada nesta secção é originária da base de dados cartográfica do projecto CORINE Land Cover, implementado com o objectivo de desenvolvimento de um sistema de informação sobre o estado do ambiente a nível europeu (Caetano *et al.*, 2005). Esta inclui informação precisa e detalhada sobre a ocupação/ uso do solo para os anos de 1990 e 2000. Relativamente às especificações técnicas, estes conjuntos de dados geográficos encontram-se à escala 1:100000, respeitam uma unidade mínima cartográfica (UMC) de 25 ha (CLC90 e CLC2000) e um espaçamento entre linhas de 100 m. Importa referir que no caso das alterações (CLC-alterações), estas são cartografadas sempre que exista uma expansão ou retracção numa unidade mínima cartográfica de 5 ha contígua a áreas superiores a 25 ha no CLC90 (Painho e Caetano, 2006). Este facto impõe algumas reservas na análise dos resultados, pois nestes não será contemplada a alteração de zonas isoladas com áreas inferiores a 25 ha.

A nomenclatura adoptada, explicada por (Bossard *et al.*, 2000), foi pensada para ser útil em planeamento e ordenamento do território, dividindo-se em três níveis de detalhe. A passagem de um nível mais detalhado para um menos detalhado consegue-se através da denominada generalização por categorização, que promove a eliminação do detalhe pela agregação de categorias mais genéricas (Caetano *et al.*, 2001). O nível 1 apresenta o menor detalhe, descrevendo cinco mega-classes de ocupação/uso do solo, segue-se o nível 2, de detalhe intermédio que assume 15 classes de ocupação do solo e, por último, o nível 3 que sugere 44 tipologias de ocupação do solo.

Tendo presente o âmbito e objectivo desta dissertação, a análise das transformações à ocupação do solo na área de estudo faz-se em duas etapas. Na primeira, analisam-se as

alterações sentidas entre o ano de 1990 e 2000 num ponto de vista mais abrangente, ou seja, tendo por base as tipologias definidas no nível 1 da nomenclatura CLC. Na segunda fase analisam-se igualmente as alterações ocorridas no mesmo período, mas numa perspectiva mais detalhada e direccionada às classes que compõem os territórios artificializados. No caso específico da área de estudo, a imagem de satélite que serve de base à cartografia do CLC90 data de 26 de Agosto de 1985, deste modo a análise das alterações ao uso e ocupação do solo reporta-se a um período de 15 anos.

A figura 3.7 mostra os mapas de ocupação do solo, no nível 1 da nomenclatura CLC para o período de análise. Da análise visual desta figura ressalta fundamentalmente um aspecto: o crescimento dos territórios artificializados através a expansão das zonas existentes e o aparecimento de novas áreas, principalmente sobre áreas que integravam espaços de Florestas e meios semi-naturais em 1990.

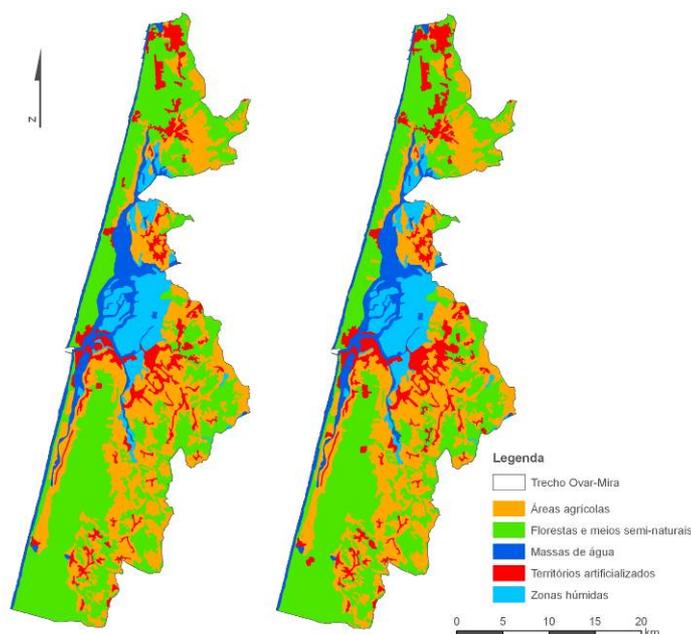


Figura 3.7. Mapas de ocupação do solo para 1990 (esquerda) e 2000 (direita). Fonte: CORINE Land Cover, Instituto do Ambiente.

O trecho Ovar-Mira estende-se por uma área de aproximadamente 783 km². A quantificação das áreas relativas a cada classe de ocupação do solo para o ano de 1990 e 2000, permite constatar que, apesar da diminuição registada, os solos ocupados pelas Florestas e meios semi-naturais são os mais frequentes nesta área, representando 43,2% (1990) e 41,7% (2000) da área total. Por outro lado, deve salientar-se o aumento registado na área referente aos Territórios artificializados, que passaram de 8,3% em 1990 para 10% em 2000. As áreas relativas aos outros tipos de ocupação do solo

registaram poucas oscilações. A tabela 3.1 mostra as áreas afectas a cada tipologia de ocupação do solo no período de análise.

| Tipologias | 1990 (km ²) | 2000 (km ²) | Varição (%) |
|--|-------------------------|-------------------------|-------------|
| Territórios artificializados (TAR) | 65,27 | 78,29 | 19,94 |
| Áreas agrícolas (AAG) | 248,36 | 247,44 | -0,37 |
| Florestas e meios semi-naturais (FSN) | 338,49 | 326,56 | -3,52 |
| Zonas húmidas (ZHM) | 64,51 | 63,62 | -1,38 |
| Massas de água (MAG) | 66,41 | 67,13 | 1,08 |
| Total | 783,04 | | |

Tabela 3.1. Áreas afectas às tipologias de ocupação do solo, 1990 e 2000 (km²). Fonte: CORINE Land Cover 2000, Instituto do Ambiente.

O cruzamento de informação tabular relativa aos mapas de cada ano, permite analisar as migrações entre classes de ocupação do solo verificadas na área de estudo. Pela tabela 3.2 verifica-se que a maioria da área que cada tipologia ocupava em 1990 se mantém em 2000 (valores na diagonal). Do mesmo quadro ressalta que o crescimento dos Territórios artificializados se deve sobretudo à transição de espaços Florestais e meios semi-naturais (9,4km²) e de Áreas agrícolas (3,3km²). Deve ainda referir-se a passagem de 2,7 km² de espaços Florestais para as Áreas agrícolas num período de 10 anos.

| | | 1990 | | | | | | |
|------|--------|-----------------|-------|-------|-------|------|------|--------|
| | | Km ² | TAR | AAG | FSN | ZHM | MAG | Totais |
| 2000 | TAR | 64,9 | 3,3 | 9,4 | 0,5 | 0,3 | | 78,3 |
| | AAG | 0 | 244,8 | 2,7 | 0, | 0 | | 247,5 |
| | FSN | 0,3 | 0,1 | 326 | 0 | 0,2 | | 326,6 |
| | ZHM | 0 | 0,2 | 0 | 63,4 | 0 | | 63,6 |
| | MAG | 0,1 | 0 | 0,5 | 0,6 | 65,9 | | 67,1 |
| | Totais | | 65,3 | 248,4 | 338,5 | 64,5 | 66,4 | |

Tabela 3.2. Áreas de migração entre classes de ocupação do solo entre 1990 e 2000 (km²). Fonte: CORINE Land Cover 2000, Instituto do Ambiente.

A segunda fase da análise às alterações à ocupação do solo entre 1990 e 2000 prende-se com a avaliação das dinâmicas verificadas nas classes que compõem os territórios artificializados.

| Tipologias | 1990 (km ²) | 2000 (km ²) | Variação |
|--|-------------------------|-------------------------|----------|
| Tecido urbano contínuo | 2,02 | 2,09 | 3,4 |
| Tecido urbano descontínuo | 49,15 | 54,31 | 10,5 |
| Indústria, comércio e equipamentos gerais | 5,59 | 11,61 | 107,8 |
| Zonas portuárias | 1,34 | 2,11 | 57,6 |
| Aeroportos | 3,82 | 3,82 | 0 |
| Áreas de extracção mineira | 2,40 | 4,09 | 1,68 |
| Áreas em construção | 0,68 | - | - |
| Equipamentos desportivos e de lazer | 0,26 | 0,26 | 0 |
| Total | 65,27 | 78,29 | 19,9 |

Tabela 3.3. Distribuição detalhada de áreas nos territórios artificializados, em 1990 e 2000 (km²).

Fonte: CORINE Land Cover 2000, Instituto do Ambiente.

A análise da tabela 3.3 e da figura 3.8 permite verificar, além do crescimento dos Territórios artificializados entre 1990 e 2000, que estes cresceram sobretudo à custa dos espaços de Indústria, comércio e equipamentos gerais que aumentaram 6 km² e das áreas de Tecido urbano descontínuo que se estenderam por mais 5,1 km². As Áreas de extracção mineira e as Zonas portuárias também registaram ganhos de área, embora não tão significativos como os anteriores, aumentando 1,7 km² e 0,8 km² respectivamente. De referir o ligeiro aumento das áreas de Tecido urbano contínuo (0,07 km²), que deixa perceber uma tendência para as novas construções fora dos núcleos urbanos consolidados e o desaparecimento das áreas em construção no ano de 2000.

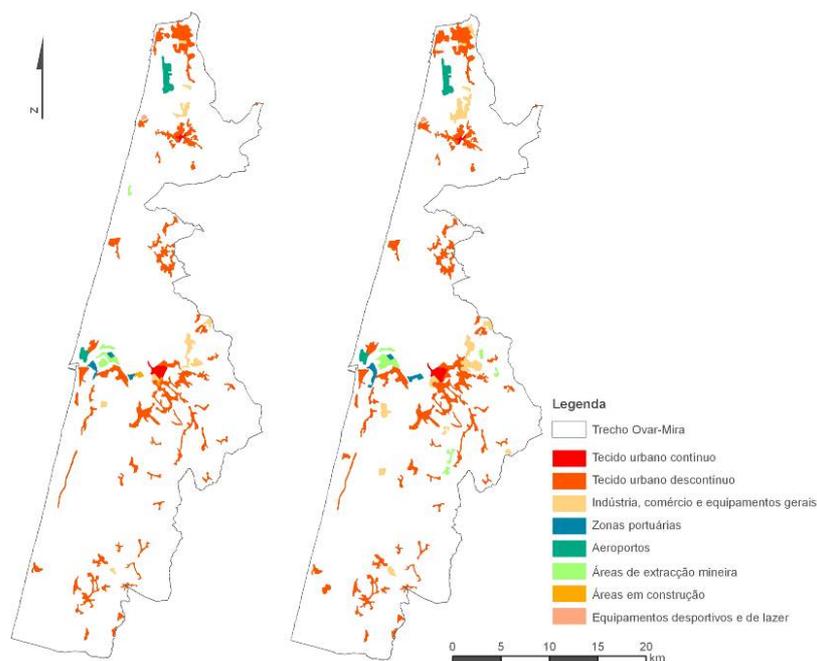


Figura 3.8. Territórios artificializados em 1990 (esquerda) e 2000 (direita). Fonte: CORINE Land Cover, Instituto do Ambiente.

O estudo realizado sobre as classes do nível 1 da nomenclatura CLC para o território de Portugal Continental concluiu que, entre 1985 e 2000, esta área tornou-se bastante mais artificializada, mais florestal e consecutivamente menos agrícola (Painho e Caetano, 2006). Uma comparação destes resultados com os conseguidos para área de estudo, indicia uma dinâmica de transformação à ocupação do solo idêntica à registada em Portugal Continental, ou seja, verifica-se um aumento dos territórios artificializados e uma diminuição das áreas agrícolas. No entanto, e contrariamente ao que sucede a nível nacional, as áreas de floresta e vegetação natural diminuíram significativamente impondo um incremento ainda mais acentuado nas áreas artificializadas.

3.5 Erosão costeira na área de estudo

O segmento costeiro Ovar-Mira é um trecho muito dinâmico onde as manifestações de problemas associados à erosão costeira são frequentemente reportadas e discutidas. Em 1998, os estudos de base sobre dinâmica costeira elaborados no âmbito do POOC Ovar - Marinha Grande, relacionam este trecho com um processo erosivo mais ou menos intenso que, dependendo das zonas, se manifesta à mais ou menos tempo. Este processo deve-se, em primeira instância, ao défice de alimentação sedimentar proveniente de barlamar do trecho (Douro) e é reforçado pelo défice sedimentar provocado pelos molhes do Porto de Aveiro (Hidrotécnica Portuguesa *et al.*, 1998).

Destacam-se então quatro trechos críticos nesta extensão de costa: Esmoriz-Cortegaça; a sul do Furadouro; entre a Costa Nova e Vagueira; e a sul da Vagueira (Tabela 3.4 e Figura 3.9).

| Trecho | Estado | Observação |
|-----------------------|-----------------------|---|
| Sul da Vagueira | Extremamente crítico | Eventualmente o mais crítico de todos. Na inexistência de intervenções de protecção o cordão dunar romperia frequentemente. |
| Esmoriz – Cortegaça | Muito crítico | Caracteriza-se por um processo erosivo contínuo, onde apenas as obras de defesa permitem a manutenção da frente litoral. Utilização balnear deste trecho está praticamente inviabilizada. |
| Costa Nova - Vagueira | Crítico | Alguns sinais de alarme. Iminência de ruptura do cordão dunar embora com menor risco que no trecho Sul da Vagueira. |
| Sul do Furadouro | Moderadamente crítico | Tendência erosiva, embora comparativamente menos grave que os casos anteriores. Cordão dunar mais largo e cotas mais elevadas conferem mais estabilidade a esta área. |
| Sul de Cortegaça | Pouco crítico | Embora sofra de um processo erosivo acentuado, a inexistência de ocupação urbana reduz o risco neste trecho. |
| S. Jacinto | Nada crítico | Retenção de sedimentos a barlamar do molhe Norte do Porto de Aveiro, promove a estabilidade da praia. É a excepção à tendência erosiva na área de estudo. |

Tabela 3.4. Trechos críticos na área de estudo segundo o POOC Ovar – Marinha Grande. Fonte: POOC (Hidrotécnica Portuguesa *et al.*, 1998)

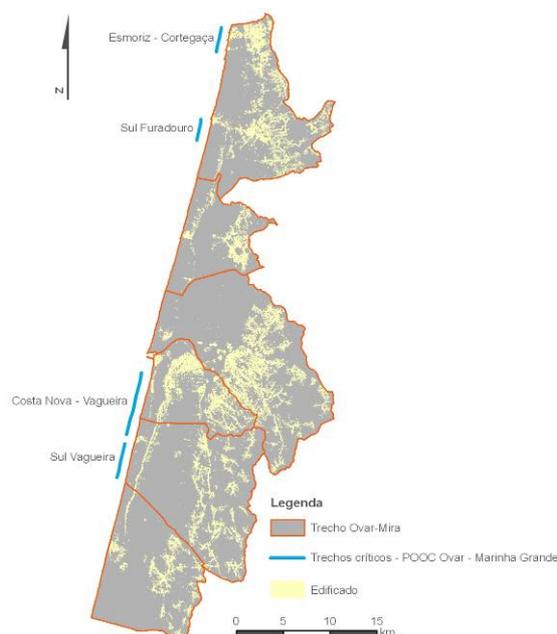


Figura 3.9. Quatro trechos críticos na área de estudo segundo o POOC Ovar – Marinha Grande.

A CRL avalia, no seu trecho 2: Foz do Douro-Nazaré (CEHIDRO e INAG, 1998), uma série de segmentos (Cartas) costeiros no que respeita às tendências erosivas e às características fisiográficas dos locais. A área de estudo integra, parcial ou totalmente, quatro destas Cartas. Estas subdividem-se em segmentos de dimensão mais reduzida e mais homogéneos em termos de comportamento erosivo (Tabela 3.5).

| Carta | Local | Observação | Risco |
|------------------|--|---|---------|
| Carta 2.2 | Barrinha Esmoriz – Cortegaça | Embora protegido por um campo de 4 esporões e uma defesa central de enrocamento, o processo erosivo continua activo exigindo intervenções de manutenção. Entre 1975 e 1996 registaram-se recuos na ordem dos 100m. | Elevado |
| | Cortegaça – Furadouro | Dominado pela presença de floresta, este trecho apresenta recuos vertiginosos na ordem dos 190m (1975- 1996), nomeadamente a sul do esporão de Maceda. | Elevado |
| | Furadouro | Trecho protegido desde 1972 por três esporões. A barlamar do esporão norte não se esperam grandes evoluções. A sotamar do esporão sul, registam-se recuos de 200m (1975-1996). | Elevado |
| | Torrão do Lameiro | Continuação do trecho a sul do Furadouro. Verifica-se erosão acentuada com tendência para diminuir com a proximidade à Torreira | Elevado |
| Carta 2.3 | Torrão do Lameiro – Dunas de Ovar | Caracteriza-se pela presença de pinhais e um processo erosivo mais fraco à medida que se avança para sul. A inexistência de intervenções implicará um recuo médio de 500m. | Elevado |
| | Torreira | Zona defendida por um enrocamento frontal (1974) e por um esporão a sul (1980). A linha de costa manteve-se quase inalterável no período de 1975 – 1996. | Médio |
| | Torreira – Muranzel Muranzel – S. Jacinto | Área onde o equilíbrio estático ainda não se verifica, esperando-se recuos na ordem dos 1000m. a avaliação no período de 1975-1996 mostra um trecho sem grandes alterações | Baixo |
| Carta 2.4 | S. Jacinto | Zonas de acumulação aluvionar e, conseqüentemente, bastante estabilizadas. | Baixo |
| | S. Jacinto – Barra | Processo erosivo que teve início com as obras dos molhes para fixação da barra de Aveiro (década de 50). Área actualmente protegida por um campo de 4 esporões e um enrocamento frontal. A análise temporal (1973-1996) revela que as defesas contiveram a erosão mais forte na Costa Nova. | Elevado |
| | Barra – Costa Nova Costa Nova - Vagueira | Toda esta área é marcada por uma restinga arenosa estreita e de cotas baixas e sistema dunar muito frágil. Desde 1973 registaram-se recuos que chegam aos 280m, havendo notícias de galgamentos oceânicos com salinização dos terrenos | Elevado |

Continua na página seguinte

Continuação da página anterior

| | | | |
|------------------|--------------------------------|---|---------|
| Carta 2.5 | Vagueira | Dois esporões e uma obra de defesa aderente têm condicionado a evolução neste trecho. A situação mais preocupante dá-se a sul da defesa central, onde o galgamento é iminente. A posição do aglomerado, com pendente para a ria, potencia os problemas de galgamento. A sul o recuo atinge os 200m (1973-1996). | Elevado |
| | Praia do Areão | A parte norte do Areão é o ponto mais crítico deste trecho, dando-se o caso do mar arrasar a duna (1998). A análise entre 1973 e 1996 mostra uma erosão a diminuir para sul, ainda assim atingindo os 160m em alguns pontos. | Elevado |
| | Praia do Areão – Dunas de Mira | A parte norte deste trecho é muito semelhante ao anterior. A partir do Poço da Cruz o sistema dunar é mais robusto | Médio |
| | Praia de Mira | Não existe tendência erosiva de realçar. Ainda assim, em situações de temporal o mar solicita a protecção frontal do aglomerado. | Médio |

Tabela 3.5. Trechos críticos na área de estudo. Fonte: CRL (CEHIDRO e INAG, 1998)

O Projecto EUrosion apresenta dez casos de estudo num trecho que se estende entre a Foz do Douro e o Cabo Mondego, concluindo que as causas potenciadoras de erosão neste segmento são as actividades humanas e os aglomerados urbanos, as barragens e as obras portuárias (Veloso-Gomes *et al.*, 2004). Seis dos casos de estudo apresentados pertencem à área de estudo (Tabela 3.6).

| Trecho | Estado | Observação |
|--------------------------------------|---------------|---|
| Esmoriz – Cortegaça | Muito crítico | O mais preocupante de toda a área de estudo. Tal deve-se à presença de uma frente urbana muito próxima do mar, onde qualquer avanço do mar implicará perda de área urbana. |
| Maceda – Furadouro | Crítico | Sofre de uma processo erosivo muito intenso, contudo a inexistência de aglomerados urbanos próximos retira gravidade a este trecho. |
| Furadouro – Torreira | Crítico | Processo erosivo muito intenso com as frentes urbanas protegidas por esporões. A forte pressão urbana potencia os problemas de erosão. |
| Torreira – Molhe Norte Aveiro | Nada crítico | Recebe sedimentos de outros trechos de litoral e beneficia da retenção provocada pelo molhe norte da embocadura da ria de Aveiro. |
| Costa Nova – Vagueira | Crítico | Altamente influenciado pelas dragagens nos canais de navegação e pelo prolongamento dos molhes para fixação da embocadura. Os problemas não assumem maior proporção pois toda a área está protegida por esporões e obras de defesa aderentes. |
| Vagueira – Praia de Mira | Muito crítico | Um dos mais preocupantes deste trecho. Apesar de não existirem frentes urbanas a preservar, os recuos da linha de costa poderão causar rupturas na restinga. |

Tabela 3.6. Casos EUrosion no trecho Ovar - Mira. Fonte: EUrosion (IHRH e UAB, 2003)

O projecto SECUR-Ria, assentou num método sugerido e apresentado por Coelho (2005), Coelho e Veloso-Gomes (2005) e Coelho et al. (2006), baseando-se na hipótese que a definição da vulnerabilidade de uma zona costeira é determinada por uma combinação ponderada de vários elementos característicos (ambientais e antrópicos) de cada local: factores ou parâmetros de vulnerabilidade.

O processo de análise conjunta de todos os parâmetros de vulnerabilidade é complexo (Coelho e Veloso-Gomes, 2005). Com efeito, os autores sugerem a divisão em critérios e a avaliação de cada um deles numa escala de vulnerabilidade. Deste modo, os parâmetros de vulnerabilidade seguem uma classificação em que o valor 1 é associado a menores vulnerabilidades e o valor 5 a vulnerabilidades mais elevadas.

A aplicação deste método à área de estudo permite verificar que a vulnerabilidade deste trecho costeiro às acções energéticas do mar diminui à medida que se avança para o interior do território. Deste modo, as áreas de vulnerabilidades mais elevadas situam-se pontualmente ao longo da linha de costa (muito alta) e numa faixa de largura variável desde a linha de costa até aos 1000m. A partir dos 5000m em relação à linha de costa a vulnerabilidade é muito reduzida. A Figura 3.10 proporciona uma análise aos zonamentos de vulnerabilidade a que a área de estudo está sujeita.

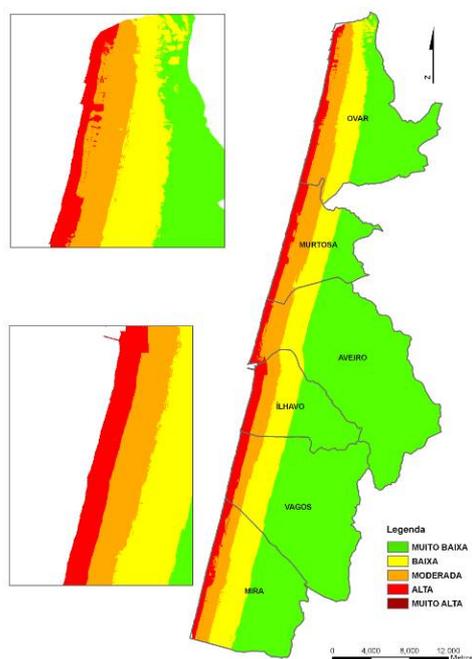


Figura 3.10. Resultado da aplicação do método SECUR-Ria à área de estudo.

Com base no exposto, a área de estudo é, na generalidade, vulnerável à erosão das praias e dunas, ainda assim, existem trechos claramente mais críticos que outros. Estes estão, por um lado, relacionados com um processo erosivo muito forte, resultando em

perdas significativas de áreas terrestres ou alterações nos ecossistemas (entre Cortegaça e o Furadouro e entre a Vagueira e Mira) e, por outro lado, relacionados com a presença de aglomerados urbanos muito próximas da linha de costa, como no caso do trecho Esmoriz-Cortegaça ou entre a Costa Nova e a Vagueira.

4. DELIMITAÇÃO DE ÁREAS URBANAS

4.1 Objectivo do capítulo

Este capítulo versa sobre um dos pontos centrais desta investigação: o crescimento urbano. Tendo presente este propósito, desenvolve-se uma discussão em torno do conceito e da definição de “urbano”.

As secções seguintes destinam-se à exploração das técnicas de detecção remota para produção de informação relativa à ocupação do solo. Mais concretamente na selecção das imagens de satélite, na escolha da nomenclatura e tratamento das imagens, na extracção da informação temática e por fim na avaliação da qualidade dos mapas produzidos.

4.2 Definição de ‘Urbano’

Um dicionário refere o vocábulo ‘urbano’ como um adjectivo que diz respeito à urbe, algo próprio da cidade, ou oposto a rural (Porto Editora, 1987). Segundo Cabral (2006) a palavra urbano pode assumir um significado substantivo, designando os habitantes da cidade e os seus comportamentos e um sentido geográfico, que distingue o espaço urbano em oposição ao rural. O presente estudo debruçar-se-á sobre o significado geográfico do termo.

Aparentemente simples, a separação de urbano do rural nem sempre é imediata, tendo-se mostrado uma questão complexa que provoca discussões no seio da comunidade científica (Isserman, 2005), estimulando a criação de projectos de investigação que visam a construção de uma ontologia urbana, como o *Towntology* (Cabral, 2006). Este projecto propõe a construção de uma ontologia urbana, para que se estabeleça uma uniformização de vocabulário, conceitos e relacionamentos no domínio do planeamento e desenvolvimento do território (Roussey *et al.*, 2004).

Com ênfase colocado na forma, Lynch (1981) encara “aglomerado populacional” como o padrão espacial dos objectos físicos grandes, inertes e permanentes numa cidade, isto é, os edifícios, as ruas, os serviços públicos, as colinas, os rios, talvez mesmo as árvores.

Weber (2001) refere que a clássica dicotomia rural-urbano é, actualmente, um *continuum* de aglomerados urbanos que se diferenciam não pelas diferenças morfológicas dos aglomerados, mas sim pela forma como os habitantes vivem o espaço. A mesma autora salienta que a definição de “cidade” ou de “aglomerado” deve desenvolver-se sobre duas considerações/critérios fundamentais. Por um lado, deve levar-se em conta a população

e a delimitação do espaço, sendo igualmente importante a apreciação dos relacionamentos económicos e sociais que determinado local desenvolve com a sua envolvente.

Isserman (2005) refere o exemplo dos EUA em que o *U.S. Census Bureau* separa as áreas urbanas das rurais com base em técnicas estatísticas. Para este serviço censitário, as áreas urbanas são definidas por um limite de habitantes e densidades populacionais presentes numa determinada unidade estatística.

Segundo Cabral (2006), a dificuldade de aplicação prática da definição de urbano deve-se à elevada gama de critérios de diversas naturezas que podem ser aplicados, como por exemplo, estatísticos, jurídicos, funcionais, científicos ou culturais.

A definição de solo urbano através da negação do que é rural é também partilhada por Zújar e Lama (2006) que, de um ponto de vista mais ecologista, descrevem solos urbanos/artificializados como todos os espaços que perderam a sua funcionalidade ecológica natural ou produtiva, ou seja, todas as áreas que não são agrícolas nem naturais. Estes autores ressaltam a definição sugerida por Zoido *et al.* (2000) que consideram urbano, todo o solo ocupado por edificações e usos urbanos, dotado de infra-estruturas básicas das urbanizações. O *CORINE land cover technical guide: Addendum 2000* caracteriza no âmbito do CLC as classes de ocupação e uso do solo a nível europeu. Com efeito, o relatório define como “Zonas Artificializadas” o expresso na tabela 4.1.

| Classe | Características |
|--|--|
| Tecido urbano | Ocupadas maioritariamente por habitação e edifícios utilizados para fins administrativos, equipamentos públicos, incluindo zonas associadas, vias de acesso e parques de estacionamento. |
| Zonas industriais, comerciais ou de transportes | Ocupadas maioritariamente por actividades industriais de transformação e manufactura, comércio, actividades financeiras e serviços, infra-estruturas de transportes para tráfego rodoviário e ferroviário, aeroportos, instalações portuárias fluviais e marítimas, incluindo zonas associadas e infra-estruturas de acesso. |
| Minas, depósitos de resíduos ou zonas de construção | Ocupadas maioritariamente por indústrias extractivas, locais de construção, locais de depósito de resíduos e zonas associadas aos mesmos. |
| Zonas artificializadas não agrícolas com vegetação | Criadas propositadamente para fins recreativos. Inclui parques verdes ou parques urbanos para fins de recreio e lazer e equipamentos de desporto ou lazer. |

Tabela 4.1. Zonas Artificializadas: classes e suas características. Fonte: CORINE land cover technical guide: Addendum 2000 (Bossard *et al.*, 2000).

O mesmo guia técnico divide a classe de “tecido urbano” em duas novas classes: “tecido urbano contínuo” e “tecido urbano descontínuo”. A primeira designa solo que na sua maior parte está ocupado por construções e por infra-estruturas da rede de transportes. Os edifícios, estradas e superfícies artificializadas (superfícies impermeabilizadas) ocupam mais de 80% da área. Esta classe inclui ainda:

- centros urbanos e subúrbios em que os edifícios formem um tecido contínuo e homogéneo;
- serviços públicos e municipais e actividades comerciais/industriais e zonas associadas, com área inferior à UMC quando inclusas em zonas de tecido urbano contínuo;
- parques de estacionamento, zonas cobertas de betão ou asfalto;
- infra-estruturas da rede de transporte;
- pequenas praças, zonas pedestres, pátios;
- zonas verdes urbanas ocupando no máximo 20% da superfície;
- cemitérios com ou sem vegetação, com área inferior à UMC quando inclusas em zonas de tecido urbano contínuo.

Relativamente à segunda classe de espaço, esta é ocupada na sua maior parte por construções. Os edifícios, estradas e superfícies artificializadas estão associadas a zonas com vegetação e de solo nu que, embora descontínua, ocupem uma área significativa. Nestes espaços a superfície impermeabilizada deverá ocupar entre os 30% e os 80% da área total. De referir que, segundo o guia técnico, a separação entre a primeira e segunda classe é feita através da presença de vegetação visível na imagem de satélite. Esta classe inclui ainda:

- condomínios habitacionais privados, subúrbios residenciais constituídos por habitações unifamiliares com jardins e/ ou pracetas;
- blocos descontínuos de apartamentos residenciais, vilas e aldeias em que sejam visíveis numerosos espaços não impermeabilizados;
- grandes blocos de apartamentos, em que superfície significativa seja ocupada por espaços verdes, zonas de estacionamento ou parques de diversão;
- infra-estrutura de rede de transportes;
- zonas de equipamentos desportivos com área inferior à UMC, quando inclusas nas áreas de tecido urbano descontínuo;

- edifícios com funções ligadas à educação, cuidados de saúde, produção e mercados e equipamentos públicos, com área inferior à UMC;
- cemitérios com ou sem vegetação, com área inferior à UMC quando inclusas em zonas de tecido urbano descontínuo.

Em Portugal, a fronteira urbano-rural é pouco clara o que dificulta bastante a sua delimitação (Cabral, 2006). O estudo de *Indicadores Urbanos do Continente*, classifica, as áreas urbanas em três níveis de acordo com a 158ª Deliberação do Conselho Superior de Estatística de 3 de Julho de 1998 e publicada em Diário da República da 2ª Série de 11 de Setembro de 1998 (INE e DGOTDU, 1999). Esta tipologia, pensada para fins estatísticos, assenta em três níveis diferentes, em que dois se referem a solos urbanos (Tabela 4.2). Deve salientar-se, como princípio orientador do estudo, que a freguesia é a unidade geográfica de análise, que as áreas urbanas são definidas ao nível do concelho e que as freguesias que integram uma área urbana têm que ter contiguidade espacial.

| Nível | Características |
|--|--|
| Áreas Predominantemente Urbanas (APU) | Freguesias urbanas. Freguesias semi-urbanas contíguas às freguesias urbanas segundo orientações e critérios de funcionalidade/planeamento. Freguesias semi-urbanas constituindo por si só áreas predominantemente urbanas. Freguesias sedes de concelho com população residente superior a 5000 habitantes. |
| Áreas Mediamente Urbanas (AMU) | Freguesias semi-urbanas não incluídas na área predominantemente urbana. Freguesias sedes de concelho não incluídas na área predominantemente urbana. |
| Áreas Predominantemente Rurais (APR) | Os restantes casos. |

Tabela 4.2. Tipologia de áreas urbanas em Portugal. Fonte: *Indicadores Urbanos do Continente* (INE e DGOTDU, 1999).

Cabral (2006) faz referência a uma perspectiva jurídica da definição de urbano, remetendo para o Decreto-Lei n.º 74/84, de 8 de Março que estabelece a classificação, em quatro níveis, dos concelhos de Portugal baseados em critérios demográficos e económicos (Tabela 4.3). Mediante esta classificação, a área de estudo apresenta um concelho Urbano de 1ª ordem: Aveiro, dois Rurais de 1ª ordem: Ílhavo e Ovar e, três Urbanos de 2ª ordem: Murtosa, Vagos e Mira.

| Ordem | Características |
|---------------------------|--|
| Urbano de 1ª ordem | População da sede e dos núcleos urbanos com mais de 10000 hab. exceda o total de 25000 hab., ou de 20000 hab. sendo capital de distrito, quando essa população corresponda, no mínimo, à quarta parte da população total do município. |
| Rural de 1ª ordem | Concelhos com sede em capital de distrito, com 55000 ou mais habitantes, cujo montante das contribuições directas anualmente liquidadas pelo Estado seja igual ou superior a uma percentagem do total arrecadado pelo Tesouro. |
| Rural de 2ª ordem | Entre os 30000 e os 55000 hab., ou com menos de 30000 hab. em que as contribuições directas anualmente liquidadas pelo Estado seja igual ou superior a uma percentagem do total arrecadado pelo Tesouro. |
| Rural de 3ª ordem | Todos os não compreendidos nas ordens anteriores. |

Tabela 4.3. Classificação dos concelhos de Portugal com base no Decreto-Lei n.º 74/84, de 8 de Março. Adaptado de Cabral (2006).

Relativamente à definição de urbano no âmbito desta dissertação, partilha-se do exposto por Cabral (2006), assumindo-se que as formas urbanas podem ser identificadas com recurso a imagens de satélite e, como tal, as definições e conceitos estatísticos, económicos ou legais apresentados anteriormente não são adequados para o objectivo proposto. Assim, considera-se que a delimitação de espaço urbano por imagens de satélite deverá assentar na negação das áreas não-urbanas.

4.3 Delimitação das áreas urbanas em 1990

A definição do mapa de solo urbano para o ano de 1990 recorre integralmente à base de dados cartográficos sobre a ocupação do solo de Portugal continental, COS'90. Este produto cartográfico consiste em 638 folhas e foi derivado, por interpretação visual, de fotografias aéreas recolhidas em voos realizados entre Agosto de 1990 e Agosto de 1991. Relativamente às especificações técnicas, todas a informação cartográfica está à escala de 1:25000 e respeita uma UMC de 1ha (Schoenmakers e Caetano, 2004). Das 638 folhas que integram a COS'90, são necessárias 13 para cobrir a totalidade do trecho costeiro Ovar-Mira. Na tabela 4.4 apresentam-se as folhas utilizadas neste estudo.

| Área | Designação das folhas |
|------------------|--------------------------|
| Trecho Ovar-Mira | 143/ 153/ 162/ 163/ 173/ |
| | 174/ 184/ 185/ 195/ 196/ |
| | 206/ 207/ 217 |

Tabela 4.4. Folhas COS'90 utilizadas.

A cartografia COS'90 desenvolve-se, quanto às classes de espaços, com um elevado nível de detalhe, diferenciando 860 classes. No entanto, a nomenclatura de referência na

Europa para estudos de planeamento e ordenamento do território é a do CLC, que no nível mais detalhado tem 44 classes. Para tal, existe um esquema de conversão entre classe destes dois produtos. A tabela 4.5 apresenta as classes de espaços que, no âmbito deste trabalho, compõem o solo urbano e respectiva correspondência entre os produtos cartográficos referidos.

| Código COS | Designação | Código CLC | Designação | Novo código |
|-------------------|--|-------------------|---|----------------------|
| UU1 | Tecido urbano contínuo | 111 | Tecido urbano contínuo | Solos urbanos |
| UU2 | Tecido urbano descontínuo | 112 | Tecido urbano descontínuo | |
| UU9 | Ouros espaços fora do tecido urbano consolidado | | | |
| JJ9 | Outras áreas degradadas | | | |
| SW1 | Zonas industriais e comerciais | 121 | Indústria, comércio e equipamentos gerais | |
| SW9 | Outras infraestruturas e equipamentos | | | |
| SW2 | Vias de comunicação (rodo e ferroviárias) | 122 | Redes rodoviárias e ferroviárias e espaços associados | |
| SW3 | Zonas portuárias | 123 | Áreas portuárias | |
| SW4 | Aeroportos | 124 | Aeroportos e aeródromos | |
| SL1 | Espaços verdes urbanos (florestais) | 141 | Espaços verdes urbanos | |
| SL2 | Espaços verdes para actividades desportivas (não florestais) | 142 | Equipamentos desportivos, culturais e de lazer e zonas históricas | |

Tabela 4.5. Correspondência entre classes de espaços considerados urbanos entre a COS'90 e CLC. Fonte: GDR/IGP.

Importa referir que, na área de estudo, pela reduzida abrangência geográfica, não existem cartografadas áreas de equipamentos desportivos, culturais e de lazer e zonas históricas (código CLC 142).

Os mapas apresentados na figura 4.1 ilustram a expressão territorial que as áreas artificializadas tinham no trecho Ovar-Mira segundo a Carta de Ocupação do Solo de 1990.

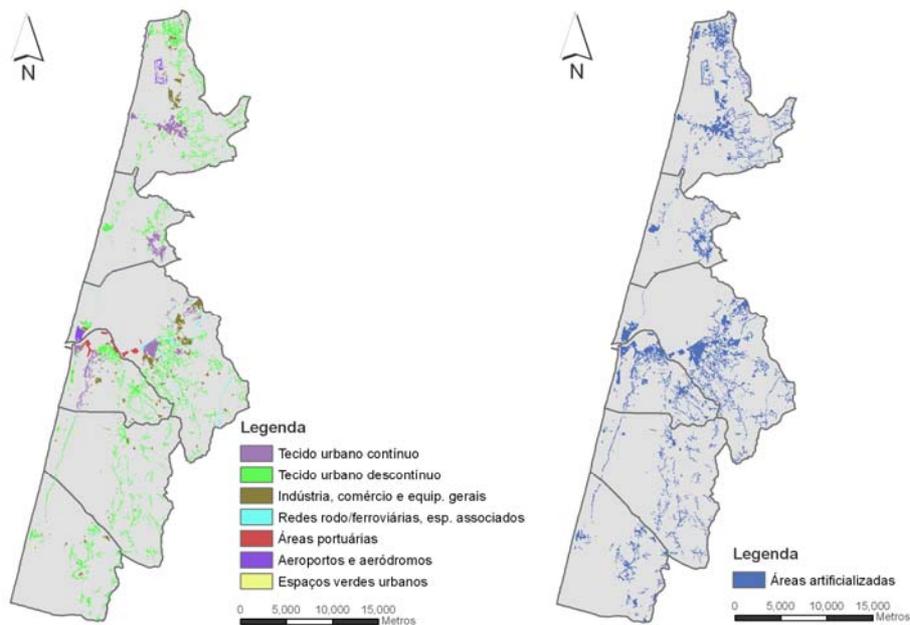


Figura 4.1. Solo artificializado segundo a COS' 90.

4.4 Técnicas de detecção remota

O objectivo desta secção é apresentar, de uma forma sucinta, as utilizações e características das técnicas de detecção remota na produção de cartografia temática, designadamente de cartografia referente ao uso/ocupação do solo.

A extracção de informação das imagens de satélite referente à cobertura do solo e às suas alterações é uma das mais representativas aplicações de detecção remota (González, 2001, Jothimani, 1997, Lu *et al.*, 2006, O'Hara *et al.*, 2003, Seto *et al.*, 2002, Yang e Liu, 2005). A crescente utilização destas técnicas em detrimento das mais tradicionais (e.g. foto-interpretação de fotografias aéreas ou recolha de dados no terreno), deve-se sobretudo a serem dados mais baratos e que permitirem a produção cartográfica mais rápida, mas também à periodicidade de aquisição, sem necessidade de programação e à cobertura de grandes extensões territoriais e em locais de acesso dificultado (Nunes *et al.*, 2007, Santos, 2003).

Estas imagens podem ser usadas na produção desta informação pelo facto de diferentes tipos de solo reflectirem de modos diferenciados a principal fonte de energia utilizada em detecção remota: o sol. Isto é, os objectos presentes na superfície da terra exibem reflectâncias variadas para os vários comprimentos de onda do espectro electromagnético, designando-se por assinatura espectral (Machado, 2005, Santos, 2003). Pela figura 4.2 vê-se como os principais elementos da paisagem reflectem de forma diferenciada em cada região do espectro electromagnético.

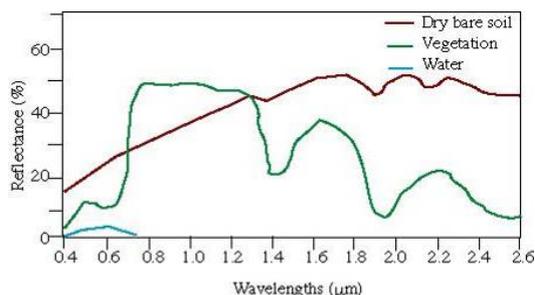


Figura 4.2. Curvas de reflectância do solo, água e vegetação. Adaptado de (Lillesand e Kiefer, 2000).

Os actuais sistemas de detecção remota podem adquirir informação reflectida pela superfície terrestre em quase todos os comprimentos de onda, contudo, segundo (Richards e Jia, 2006), as gamas de valores do espectro electromagnético mais utilizadas são as gamas do visível, do infravermelho próximo e do infravermelho médio (0.4 e 12μm).

Uma das características mais úteis das imagens obtidas por satélite é estarem disponíveis em formato digital (Richards e Jia, 2006). Consequentemente, a sua estruturação é feita por uma matriz regular, em que cada quadrícula (*pixel*) corresponde uma porção de terreno. Em cada uma destas unidades é associado um vector de valores: número digital (ND), cujo valor corresponde à quantidade de energia reflectida pelos objectos à superfície, nas diferentes zonas do espectro electromagnético (Santos, 2003).

A energia reflectida é captada e processada pelos sensores de acordo com as suas características técnicas, como é o caso da resolução. Segundo Jensen (1995), os sensores digitais apresentam quatro tipos de resolução distintos: espacial, que está relacionada com o tamanho do pixel (área de terreno captada); espectral, que se relaciona com o número e tamanho das regiões espectrais que o sensor capta; temporal, que indica o tempo de revisita do satélite e; radiométrica, que descreve a capacidade do sensor em captar variações mínimas na quantidade de energia captada (número máximo de ND por canal).

Actualmente, a maioria dos programas operacionais de cartografia temática continuam a basear-se em interpretação visual de imagens através de foto-interpretadores, contudo, o facto desta acarretar elevados custos operativos têm imposto um cada vez mais notório recurso a processos automatizados, nomeadamente a classificadores de imagens (Machado, 2005). Estes classificadores utilizam algoritmos que criam uma correspondência entre os padrões espectrais captados pelos sensores e as classes de ocupação do solo, sem serem, no entanto, totalmente automáticos, exigindo uma forte

intervenção humana (Machado, 2005). Tradicionalmente, estas classificações são feitas ao nível do *pixel*, ou seja, exclusivamente baseadas na informação espectral da imagem. Com efeito, pode dar-se o caso de diferentes ocupações do solo poderem apresentar assinaturas espectrais semelhantes, ou o caso de classes não identificáveis a este nível (Machado, 2005, Santos, 2003). Mais ainda, estas classificações podem originar mapas com características inadequadas às utilizações em ordenamento do território, isto é, unidade mínima cartográfica com dimensão igual à do *pixel*, não correspondendo às especificações técnicas pretendidas pelos utilizadores (Caetano *et al.*, 2004).

Por oposição à técnica mais tradicional surge, nos anos 90, a abordagem orientada por objectos. Esta inicia-se por segmentação (procura por regiões homogéneas) da imagem, seguindo-se a classificação destas mesmas regiões (Darwish *et al.*, 2003). A vantagem de utilização deste método reside no facto de se poder avaliar e empregar na classificação características que não existem ao nível do *pixel*, são o caso da textura, forma, contexto, dimensão, relação de vizinhança, sem descurar a informação espectral (Machado, 2005, Yan *et al.*, 2006). Existem ainda estudos mais recentes que sugerem a aplicação, com bons resultados, de uma abordagem combinada (*pixel/objecto*) como forma de minimizar as desvantagens associadas a cada método (Plantier e Caetano, 2007, Song *et al.*, 2005, Wang *et al.*, 2004, Yan *et al.*, 2006).

Deste modo, a abordagem metodológica clássica para elaboração destes mapas baseia-se, usualmente, em três tarefas-chave bem definidas e designadas do mesmo modo: i) pré-processamento; ii) classificação; e iii) avaliação da qualidade dos mapas (Cihlar, 2000, Ruiz-Luna e Berlanga-Robles, 2003, Seto *et al.*, 2002, Yang e Liu, 2005).

4.5 Selecção das imagens de satélite

As técnicas de detecção remota possibilitam a derivação de mapas de ocupação do solo com elevada fiabilidade. Deste modo, o mapa de solo urbano (2006) apresentado no final desta secção é derivado de imagens de satélite de grande resolução espacial, provenientes do satélite de observação da terra IRS P6 que incorpora o sensor LISS-III (*Linear Self Scanning Sensor*). As características técnicas destes satélites estão descritas na tabela 1.1 (primeira secção do estudo).

Com objectivo de despistar possíveis confusões entre solo urbano com outras tipologias de ocupação do solo, utilizam-se, para o período de análise (2006) imagens de estações do ano diferentes (e.g. Primavera e Verão). Estas imagens foram cedidas pelo Grupo de Detecção Remota do Instituto Geográfico Português (GDR - IGP) com as correcções geométrica e radiométrica já processadas. A tabela 4.6 apresenta os principais parâmetros das imagens LISS-III utilizadas neste estudo.

| Data de aquisição | Path/Row | Elevação solar (°) | Azimute solar (°) | Sistema de coordenadas | Formato |
|-------------------|----------|--------------------|-------------------|------------------------|---------|
| 26/05/2006 | 7 / 41 | 66.898 | 142.185 | Datum Lisboa lgeoE | ERDAS |
| 06/08/2006 | 7 / 41 | 62.051 | 143.354 | Datum Lisboa lgeoE | ERDAS |

Tabela 4.6. Parâmetros das imagens LISS-III utilizadas.

4.5.1 A composição colorida RGB

A composição colorida RGB permite que se visualizem imagens de satélite, exigindo apenas que se atribua uma banda a cada cor. Numa composição de cores verdadeiras o canal do vermelho deve ser atribuído à cor vermelha (R), o canal verde à cor verde (G) e o canal azul à cor azul (B), designando-se por RGB 321 (no caso de imagem Landsat TM). Sempre que exista uma discordância entre a cor da composição e a da banda (sempre que se utilizem bandas da região do infravermelho), chama-se composição colorida falsa. Quer numa quer noutra composição apenas se utilizam três bandas simultaneamente, o que impõe o recurso a técnicas de análise para que se escolham entre as bandas reflectivas as que farão parte da composição colorida.

Caetano (2006), apoiado num estudo para uma imagem Landsat TM, sugere uma análise de correlação de bandas para seleccionar de todas as bandas disponíveis quais as três que retêm maior informação, concluindo que para uma composição colorida RGB se deve optar por uma banda do visível, do infravermelho próximo e outra do infravermelho médio. Segundo Machado (2005), a análise visual efectuada no âmbito do programa CLC baseou-se numa composição RGB 453, precisamente uma de cada região do espectro electromagnético sugerida pelo estudo referido no autor anterior.

Segundo Lewinski *et al.*(2004), os quatro canais através dos quais o sensor LISS-III capta energia são espectralmente similares às bandas 2, 3, 4 e 5 do sensor TM e ETM+. Num exercício de análise visual, os autores afirmam que as composições coloridas RGB 453 podem ser comparadas em ambos os sensores com muito bons resultados. A investigação ressalta ainda que, no caso das áreas construídas e, apesar da menor resolução espacial do TM/ETM+, a sua discriminação visual é mais fácil.

Considerando o exposto, a composição colorida utilizada neste estudo é a RGB 453, correspondendo à banda do infravermelho próximo, do infravermelho médio e do vermelho no LISS-III. A figura 4.3 mostra, para a área de estudo, imagens em paleta de cinzentos das quatro bandas espectrais do sensor LISS-III e de uma composição colorida.

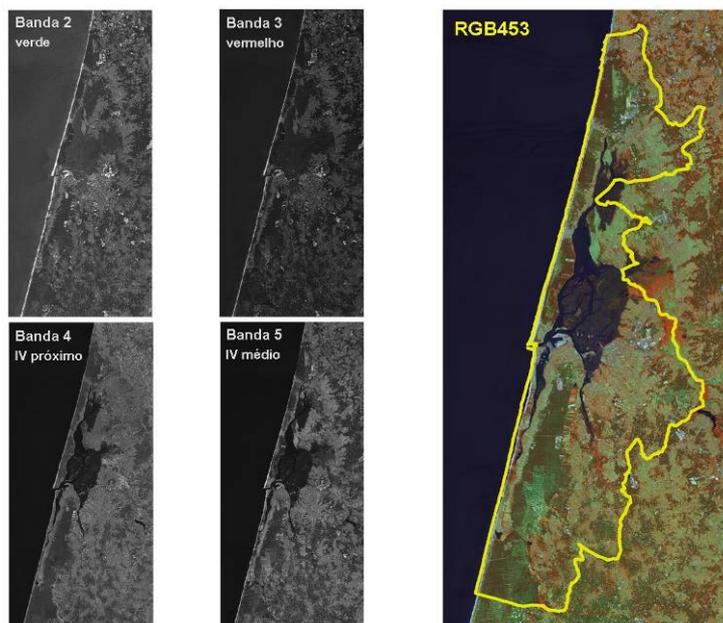


Figura 4.3. As quatro bandas espectrais do LISS-III (paleta de cinzentos) e a RGB453.

4.5.2 Melhoramento de contraste

Uma vez que os sensores são concebidos para captar energia em diversas condições e de elementos com respostas espectrais muito variadas, é impossível que, de uma forma directa, representem todos os elementos em condições óptimas de brilho e contraste. Assim, as técnicas de melhoramento da imagem visam facilitar a interpretação visual através do realce de objectos de interesse. Uma das técnicas é o melhoramento de contraste, que consiste em transformar os ND da imagem original na maior gama possível de Níveis de Cinzento (NC) – valores de brilho utilizados pelo ecrã do computador na visualização de ND. Dos vários métodos disponíveis (lineares e não lineares) utiliza-se o *Linear Stretch with Saturation (2,5%)* disponível no Idrisi Andes. Importa referir que as imagens obtidas por esta manipulação não são introduzidas para classificação.

4.6 Nomenclatura de referência

Uma etapa fundamental na derivação de mapas de uso/ocupação do solo através de imagens de satélite é a definição da nomenclatura de referência, também designada por esquema de classificação. Com este esquema pretende-se descrever as tipologias de materiais na superfície terrestre (Machado, 2005).

Existem variados exemplos de nomenclaturas de referência, devendo-se desenvolver de acordo com o objectivo específico de cada estudo (Cabral, 2006). Destes, salientam-se os três mais importantes: *USGS Land use/ Land cover Classification System*, *CORINE*

Land Cover, e *Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*. A primeira, apresentada por Anderson et al. (1976) e mais tarde adoptada pelo *U.S. Geological Survey* é a nomenclatura de referência nos Estados Unidos da América e descreve o uso e ocupação do solo em dois níveis hierárquicos, 9 classes no nível menos detalho e 37 classes no mais detalhado. A nomenclatura proposta pela FAO foi desenvolvida com o objectivo de apoiar a produção de cartografia de uso do solo independentemente da escala ou métodos utilizados (FAO, 1996). Este esquema assenta numa divisão dicotómica e hierárquica dos usos do solo, resultando a fase dicotómica (nível 1) em 8 classes e as classes da fase hierárquica modular definidas por um conjunto de classificadores predefinidos. Mais recentemente, o esquema de classificação do *CORINE Land Cover* (EIONET, 2004), referência em termos de planeamento e ordenamento do território na Europa, estrutura-se em três níveis hierárquicos: 5 classes no nível I, 15 no nível II e 44 classes no nível mais detalhado. Atendendo que no âmbito deste estudo apenas se pretende distinguir áreas urbanas de áreas não urbanas, segue-se a opção de Cabral (2006) (nomenclatura de duas classes: urbano e não urbano), evitando esquemas de classificação mais complexos cuja utilização não beneficiaria este trabalho.

4.7 Avaliação da qualidade dos mapas

Uma classificação não se pode considerar concluída sem se proceder à avaliação da sua qualidade (Lillesand e Kiefer, 2000). Esta validação de mapas temáticos derivados de imagens de satélite faz-se, usualmente, por comparação da cartografia produzida com dados de referência em áreas de teste (Caetano, 2006). Genericamente, quanto maior for o número de áreas de teste verificadas melhor será o desempenho de avaliação da qualidade, contudo, aferir no terreno muitas áreas é uma tarefa morosa e muito dispendiosa (Caetano *et al.*, 2006).

Geralmente, um esquema de validação de um mapa temático requer a consideração de um conjunto de aspectos, designadamente: dados de referência, esquema e unidade de amostragem, dimensão da amostra e índices de avaliação global do mapa e de cada classe individualmente (Mata *et al.*, 2004).

A informação de referência deverá respeitar duas premissas fundamentais. Por um lado deverá ter uma resolução espacial mais elevada que os dados usados para a produção do mapa temático e, por outro lado, as datas de ambos os conjuntos de dados devem ser próximas, de forma a evitar a influência das alterações da paisagem (Caetano *et al.*, 2006). Aceitam-se, como possíveis conjuntos de dados de referência, fotografias aéreas, imagens de satélite com mais detalhe espacial ou informação recolhida por trabalho de campo.

Não existe uma regra universal para optar sobre qual o melhor esquema de amostragem entre os mais difundidos na literatura: amostragem aleatória simples, amostragem aleatória estratificada, amostragem por agregados ou amostragem sistemática (Congalton, 1988). Não obstante, o mesmo autor salienta que quando testadas sob várias situações, as amostragens aleatórias (simples ou estratificadas) produzem resultados satisfatórios. Caetano (2006) enfatiza esta ideia ao referir que, entre a amostragem aleatória e a sistemática, a maioria dos autores tem optado pela aleatória pelo facto desta ser menos afectada pela autocorrelação espacial – ocorre quando a presença, ausência ou nível de determinada característica afecta a presença, ausência ou nível da mesma característica nas unidades vizinhas (Congalton, 1991) – e periodicidade presente nos dados. Contudo, uma amostragem aleatória simples apresenta dificuldades em garantir a representatividade de cada classe, enquanto que a amostragem estratificada implica a existência de cartografia, o que nem sempre acontece (Congalton, 1991). O objectivo inerente à amostragem sistemática é a obtenção de uma distribuição homogénea na área a amostrar. Esta técnica subdivide-se em amostragens alinhadas e não-alinhadas, tendo estas últimas a possibilidade de minimizar a autocorrelação espacial das unidades (Caetano *et al.*, 2006). A amostragem por agregados consiste na escolha aleatória de um ou vários grupos de unidades (*clusters*) e na análise dos elementos que os compõem. Recorre-se a esta técnica quando o universo das amostras não está totalmente disponível ou em casos de restrição orçamental (Mata *et al.*, 2004). A dimensão ideal de cada grupo pode variar entre os 10 e os 25 *pixels* (Congalton, 1991). A figura 4.5 resume os esquemas de amostragem mais difundidos, apresentando, segundo (Banko, 1998), quais os principais pontos fortes e fracos de cada abordagem.

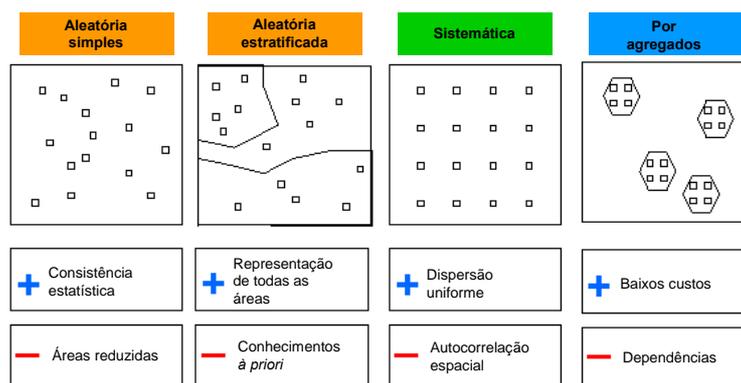


Figura 4.5. Ilustração dos vários esquemas de amostragem, seus pontos fortes e fracos. Adaptado de (Banko, 1998).

Relativamente à unidade de amostragem, Caetano *et al.* (2006) referem que estas correspondem a fragmentos do mapa classificados com probabilidade de serem

seleccionadas, sendo a sua escolha afectada pelos objectivos e escala do mapa, os recursos disponíveis e a informação de referência. Cabral (2006) salienta que estas dependem da unidade espacial de análise (*pixel* ou objecto) e da aplicação de técnicas de generalização. Não obstante de algumas referências citadas por estes autores apontarem uma variedade de teorias para a escolha da unidade de amostragem, genericamente, esta deverá ser o *pixel* (caso a unidade espacial de análise seja o *pixel*) ou, um objecto/conjunto de *pixels* contínuos no caso de se tratar de uma classificação orientada por objectos ou uma classificação orientada por *pixels* seguida de generalização (Cabral, 2006).

Tal como no caso de esquema de amostragem não existe uma regra universal para a definição da dimensão da amostra, contudo, o número de amostras deverá visar um equilíbrio entre a minimização dos custos e a garantia de resultados estatisticamente válidos (Banko, 1998, Cabral, 2006, Caetano *et al.*, 2006). As técnicas mais difundidas para estimar a dimensão da amostra têm seguido, fundamentalmente, duas opções: as funções binomiais e mais recentemente as funções multinomiais (Caetano, 2006). O modelo binomial distingue entre classificações correctas e incorrectas, não havendo necessidade de considerar o número de classes classificadas. Com efeito, o número de amostras a obter é reduzido (Equação 4.1) (Caetano *et al.*, 2006):

$$n = \frac{p(100 - p)}{\sigma^2} \quad \text{Equação (4.1)}$$

Onde n corresponde à dimensão da amostra, p é a taxa de erro estimada e σ^2 o desvio-padrão aceite para a estimativa da percentagem de amostras incorrectamente classificadas.

O inconveniente deste método prende-se com a sua aplicação a amostragens por estratos, pois, em estratos de reduzida dimensão o número de amostras pode ser bastante elevado (Caetano, 2006). Alguns autores têm criticado a utilização dos modelos binomiais, uma vez que não se adaptam às matrizes de confusão. Deste modo, surge em 1982 a técnica de cálculo multinomial para a dimensão da amostra, que faz uma associação do processo de validação com a distribuição multinomial (Caetano *et al.*, 2006). Para utilização desta técnica é exigido, *a priori*, o número de classes e a sua proporção no mapa. Congalton (1991) propõe uma regra prática para definição da dimensão da amostra. O autor recomenda um número mínimo de 50 amostras por classe. No caso de a área exceder os 500km² ou o mapa classificado tiver mais de 12 classes, deverá equacionar-se uma amostragem de 75 – 100 amostras por classe.

As matrizes de erro, muitas vezes designadas por matrizes de confusão, são amplamente aceites como técnica de avaliação do erro (Banko, 1998), construindo-se com base em informação recolhida nas áreas de teste. O número de observações atribuídas a cada classe é comparado com o número de ocorrências nas classes de referência, sendo a frequência de concordância entre o mapa classificado e os dados de referência descrita pelos elementos da diagonal (Cabral, 2006).

Segundo Congalton (1991) os valores presentes nestas matrizes permitem a derivação do conjunto de estatísticas mais utilizadas na avaliação da qualidade de um mapa: exactidão global (EG), índice Kappa (K), exactidão do produtor (EP) e exactidão do utilizador (EU). Os erros de omissão (o número de observações que não foram atribuídas a determinada classe) e de comissão (número de observações incorrectamente atribuídas a determinada classe) são também indicados nestas matrizes (Caetano *et al.*, 2006).

A exactidão global avalia a proporção de amostras correctamente classificadas em relação à totalidade das amostras utilizadas na validação (Hagen, 2002). Calcula-se pela divisão pelo número de amostras correctamente classificadas (elementos da diagonal) e a dimensão total da amostra. O índice Kappa diminui a exactidão global por subtracção da concordância por sorte. A vantagem deste índice em relação à EG é o facto de integrar indirectamente todos os elementos da matriz e não apenas os da diagonal. Contudo este índice nem sempre é utilizado pois a sua formulação exige amostras geradas por métodos aleatórios simples (Congalton, 1991).

Os índices de precisão do produtor e precisão do utilizador são medidas utilizadas para avaliar a qualidade de cada classe do mapa. No primeiro caso, a EP expressa a proporção de unidades de amostra correctamente atribuídas à sua verdadeira classe. Calcula-se pelo quociente entre o número de amostras correctamente atribuídas a determinada classe e o número de amostras que efectivamente pertencem a essa classe. No segundo caso, a EU, reporta a proporção de unidades de amostras que efectivamente pertencem à classe a que foram atribuídas. O índice calcula-se pelo quociente entre o número de unidades de amostra atribuídas, correctamente ou não, a essa mesma classe. Existe bastante literatura sobre as formas de cálculo destas medidas estatísticas, discutindo-se, não raras vezes, a viabilidade e aplicabilidade destes índices. Estas discussões e explicações saem do âmbito deste estudo pelo que não são abordadas.

4.8 Derivação de mapa de uso do solo em 2006

A derivação do mapa de uso do solo (urbano/ não urbano) para o ano de 2006 segue a metodologia expressa na figura 4.6. O esquema adoptado desenvolve-se em duas fases distintas: na primeira faz-se a classificação da imagem de satélite e na segunda aperfeiçoa-se o mapa classificado com integração de informação auxiliar.

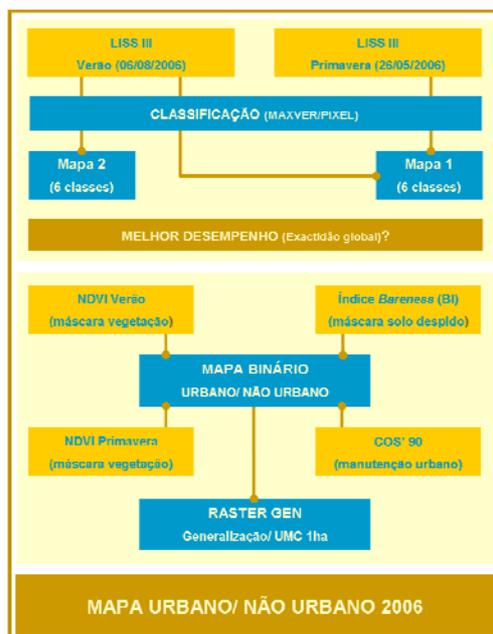


Figura 4.6. Esquema metodológico para derivação do mapa de solo urbano em 2006.

4.8.1 Classificações das imagens de satélite

Apesar do objectivo do trabalho requerer apenas um mapa de uso do solo em duas classes, a variabilidade espectral associada a cada uma delas é de tal forma abrangente que o treino do algoritmo de classificação deve recorrer a mais classes. Deste modo, e após uma análise pormenorizada das imagens LISS III, crê-se adequado considerar uma nomenclatura em três níveis: 10 classes, 6 classes e 2 classes (Tabela 4.7). O treino para a classificação baseou-se na nomenclatura mais detalhada.

| Nível 1 | Nível 2 | Nível 3 |
|---------------------------|---------------------------|----------------|
| Mar, águas profundas (10) | Mar, águas profundas (10) | Não urbano (0) |
| Sapal (20) | Zonas húmidas (20) | |
| Salinas (21) | | |
| Praias/ solo nu (30) | Praias/ solo nu (30) | |
| Floresta mais densa (40) | Floresta (40) | |
| Floresta menos densa (41) | | |
| Agrícolas A (50) | | |
| Agrícolas B (51) | Agrícola (50) | |
| Agrícolas C (52) | | |
| Urbano (60) | Urbano (60) | Urbano (1) |

Tabela 4.7. Nomenclatura em três níveis.

A existência de uma nomenclatura de referência, uma razoável capacidade computacional e a utilização de um pacote de *software* que não contempla aplicações para segmentação de imagens, sugerem uma classificação ao nível do *pixel* pelo algoritmo da máxima verosimilhança.

Após a selecção das áreas de treino (para 10 classes), realizaram-se três classificações distintas: i) utilização das quatro bandas da imagem de Verão; ii) utilização simultânea das bandas (oito) da imagem de Verão e Primavera e; iii) utilização das quatro bandas de Verão em simultâneo com o desvio-padrão da banda vermelho.

O objectivo desta etapa passava pela selecção da classificação que apresentasse melhor desempenho. Na prossecução desse objectivo, lançou-se uma amostragem aleatória estratificada tendo o *pixel* como unidade que garantia a representatividade de todas as classes. Relativamente à dimensão da amostra, a literatura analisada não avança nenhum número totalmente consensual. Com efeito, recorreu-se à ferramenta *Sample Size Calculator* (RAOSOFT, 2004) que disponibiliza uma aplicação para cálculo do número de amostras relativamente a um determinado intervalo de confiança e margem de erro. Neste caso concreto, e para um intervalo de confiança de 90% e uma margem de erro de 15%, sugerem-se 30 amostras por classe.

O desempenho de cada classificação foi avaliado, obtendo-se os resultados de exactidão global descritos na tabela 4.8. Com efeito, seleccionou-se (83.3% de exactidão global) a classificação que integra a totalidade das bandas das imagens de Primavera e Verão. Importa referir que as ortoimagens, propriedade do IGP, com resolução espacial 50 cm adquiridas em voos dos anos de 2005 e 2006, constituíram a informação de referência utilizada para a amostragem de teste.

| Classificação | EG (%) |
|--|-------------|
| 4 bandas (Verão) | 80.7 |
| 8 bandas (Verão e Primavera) | 83.3 |
| 5 bandas (4 Verão + desvio-padrão no vermelho) | 69.8 |

Tabela 4.8. Desempenho das classificações.

As amostras lançadas permitiram o desenvolvimento da matriz de confusão referente à classificação com melhor desempenho (tabela 4.9). Da sua análise ressalta a classe solo urbano (60) como a que apresenta o pior desempenho em termos de exactidão de utilizador, 50%. A justificação deve-se, sobretudo, aos *pixels* classificados como urbano que na realidade correspondem a praias/solo nu ou a áreas agrícolas. Contudo, este é um resultado admissível pois a classificação do solo urbano é uma tarefa complexa devido à elevada diversidade e heterogeneidade espectral da classe (Small, 2005).

| | | Informação de referência | | | | | | Σ | Ex. Utiliz. (%) |
|--------------------------------|----------|--------------------------|------|------|------|------|------|-------------|-----------------|
| | | CLASSES | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | | |
| Informação da classificação | 10 | 28 | | | | | | 28 | 100.0 |
| | 20 | 2 | 24 | | | | | 26 | 92.3 |
| | 30 | | | 21 | | | 1 | 22 | 95.5 |
| | 40 | | | 1 | 26 | 3 | 1 | 31 | 83.9 |
| | 50 | | | | 2 | 32 | 1 | 35 | 91.4 |
| | 60 | | 3 | 7 | 2 | 7 | 19 | 38 | 50.0 |
| | Σ | | 30 | 27 | 29 | 30 | 42 | 22 | 180 |
| Ex. prod (%) | | 93.3 | 88.9 | 72.4 | 86.7 | 76.2 | 86.4 | | |
| Exactidão global (%) | | | | | | | | 83.3 | |

Tabela 4.9. Matriz de confusão da classificação de 8 bandas.

4.8.2 Aperfeiçoamento dos mapas classificados

A segunda fase da metodologia visa eliminar áreas incorrectamente classificadas e garantir que o mapa final apresenta as características técnicas exigidas, designadamente uma UMC de 1ha.

Todas as técnicas aplicadas para aperfeiçoamento do mapa classificado deram-se sobre um mapa binário de urbano/ não urbano produzido pela agregação directa de classes (tabela 4.7).

O NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), proposto por Rouse et al. (1983), é definido como uma diferença normalizada entre as reflectâncias captadas na região do infravermelho próximo e na do vermelho, podendo ser directamente relacionado com a quantidade de biomassa existente num pixel (Masek *et al.*, 2000). Muitos autores aplicaram estas técnicas como procedimento para avaliação das alterações ao uso do solo, sob a premissa que, subtraindo NDVI de anos diferentes é possível reconhecer as áreas decréscimo de vegetação e consequente artificialização (Haobo *et al.*, 2005, Masek *et al.*, 2000, Muttitanon e Tripathi, 2005). Diferindo destas, a técnica adoptada para o presente estudo sustenta-se na criação de um mapa binário (máscara) por reclassificação do NDVI. A ideia subjacente foi a de identificar com o código "0" as áreas de vegetação (NDVI altos) e de corpos de água (NDVI negativos), eliminando áreas erradamente classificadas como urbano. Produziram-se duas máscaras semelhantes, para a imagem de Verão e de Primavera. Na tabela 4.10 estão os valores de reclassificação dos NDVI.

| NDVI | Valores originais | Reclassificação |
|----------------|---------------------|-----------------|
| NDVI Verão | De -0.8286 a -0.215 | 0 |
| | De -0.215 a 0.245 | 1 |
| | De 0.245 a 0.8580 | 0 |
| NDVI Primavera | De -0.6056 a -0.21 | 0 |
| | De -0.21 a 0.30 | 1 |
| | De 0.30 a 0.8346 | 0 |

Tabela 4.10. Reclassificação dos NDVI.

Haobo et al. (2005) publicam uma nova metodologia para extracção expedita de áreas urbanas através de dados remotos, neste caso, recorrendo a imagens do satélite Landsat TM. Genericamente, os autores propõem-se a separar quatro tipologias de ocupação do solo (Solo nu, Urbano, Vegetação e Água) com base numa combinação de um índice de solo nu (*Bareness Index - BI*) e do NDVI. Uma operação simples sobre as bandas 3, 4, 5 do TM ($BI = TM3 + TM5 - TM4$) seguida de uma reclassificação em quatro intervalos (tabela 4.11) é, segundo estes, suficiente para calcular o BI. Apesar da capacidade para separar solo nu de áreas urbanas, o BI não conseguia isoladamente diferenciar as áreas de vegetação das áreas aquáticas, para tal, recorreram ao NDVI.

| Tipologias | ND |
|------------|-----------|
| Água | 0 a 70 |
| Vegetação | 71 a 113 |
| Urbano | 114 a 174 |
| Solo nu | 175 a 255 |

Tabela 4.11. Reclassificação dos ND para cálculo do índice de solo nu (Haobo *et al.*, 2005).

A aplicação desta metodologia à área de estudo não possibilitou uma segregação eficiente entre os solos urbanos e os solos com vegetação, no entanto, mostrou-se capaz para a delimitação das áreas de solo nu, tais como pedreiras e praias. Deste modo, optou-se pela aplicação de uma máscara de solo nu (derivada do BI) sobre o mapa classificado de 2006. A intenção foi retirar áreas de praias e pedreiras que na classificação foram definidas como áreas urbanas.

Neste estudo assumiu-se que o uso urbano do solo dificilmente se altera, pelo menos para um uso não artificial. Com efeito, as áreas de solo urbano em 1990 deveriam manter-se em 2006. Para garantir que tal acontecia, criou-se uma condição do tipo: *SE em 1990 é urbano ENTÃO será urbano em 2006*. A implementação desta condição recorreu a uma soma entre duas imagens binárias (a de 1990 derivada do COS'90 e o mapa classificado de 2006), seguida de uma reclassificação: valores de "2" e "1" correspondem a urbano (1) e valores "0" correspondem a outros usos (0).

A etapa final do processo de refinamento do mapa classificado faz-se pela aplicação do *RasterGen* (Caetano *et al.*, 2004, Caetano *et al.*, 2001, Nunes, 2002). Na sua génese o *RasterGen* baseia-se em operações como a reclassificação, agregação, expansão, erosão e simplificação que, conjuntamente com regras de agregação entre classes, produzem mapas tematicamente generalizados (Caetano *et al.*, 2004). Como *inputs* a aplicação exige um mapa de ocupação do solo (*raster*), a UMC pretendida no mapa final e, um conjunto de regras para agregação (tabela de prioridades e custos em formato *Dbase*) entre classes. Esta tabela deverá conter obrigatoriamente mais duas colunas que o número total de classes a agregar (urbano e não urbano neste caso específico), designadas por *Value* e *Exsh*. O campo *Exsh* expressa a ordem de prioridade de cada classe e tem que estar ordenado por ordem decrescente. A partir deste campo deriva-se o *Value*, ordenado por ordem de prioridade, ou seja, ao maior valor no *Exsh* corresponde a classe de maior prioridade no campo *Value* (Nunes, 2002). As restantes colunas N_x (x representa a ordem de prioridades), expressam as matrizes de custo para cada classe, isto é, a afinidade entre estas (Nunes, 2002). No presente caso, o mapa final de solo urbano/ não urbano derivou da definição de uma UMC de 1ha e da prioridade do solo

urbano sobre o não urbano, aplicados sobre o mapa binário resultante dos complementos descritos acima.

A avaliação da qualidade do mapa final (2 classes), realizada, tal como a anterior, com base numa amostragem aleatória estratificada ao nível do *pixel*, revelou um aumento dos índices exactidão global e exactidão do utilizador. Estes valores aumentaram, relativamente à classificação com 6 classes, de 83.3% para 88.9% na exactidão global e de 50% para 52.5% em termos de exactidão do utilizador. A figura 4.7 mostra os mapas de uso do solo de 2006 derivados das imagens de satélite LISS III. À esquerda o mapa em seis classes resultante da classificação, à direita o mapa binário de solo urbano / não urbano após aplicação das técnicas de aperfeiçoamento referidas.

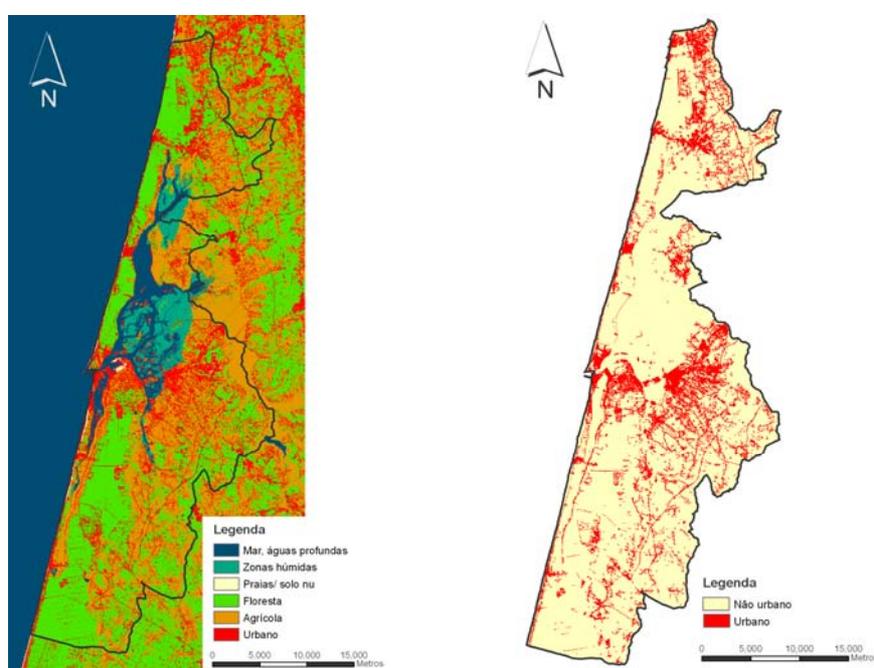


Figura 4.7. Mapas de uso do solo em 2006 em 6 classes (esquerda) e 2 classes (direita).

5. SIMULAÇÃO DO CRESCIMENTO URBANO

5.1 Objectivo do capítulo

Na parte inicial deste capítulo promove-se uma perspectiva alargada sobre o fenómeno de crescimento urbano. O que se entende por crescimento urbano, quais os principais impactos e quais métodos para a sua contenção, são algumas das questões debatidas. A segunda parte do presente capítulo é totalmente dedicada aos modelos de alterações aos usos do solo (LUCC), nos quais os modelos de crescimento urbano se inserem. Presta-se especial atenção ao modelo *Geomod*, suas especificidades técnicas, vantagens e limitações. Na última parte do capítulo desenvolve-se uma metodologia que culmina com a materialização dos impactos da erosão costeira nos territórios urbanos. No decorrer desta etapa desenvolve-se um mapa de aptidão para o solo se converter de outros usos em solo urbano, fundamental para as simulações de crescimento urbano no trecho Ovar-Mira.

5.2 O fenómeno do crescimento urbano

Hoje, cerca de 75% da população europeia vive em zonas urbanas. Espera-se que em 2020 esta cifra esteja perto dos 80%, atingindo em alguns países valores superiores a 90%. Paradoxalmente, a estes europeus agrada-lhes a proximidade de paisagens naturais ou pouco intervencionadas pelo homem (EEA, 2006b). Estas características induzem uma dinâmica forte que se traduz no alastrar disperso dos espaços urbanos sobre as áreas naturais ou semi-naturais: expansão urbana (EEA, 2006b).

Segundo a Agência Europeia do Ambiente, a expansão urbana produz novas áreas urbanas, normalmente de baixa densidade e não planeadas que, por questões de mercado, vão ocupando as áreas agrícolas contíguas aos espaços urbanos consolidados (EEA, 2006b). O mesmo estudo refere que as cidades europeias dos anos 50 eram mais compactas do que actualmente e que, por informações recentes, a tendência não é de abrandamento. As cidades no passado cresciam fundamentalmente em resposta ao aumento populacional. Por oposição, o crescimento das cidades modernas deve-se sobretudo a factores como a vontade de residência individual, o aumento da facilidade de mobilidade ou, pela falta de políticas de ordenamento do território coerentes e efectivas a todos os níveis (EEA, 2006b, Paül e Tonts, 2005).

No panorama europeu, os casos mais evidentes de expansão urbana têm surgido em países ou regiões com densidades populacionais elevadas e em países onde o crescimento económico recente foi muito acelerado. Uma nova tendência mostra casos

de expansão urbana em redor de cidades de pequena e média dimensão, ao longo de vias de comunicação importantes ou a trechos costeiros associados aos vales dos rios (EEA, 2006b).

Em Portugal deu-se um dos mais fortes crescimentos urbanos de toda a União Europeia, designadamente em torno das cidades de maior expressão territorial e na zona costeira. Em 2000, cerca de 50% das áreas urbanas portuguesas localizavam-se num corredor até aos 13km da linha de costa (EEA, 2006b). Este processo de artificialização da zona costeira iniciou-se durante a década de sessenta, com migração de mão-de-obra do interior rural para a indústria que, à época, estava localizava sobretudo nas cidades litorais. Criou-se o que se designa por “contínuo urbano de Setúbal a Braga” (Caetano *et al.*, 1999). Também no litoral algarvio a artificialização da costa deve-se fundamentalmente à expansão residencial, contudo, neste caso, motivado por fortes investimentos nas actividades turísticas (Caetano *et al.*, 1999).

5.3 Modelos de crescimento urbano

Um modelo pode ser entendido como uma representação abstracta de um objecto, fenómeno ou processo real, que possibilita o ganho de conhecimento sobre a realidade através da experimentação (Clarke, 2003). Os modelos podem representar a realidade em termos físicos, matemáticos ou lógicos e, formalmente, não são mais do que conjuntos de *inputs* e *output* e algoritmos que reproduzem a realidade (Clarke, 2003). No domínio da Geografia ou da Ciência da Informação Geográfica, os *inputs* e *outputs* encontram-se usualmente sob a forma de mapas e os algoritmos tendem a simular fenómenos físicos e humanos, ou alterações nesse fenómeno (Clarke, 2003).

Modelos de alterações aos usos do solo (LUCC), nos quais se integram os modelos de crescimento urbano, são um instrumento de análise às causas e consequências destas alterações, contribuindo para uma melhor percepção das dinâmicas da ocupação do solo numa perspectiva de suporte às opções e políticas de ordenamento do território (Verburg *et al.*, 2004).

No âmbito da sua investigação, Almeida (2004) descreve três momentos-chave quanto à evolução histórica dos modelos de LUCC. O primeiro momento debate os modelos não dinâmicos, o segundo inicia-se com os primeiros modelos dinâmicos e, o último, com os modelos dinâmicos espaciais.

Segundo esta autora, o modelo teórico económico, conhecido como teoria dos anéis concêntricos de Von Thunen de 1826, é uma das mais antigas contribuições neste domínio. Sucintamente, esta teoria demonstrou que o solo mais próximo de um qualquer bem ou serviço é mais valioso decrescendo à medida que a distância para esse bem

aumenta, o que, transposto para uma cidade traduz-se em usos mais intensos na proximidade do seu centro. No seguimento desta corrente teórica, Weber em 1909 definiu um modelo de localização industrial, que assentava no pressuposto que a localização óptima de uma indústria seria no ponto onde os custos de transporte da matéria-prima até à indústria e da entrega no mercado fossem mínimos. Nos anos seguintes, outras teorias como a de Chirstaller (em 1933) ou a de Losch (em 1940) foram-se desenvolvendo.

Os anos 50 e 60 registaram desenvolvimentos pioneiros e efectivos na modelação urbana. O aumento do número de automóveis por pessoa, principalmente nos EUA, trouxe problemas de circulação e a constatação que as cidades tal como estavam organizadas não poderiam fazer frente a estas novas necessidades. Este facto, aliado ao aumento das capacidades computacionais promoveram o seu desenvolvimento (Almeida, 2004, Berling-Wolff e Wu, 2004). Modelos gravitacionais (por analogia à teoria da Gravidade de Newton) como o de Lowry (desenvolvido em 1964, assenta na premissa que o crescimento ou retracção urbana é função do crescimento ou retracção do sector base da economia), ou os modelos de difusão que utilizavam equações diferenciais de primeira ordem (e.g. EMPIRIC – desenvolvido por Hill em 1965 e aplicado à região de Bóston) mostraram-se ineficazes na integração de informação sobre a utilização do solo, tornando-se inadequados para novas necessidades da época (Berling-Wolff e Wu, 2004, Cabral, 2006, Sui, 1998). Este facto fez diminuir drasticamente o financiamento destes projectos que, segundo estes autores, provocou o seu quase total desaparecimento até meados dos anos 70. Batty (1979), numa apreciação qualitativa dos progressos, falhas e sucessos da modelação urbana refere que, apesar do seu insucesso teórico e prático, estas iniciativas possibilitaram o aumento das capacidades de modelação e catalisaram o aparecimento de novas abordagens metodológicas neste domínio.

Entre o final dos anos 70 e o princípio dos anos 80, a revolução numérica fez os modelos urbanos renascer. A principal diferença desta nova geração de modelos reside na abordagem utilizada: os problemas são tratados em módulos separados, o que permitia a aplicação de teorias específicas a cada parte do problema (Berling-Wolff e Wu, 2004, Cabral, 2006). Mas esta não foi a única inovação. Estes novos modelos operavam numa base dinâmica. Isto é, os seus *inputs* e *outputs* variam com o tempo, e o seu estado futuro depende dos estados anteriores (Almeida *et al.*, 2005). Com efeito, a capacidade de modelar os aspectos dinâmicos de um sistema conduz a modelos cada vez mais realistas e de maior aplicabilidade (Berling-Wolff e Wu, 2004).

No entanto, e segundo Almeida *et al.*(2005), os modelos urbanos definidos até meados dos anos 80 não operavam sobre a dimensão espacial. De facto, apenas o progresso nas técnicas de análise espacial e dos SIG na análise e visualização de dados,

possibilitaram a integração dos autómatos celulares, abrindo novas perspectivas na modelação urbana (Almeida *et al.*, 2005, Berling-Wolff e Wu, 2004).

Diferentes categorizações de modelos de alterações aos usos do solo têm vindo a ser propostas por inúmeros autores, dependendo do objectivo central do estudo (Almeida, 2004, Verburg *et al.*, 2004). Uma das mais extensas e detalhadas revisões sobre estes é apresentada por Briassoulis (2000), que sugere uma classificação baseada em aspectos conceptuais e funcionais do modelo. Com efeito, a autora diferencia cinco categorias principais: i) modelos estatísticos e econométricos, que incluem modelos de regressão linear; ii) modelos de interacção espacial, que incluem os modelos gravitacionais; iii) modelos de optimização, incluem modelos de programação linear ou dinâmica e modelos de decisão multi-critério; iv) modelos integrados, incluem os modelos de Lowry e; v) outros modelos, designadamente os orientados às ciências naturais, baseados nas cadeias de Markov e SIG. Parker *et al.*(2003) defende uma classificação de modelos LUCC, neste caso em oito categorias: i) modelos baseados em equações, que procuram a solução ou equilíbrio por equações matemáticas; ii) modelos de sistema, representam as reservas e trocas de informação ou energia como conjuntos de equações diferenciais ligadas por funções; iii) modelos baseados em técnicas estatísticas, exemplares na facilidade de utilização e poder de descrição; iv) modelos inteligentes, baseados em inteligência artificial; v) modelos evolucionistas, inspirados no paradigma da evolução das espécies; vi) modelos celulares, assentes numa estrutura de células, onde o estado futuro de cada uma depende do seu estado actual e do das células vizinhas; vii) modelos híbridos, caracterizados por integrarem simultaneamente modelos celulares e técnicas estatísticas e; viii) modelos multi-agentes, caracterizam-se pela autonomia dos agentes que partilham ambientes através da comunicação e interacção.

Em discussão, Cabral (2006) salienta que esta diversidade de modelos, aliada à sobreposição de técnicas utilizadas e aos diferentes domínios de aplicação, dificulta as classificações e torna-as muito focalizadas em determinada área de estudo.

5.3.1 Os autómatos celulares e os modelos de LUCC

Segundo Aguilera Benavente (2006), a maioria dos actuais modelos para previsão do crescimento urbano recorre aos autómatos celulares. Pinto *et al.* (2007) referem que a utilização generalizada de AC pela comunidade dos geógrafos e dos planeadores urbanos se deve à sua aptidão natural para representar comportamentos espaciais e temporais de sistemas complexos através de um conjunto reduzido de regras de transição.

Desenvolvidos nos anos 40 e 50 pelo físico Stanislaw Ulam e pelo matemático Von Neumann com objectivo de investigar sistemas de auto-reprodução, os AC são sistemas espaciais dinâmicos em que o estado de uma determinada célula depende do seu estado anterior e do estado das células vizinhas de acordo com um conjunto de regras de transição (White e Engelen, 1997). Segundo Singh (2003) um AC convencional é composto por cinco elementos:

- Espaço de células (lattice): conjunto de células individuais.
- Estado das células: representa qualquer variável espacial como por exemplo tipologias de uso do solo.
- Intervalos de tempo: o AC evolui num conjunto discreto de intervalos de tempo, em cada um destes o estado das células é actualizado segundo as células vizinhas e as regras de transição.
- Regras de transição: fundamentais na evolução dinâmica do AC. Estas regras usualmente definem os estados das células antes e depois da actualização baseadas nas condições de vizinhança.
- Vizinhança: num AC de uma dimensão cada célula tem dois vizinhos. Quando se passa para duas dimensões, existem duas maneiras de definir a vizinhança. Moore define oito células vizinhas e Von Neumann apenas quatro.

Os AC são então sistemas de células que, não obstante de interagirem de um modo muito simples, podem simular comportamentos de elevada complexidade (Berling-Wolff e Wu, 2004) e onde a integração de sistemas socio-económicos e naturais pode ser feita de uma forma realista e pormenorizada (White e Engelen, 1997). Um dos primeiros exemplos deste tipo de abordagem no domínio da geografia foi proposto por Tobler (Tobler, 1970). Neste estudo, desenvolve-se um modelo de crescimento populacional para a região de Detroit com ênfase colocado na sua distribuição geográfica. Tobler (1970) define neste contexto a primeira lei da geografia *“everything is related to everything else, but near things are more related than distance things”*, considerando o crescimento populacional de uma determinada localização sob influência directa de uma área de vizinhança. A ligação entre os AC e os fenómenos geográficos é subjacente a este conceito, pois a vizinhança é um dos seus componentes fundamentais (Pinto e Antunes, 2007).

O modelo SLEUTH é uma das aplicações de crescimento urbano baseadas em autómatos celulares mais divulgadas (Pinto e Antunes, 2007). Este modelo, definido por Clarke *et al.*(1997) e aplicado à área da Baía de São Francisco, simula o crescimento urbano com base em seis factores: declive (*Slope*), uso do solo (*Land use*), áreas não

urbanizáveis (*Exclusion*), áreas urbanas (*Urban extent*), infra-estruturas de transportes (*Transportation*) e exposição solar (*Hillshade*). Em 2002, este modelo foi aplicado em Portugal para definição dos cenários de expansão urbana nas áreas metropolitanas de Lisboa e Porto (Silva, 2002).

5.3.2 Técnicas de validação de modelos de LUC

Independentemente do contexto da modelação, espera-se que os resultados do modelo se assemelhem à realidade modelada. Por este motivo, é importante encontrar uma forma que permita comparar os resultados do modelo com os verificados na realidade, avaliando-se o poder de previsão do modelo (Cabral, 2006).

O critério mais difundido para avaliação dos modelos de LUC é o da precisão global. Neste método compara-se a percentagem de células correctamente classificadas pelo modelo com os mapas reais. Contudo, uma elevada percentagem de células bem classificadas pode não implicar uma boa capacidade de previsão no modelo (Cabral, 2006). Segundo Pontius e Chen (2006), quando a área geográfica a modelar apresenta poucas alterações entre o momento inicial e final, uma avaliação da qualidade do resultado do modelo será, com elevado grau de certeza, muito boa. Para que se evitem estas situações, o autor recomenda que se avalie o grau de correspondência entre o resultado do modelo e a realidade, quer para o momento inicial quer para o final.

A utilização isolada do índice *Kappa*, apesar de muito popular, é discutida por Pontius (2002). Para este autor, a avaliação da precisão global deve ser complementada com índices que avaliem a qualidade entre dois mapas, quer em relação ao número de células bem classificadas, quer em relação ao número de células classificadas na localização correcta, propondo, respectivamente, o índice *Kno* e o *Klocation*. Hagen (2002), por considerar o *Kno* pouco intuitivo e com pouco poder de explicação, introduz mais um índice *K* para avaliar a qualidade da correspondência entre dois mapas: o *Khisto*. Cabral *et al.* (2006) referem que, não obstante de serem frequentemente utilizados, os índices de precisão global e o *Kappa* são insuficientes na comparação de dois mapas pois falham na avaliação do padrão, quantidade e localização das alterações. Os autores consideram que a validação da capacidade dos modelos LUC para prever alterações relativas às quantidades e localizações se fazem, respectivamente, pelo *Khisto* e pelo *Klocation*. No âmbito deste estudo segue-se a orientação destes autores, pelo que se faz a análise da qualidade das simulações de crescimento urbano baseada nestes três índices.

5.4 A escolha do modelo *Geomod*

A diversidade de modelos de LUCC é inegável. Pontius e Malanson (2005) referem que esta variedade está relacionada com os pressupostos inerentes aos próprios modelos: número de categorias possíveis, tipos de transição entre categorias, dependência espacial, requisitos de informação, entre outras. Com efeito, estas variações nas características formais dificultam a comparação do desempenho de um modelo face a outro (Pontius e Chen, 2006).

Existem modelos que simulam as alterações do solo em apenas duas classes (e.g. *Geomod*), enquanto que outros permitem várias classes (e.g. *CA_Markov*), uns fazem simulação recorrendo a variáveis reais enquanto que outros recorrem a variáveis inteiras, algumas modelações baseiam-se em dados na estrutura matricial e outras em dados vectoriais. Até em casos em que se emprega o mesmo modelo os resultados podem variar significativamente, dependendo das especificidades da área de estudo (Pontius e Chen, 2006).

Cabral (2006), num exercício aplicado à área de Sintra-Cascais, recorre a técnicas estatísticas para avaliar as prestações de vários modelos de LUCC, designadamente o *Stchoice*, o *Geomod*, o *CA_Markov* e o *CA_Advanced*. Relativamente à sua génese o *Stchoice* representa uma variante de um processo estocástico que implementa a teoria das cadeias de Markov, recorre a probabilidades condicionadas de transição entre o momento $t=0$ e $t=1$ para estimar $t=2$; o *Geomod* simula a passagem da célula de uma classe a outra com base em extrapolações lineares; o *CA_Markov* e *CA_Advanced* baseiam-se em autómatos celulares e recorrem a uma matriz de transição de Markov, a uma carta de aptidão e a um filtro de vizinhança para modelar as alterações entre várias classes de ocupação do solo.

Pelos resultados obtidos, constatou que os modelos de AC são os que melhores prestações garantem, seguidos de perto pelo modelo híbrido *Geomod*. Este último apresenta um desempenho bastante superior no índice Khisto e inferior no índice Klocation. Quer na exactidão global quer no índice Kappa, o desempenho dos modelos é muito semelhante.

Uma vantagem do *Geomod* face a outros modelos, como por exemplo o *CA_Markov*, é a sua reduzida exigência de dados de *input*, nomeadamente em termos de informação relativa aos usos do solo. Apesar de modelar as alterações ao uso do solo para várias classes simultaneamente, o *CA_Markov* exige mapas de uso do solo para dois momentos temporais (matriz de transição) e um terceiro para a validação. O mesmo não acontece com o *Geomod*, que necessita de um mapa de uso do solo para o momento

inicial e outro para a validação dos resultados. Neste domínio, Pontius e Malanson (2005) realçam que, relativamente à capacidade preditiva (quantidade e localização de tipos de ocupação do solo), tanto o *CA_Markov* como o *Geomod* apresentam resultados semelhantes, residindo a diferença mais notória no número de classes de ocupação do solo em que cada um deles opera.

Face aos resultados apresentados por Pontius e Malanson (2005) e Cabral (2006) e à menor exigência em termos de dados de *input*, selecciona-se o *Geomod* para modelar os cenários de crescimento urbano no trecho Ovar-Mira para o ano 2030. De referir que este modelo está disponível através do *software IDRISI Andes Clark Labs*.

O *Geomod*

O *Geomod*, desenhado inicialmente em 1994 por Pontius com objectivo de simular a desflorestação tropical e avaliar as conseqüentes alterações nas emissões de dióxido de carbono é, actualmente, um modelo de simulação das alterações ao uso do solo bastante generalizado, que opera em duas classes e permite avanços e recuos temporais (Pontius e Malanson, 2005). Várias afinações à proposta inicial, têm permitido a sua aplicação em diversos países e a diferentes escalas com objectivo de prever as alterações ao uso do solo. Destacam-se como casos de sucesso as aplicações à escala continental (África e Ásia), à totalidade do território da Costa Rica e da Índia e, à escala local, em secções do território da Índia, Egipto, Estados Unidos, Portugal e de alguns países da América Latina (Pontius e Chen, 2006).

Em termos de funcionamento, este modelo, assente numa estrutura de dados matricial, simula as alterações ocorridas entre duas categorias de ocupação do solo (e.g solo urbano e não urbano), devendo o utilizador fornecer um mapa com informação relativa à ocupação do solo (duas classes) no momento inicial ($t=0$), a quantidade esperada de células afectas a cada classe no momento final ($t=1$) – o *Geomod* não incorpora nenhum método explícito para extrapolação da quantidade de células que mudam de uma classe para outra (Pontius e Malanson, 2005) – e um mapa de aptidão para a transição entre classes de ocupação do solo. Opcionalmente, e com objectivo de melhorar a qualidade da simulação, o utilizador poderá fornecer informação relativa às áreas excluídas da simulação e uma função de vizinhança, que indica quais as células mais aptas para a transição. O processo de modelação pode levar em consideração apenas o mapa de aptidão ou, simultaneamente, este e a proximidade às áreas de cada tipologia de ocupação do solo. Com efeito, no caso de as categorias serem solo urbano e não urbano, o *Geomod* procura no espaço de células não urbanas quais as mais aptas à passagem para solo urbano num determinado período de tempo (Pontius e Chen, 2006).

Do ponto de vista estrutural, o *Geomod* selecciona as localizações das alterações entre classes com base em quatro regras de decisão, sendo a primeira obrigatória e as restantes opcionais (Pontius e Chen, 2006). Estas regras explicam-se em seguida.

O princípio subjacente à primeira regra de decisão é o da manutenção da paisagem (Pontius e Chen, 2006). Isto significa que ao instruir o *Geomod* com um aumento do número de células da categoria urbano, o modelo simula a alteração de não urbano para urbano respeitando essa nova quantidade de células. Importa referir que neste processo todas as células de solo urbano permanecem inalteradas, resultando no facto de que nenhuma célula mudará de urbano para não urbano. A segunda regra de decisão relaciona-se com a estratificação (divisão em regiões) da área em estudo. Assumir esta regra implicará que o utilizador defina um mapa de sub-regiões e especifique a quantidade de células para cada categoria em cada uma das sub-regiões. Este procedimento viabiliza que na mesma área de estudo se verifiquem, simultaneamente e no mesmo período temporal, perdas e ganhos de células afectas a cada classe de ocupação do solo (Pontius e Chen, 2006). A terceira regra de decisão baseia-se no princípio do vizinho mais próximo. Com efeito, o *Geomod* restringe as alterações, num determinado período, às células que estejam na fronteira das duas classes de ocupação do solo. Exemplificando, se o objectivo da simulação for a passagem de células de solo não urbano para urbano, esta função do modelo pesquisa as células mais aptas à mudança na vizinhança de espaços urbanos (Pontius e Chen, 2006). O tamanho desta janela é definido pelo utilizador. No caso da simulação de não urbano para urbano, a quarta regra de decisão relaciona-se com o mapa de aptidão de solo urbano. Esta regra obriga a que, durante a simulação, se pesquisem as células de solo não urbano cujo valor de aptidão para se tornarem urbanas seja superior. Por oposição, se a simulação visar a passagem de urbano para não urbano, a pesquisa selecciona as células com menor valor de aptidão (Pontius e Chen, 2006). De referir que o mapa de aptidão pode ser desenvolvido com recurso a técnicas exteriores ao modelo ou, alternativamente, o *Geomod* pode derivá-lo durante a simulação. Neste último caso, o modelo baseia-se em mapas relativos às variáveis indutoras de crescimento urbano no momento inicial, criando um mapa de aptidão empiricamente (Pontius e Chen, 2006). No sentido de uma maior aproximação às reais dinâmicas de crescimento urbano, o mapa de aptidão do presente estudo é criado com base em técnicas externas ao modelo, como tal, explicações mais aprofundadas sobre as técnicas de derivação do mapa de aptidão pelo *Geomod* não serão discutidas. Relativamente às variáveis a utilizar na derivação do mapa de aptidão, os autores referem que apenas dados relativos ao momento inicial de simulação têm legitimidade para integrar o processo.

Numa das mais completas revisões bibliográficas sobre o modelo, Pontius *et al.* (2001), enumeram como principais limitações às simulações do *Geomod* a falta de um método explícito para extrapolar a quantidade de determinada classe no período final e a unidireccionalidade da simulação, ou seja, apenas as células de solo não urbano podem passar a urbano durante a simulação. A primeira limitação ultrapassa-se recorrendo a métodos externos de extrapolação, e.g. a regressão linear. A unidireccionalidade pode ser uma limitação crítica em casos em que as duas classes a modelar apresentem tendência para a permutação, o que, usualmente, não se verifica entre espaços urbanos e não urbanos.

5.5 Derivação do mapa de aptidão para o solo urbano

Para modelar correctamente as transições nos usos do solo, é necessário um conhecimento profundo dos factores indutores dessas mesmas mudanças numa determinada série temporal. Essas variáveis traduzem, a maior parte das vezes, aspectos naturais e socio-económicos da área (Almeida *et al.*, 2005, Verburg *et al.*, 2004).

Neste domínio, as cartas de aptidão traduzem a capacidade de alteração da tipologia de ocupação do solo afecta a uma determinada célula, quantificada numa gama de valores – valores baixos (fraca aptidão) e valores altos (elevada aptidão). Não existe uma metodologia unanimemente aceite para a geração destes mapas, podendo-se recorrer a abordagens dedutivas, como por exemplo as avaliações multi-critério – proposta por Voogd (1983) para auxiliar os profissionais de planeamento do território, uma vez que possibilita a investigação estruturada de várias possibilidades de escolha num cenário de objectivos conflitantes – e as redes neuronais, ou a técnicas indutivas como o caso da regressão logística (Cabral, 2006, Pontius e Schneider, 2001).

Os mapas de aptidão são um veículo de excelência para incorporar informação relativa às variáveis que determinam o crescimento urbano numa dada região. Na sua construção podemos introduzir, simultaneamente, uma elevada diversidade de variáveis, quer sejam potenciadoras (*factors*) ou condicionadoras (*constraints*) do crescimento urbano – Pontius e Schneider (2001) referem que as variáveis condicionadoras podem integrar características físicas ou legais que inviabilizem a transformação de uma célula não urbana em urbana. Tal como em relação ao método para combinar a informação, a escolha destas é um processo subjectivo, não havendo também consenso sobre quais e de que forma os diversos factores influenciam o fenómeno de expansão urbana.

A tabela 5.1 sintetiza os parâmetros que diversos autores utilizaram em derivações de mapas de aptidão para o solo urbano. Independentemente da abrangência geográfica do

estudo, nota-se uma utilização generalizada de variáveis como: a distância a centros urbanos importantes, a distância às principais vias de comunicação ou os declives (potenciadoras); a protecção de áreas sensíveis e as áreas construídas no momento $t=0$ (condicionadoras).

| Autor | Abrangência geográfica | Potenciadoras | Condicionadoras |
|----------------------------------|-------------------------------|---|---|
| (Hofstee e Brussel, 1995) | Villavicencio - Colombia | Distância ao centro da cidade principal; Declives. | Zonas de risco natural |
| (Chen <i>et al.</i> , 2002) | Beijing - China | Distância ao centro da cidade principal; Distância às vias rápidas; Distância ao aeroporto; Distância às Auto-estradas; Distância às linhas de caminho de ferro; Distância às cidades de tamanho médio; Declives. | Territórios protegidos; Áreas inundáveis Lagos e reservatórios de água. |
| (Henríquez <i>et al.</i> , 2006) | Cidades médias - Chile | Distância às vias de comunicação principais; Distância aos centros urbanos principais; Ocupações do solo com mais apetência (tendência temporal) para urbano. | Áreas construídas no momento $t=0$; Corpos de água (tampão de 50m). |
| (Cabral, 2006) | Sintra/Cascais - Portugal | Distância à rede viária; Distância ao centro de Sintra-Cascais; Distância ao centro de Lisboa; Declives. | Áreas urbanas no momento $t=0$. |

Tabela 5.1. Variáveis utilizadas em mapas de aptidão para solo urbano.

No âmbito do presente estudo, seleccionam-se, como variáveis indutoras de crescimento urbano:

- Distância ao centro urbano principal – pelo seu tamanho, dinamismo e consequente capacidade atractiva, a cidade de Aveiro, demarca-se dos restantes centros urbanos da área de estudo.

- Distância aos centros urbanos secundários – embora menos relevantes que Aveiro, os centros urbanos de Mira, Vagos, Ílhavo, Murtosa e Ovar, não devem ser negligenciados no mapa de aptidão.
- Distância aos principais aglomerados costeiros – pela proximidade à praia, a pressão construtiva nestes espaços é muito significativa.
- Distância aos principais eixos viários – a facilidade de acesso às áreas contíguas a eixos viários estruturantes, provoca um aumento na sua procura e consequente incremento construtivo.
- Distância as áreas construídas em 1990 (t=0) – assume-se a premissa que, na proximidade de áreas urbanas consolidadas, devido à existência de acessos e infra-estruturas básicas, o surgimento de novas áreas está favorecido.
- Declives – as áreas muito declivosas aumentam exponencialmente o custo de exploração de qualquer actividade, por esse motivo, os desenvolvimentos construtivos estão mais favorecidos em zonas planas ou quase planas.

E como limitadoras desse mesmo fenómeno:

- Áreas de construção interdita – assume-se que nas áreas de praias, de superfícies de água e na sua proximidade (50m de tampão) não se pode verificar artificialização dos solos.
- Áreas urbanas em 1990 – se bem que possa acontecer uma intensificação das cargas construtivas em áreas construídas, assume-se, no âmbito deste estudo, que os novos desenvolvimentos construtivos não podem avançar sobre estes espaços.

Importa realçar que, nem todos os factores com implicação efectiva no crescimento urbano são considerados neste exercício. O conteúdo dos Planos Municipais de Ordenamento do Território (PMOT), os projectos de futuras vias de comunicação, a informação cadastral, a capacidade financeira da população, a proximidade a centros de excelência (e.g. universidades), ou os desenvolvimentos urbanos nas proximidades da área de estudo são exemplos de variáveis que, não obstante da sua relevância, não são incluídas no mapa de aptidão.

Na figura 5.1 observam-se os mapas relativos às variáveis a incluir na derivação dos valores de aptidão do solo urbano para o trecho costeiro Ovar-Mira.

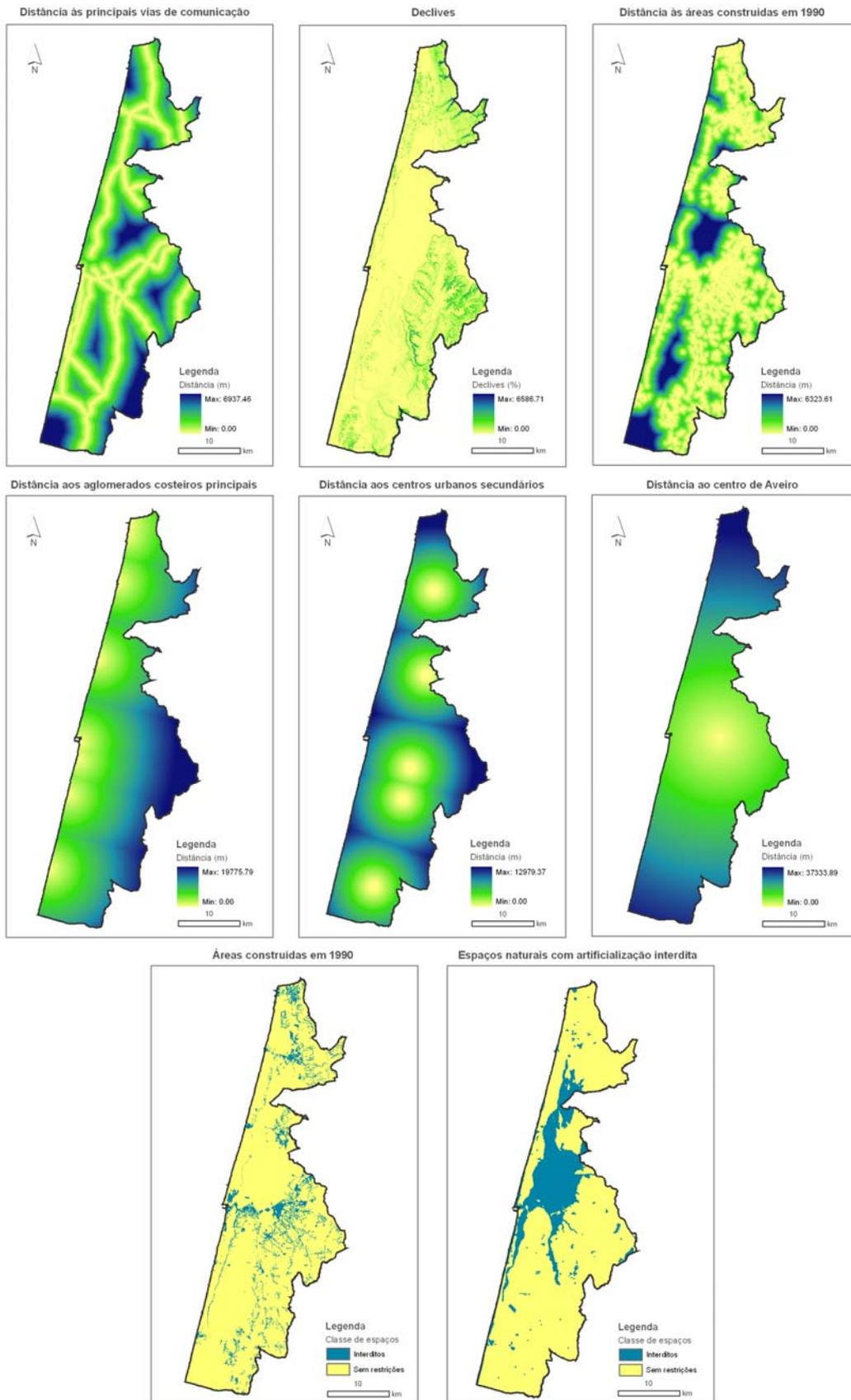


Figura 5.1. Mapas das variáveis integrantes na derivação do mapa de aptidão

Neste estudo, a avaliação da aptidão para o solo urbano deriva-se recorrendo ao módulo MCE-WLC (*Multi-criteria Evaluation – Weighted Linear Combination*) disponibilizado no IDRISI Andes. Este processo que produz uma combinação linear e ponderada das diversas variáveis exige que estas sejam estandardizadas, isto é, variem segundo a mesma gama de valores – entre 0 (aptidão mínima) e 255 (aptidão máxima) – o que possibilita a comparação dos valores individuais de aptidão (Eastman, 2006b).

No desenvolvimento do MCE-WLC, as variáveis condicionadoras do crescimento urbano actuam como máscaras no processo, isto significa que se mantêm imagens booleanas que impedem o surgimento de áreas de aptidão mais elevada. Por outro lado, as restantes variáveis (potenciadoras) são consideradas de acordo com regras de decisão difusas (*fuzzy*). Segundo Eastman (2006a), estas regras de decisão são o processo pelo qual as variáveis são seleccionadas e combinadas com a finalidade de produzir uma determinada avaliação. O reescalonamento destas variáveis é produzido com base em diversos métodos matemáticos: normalização por variação linear, normalização *z-score*, ou *fuzzy membership* (Ramos e Mendes, 2001).

As *fuzzy membership* são funções cujo resultado expressa um grau de pertença a um conjunto que varia segundo um crescimento contínuo desde não-pertença (0.0) até à pertença total (1.0) (Ramos e Mendes, 2001). A normalização dos factores faz-se então pela atribuição de um ponto mínimo a partir do qual os valores da variável contribuem para a decisão, e um ponto máximo, a partir do qual os valores da variável perdem importância. No presente estudo, recorre-se ao módulo FUZZY integrado no IDRISI Andes que disponibiliza, para normalização de variáveis contínuas, os três tipos de funções *fuzzy membership* mais comuns: a *Sigmoidal*, que se caracteriza por pequenas variações de aptidão quando os valores da variável são próximos aos pontos de controlo; a *J-shaped*, que se caracteriza por uma passagem abrupta da alta para a baixa aptidão, contudo a função é assintótica com o eixo da aptidão = 0, ou seja, mesmo para valores muito altos existe sempre uma aptidão mínima; e a *Linear*, em que a aptidão varia de igual modo entre os pontos de controlo.

Importa realçar que a selecção dos parâmetros de normalização (tipo de função e pontos de controlo) está dependente do conhecimento que o analista tem em relação ao comportamento da aptidão individual de cada variável. Eastman (2006b) refere que estas escolhas podem ser orientadas por dados empíricos, não obstante, as decisões subjectivas são frequentemente utilizadas. A tabela 5.2 descreve as principais características para normalização das variáveis contínuas.

| Variável | Função de normalização | Pontos de controlo | Observações |
|--|------------------------------|--------------------|--|
| Distância ao centro urbano principal (Aveiro) | <i>J-shaped</i> decrescente | 3000 m / 20000 m | A proximidade ao centro de Aveiro é um factor de aptidão para solo urbano que, embora diminua com a distância, nunca deixa de ter influência em toda a área de estudo. Este motivo justifica a adopção da função <i>J-shaped</i> , cujo valor de aptidão nunca atinge o zero. Assume-se que para distâncias inferiores a 3000m a aptidão é constante e máxima e que aos 20000m o seu valor está na variação média entre aptidão máxima e mínima. |
| Distância aos centros urbanos secundários | <i>Linear</i> decrescente | 0 m / 12979.0 m | Considera-se que a aptidão resultante da proximidade a estes centros secundários, diminui, de forma constante, com a distância. Os valores dos pontos de controlo correspondem, respectivamente, ao valor de distância mínima e máxima do mapa inicial da variável. |
| Distância aos principais aglomerados costeiros | <i>Sigmoidal</i> decrescente | 2000 m / 15000 m | A aptidão induzida pela proximidade a estes aglomerados é alta e varia muito pouco até distâncias reduzidas (2000m), a partir desta distância a aptidão diminui de forma significativa com o afastamento dos centros até aos 15000m, distância a partir da qual a aptidão, agora mais baixa, varia de forma subtil. |
| Distância aos principais eixos viários | <i>Sigmoidal</i> decrescente | 50 m / 500 m | Considera-se que em afastamentos inferiores a 50m, a existência de vias de comunicação principais induzem pequenas variações às aptidões elevadas. Entre os 50m e os 500m a aptidão diminui de forma significativa com o aumento da distância às vias. Para afastamentos superiores a 500m, a aptidão, já reduzida, varia muito pouco. |

Continua na página seguinte

Continuação da página anterior

| | | | |
|--|--------------------------------|----------------|---|
| Distância às áreas construídas em 1990 | <i>Linear</i> decrecente | 0 m / 6323.0 m | Considera-se que a aptidão resultante da proximidade às áreas construídas em 1990, diminui, de forma constante, com a distância. Os valores dos pontos de controlo correspondem, respectivamente, ao valor de distância mínima e máxima do mapa inicial da variável. |
| Declives | <i>Sigmoidal</i> decrecente | 0 % / 15 % | Os declives condicionam fortemente o desenvolvimento de actividades que visem a artificialização dos solos. Considera-se que para declives próximos dos 0% a aptidão esteja perto do seu valor máximo e diminua de forma ténue. Para valores mais elevados a aptidão diminui drasticamente, sendo que em declives próximos dos 15% seja muito baixa e varie muito pouco até ao valor mínimo de aptidão. |

Tabela 5.2. Módulo *FUZZY* – características para normalização de variáveis.

Uma das principais vantagens do MCE-WLC é ser um método que permite a combinação dos factores atribuindo-lhes pesos diferenciados (Eastman, 2006b). Estes pesos indicam a importância de cada factor em relação ao restante conjunto. Com efeito, um factor que tenha elevado valor de aptidão poderá compensar outros que, para a mesma localização, tenham aptidão mais reduzida. A medida em que uma variável pode compensar outra é determinada pelo seu peso (Eastman, 2006b).

O módulo WEIGHT do IDRISI Andes integra uma técnica proposta por Saaty (1977), a AHP (*Analytical Hierarchy Process*). Esta técnica de comparação de variáveis par-a-par baseia-se na classificação da importância de um factor face a outro mediante determinado objectivo, numa escala que varia de *extremamente menos importante* (1/9) a *extremamente mais importante* (9). Finalizada a comparação, calcula-se um valor de consistência que indica possíveis incoerências na etapa precedente. A figura 5.2 mostra os valores de importância atribuídos a cada um dos factores considerados.

| | distavrfuz | distcostfuz | distcsecfuz | disturb90fuz | distviasfuz | slopercfuz |
|--------------|------------|-------------|-------------|--------------|-------------|------------|
| distavrfuz | 1 | | | | | |
| distcostfuz | 1 | 1 | | | | |
| distcsecfuz | 1/3 | 1/7 | 1 | | | |
| disturb90fuz | 1/3 | 1/3 | 5 | 1 | | |
| distviasfuz | 1/7 | 1/7 | 3 | 1/3 | 1 | |
| slopercfuz | 1 | 3 | 9 | 5 | 7 | 1 |

Figura 5.2. Valores atribuídos na comparação par-a-par das variáveis.

Tendo por base o objectivo de derivação de um mapa de aptidão para o solo urbano, desenvolvido com base no método AHP, a tabela 5.3 resume os pesos atribuídos a cada variável discutida no processo. Com efeito, obtém-se um valor de consistência de 0.04 – índices de consistência abaixo de 0.10 reflectem comparações feitas de forma não aleatória (Eastman, 2006b).

| Variável | Peso |
|--|-------------|
| Distância ao centro urbano principal (Aveiro) | 0.2624 |
| Distância aos centros urbanos secundários | 0.0252 |
| Distância aos principais aglomerados costeiros | 0.2160 |
| Distância aos principais eixos viários | 0.0430 |
| Distância às áreas construídas em 1990 | 0.0924 |
| Declives | 0.3609 |
| <i>Consistência</i> | <i>0.04</i> |

Tabela 5.3. Pesos atribuídos a cada uma das variáveis.

A análise destes valores salienta que a variável “Declives” condiciona fortemente o valor de aptidão final, seguindo-se, com importância semelhante, as variáveis “Distância ao centro de Aveiro” e “Distância aos aglomerados costeiros”. Em oposição, a variável “Distância aos centros urbanos secundários” é a que menos influência tem no mapa final de aptidão (Figura 5.3).

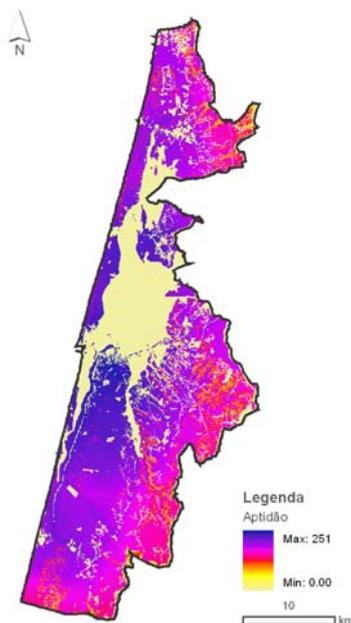


Figura 5.3. Mapa de aptidão para transformação em solo urbano no ano de 1990.

5.6 Desenvolvimento e validação dos cenários de crescimento urbano

Nesta secção apresentam-se os mapas relativos às simulações de crescimento urbano para o ano de 2006 e de 2030.

Na figura 5.4 apresentam-se os mapas binários de solo urbano/ não urbano derivados por classificação de imagens de satélite (esquerda) e por aplicação do modelo *Geomod*. Não importa avaliar o número de células afectas a cada tipologia de uso do solo entre as duas imagens, pois a implementação do *Geomod* exige uma indicação da quantidade de células de cada tipologia no período final de simulação que, neste caso, foi obtido através do mapa classificado no capítulo 4. Contudo, visualmente constata-se que as áreas urbanas obtidas pela simulação do *Geomod* estão muito próximas das áreas reais.

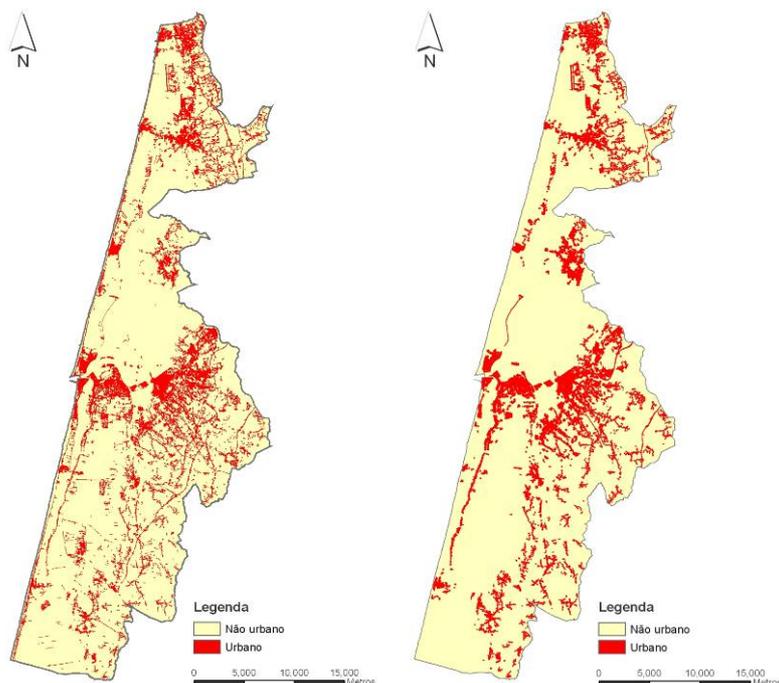


Figura 5.4. Mapas de urbano /não urbano para 2006. Real à esquerda e simulado à direita.

Uma análise mais pormenorizada, baseada nos três índices estatísticos considerados para avaliação da qualidade dos mapas, permite constatar valores bastante elevados em todos os índices (tabela 5.4) quando se compara o mapa real de 2006 com o mapa simulado do mesmo ano. Estes valores apontam para uma simulação muito próxima da realidade.

| Índice | Desempenho |
|-----------|------------|
| Kappa | 0.91 |
| Klocation | 0.91 |
| Khisto | 1.00 |

Tabela 5.4 Avaliação da qualidade da simulação para 2006 quando comparado com 2006 real.

Pontius e Chen (2006) sugerem um complemento ao desempenho destes índices com uma avaliação das alterações multitemporais. Para tal, avaliou-se o desempenho dos índices quando aplicados de duas formas: mapa real de 1990 versus mapa real de 2006 (modelo nulo, i.e. um modelo de ausência de mudança) e mapa real de 2006 versus mapa simulado de 2006. A aplicação desta técnica à área de estudo apontou resultados qualitativamente menos favoráveis que os conseguidos quando se compararam apenas mapas do mesmo ano (tabela 5.5). Apesar dos resultados da modelação serem ligeiramente inferiores ao do modelo nulo, não se considera o modelo inválido mas antes

uma evidência da falta de consenso existente no seio da comunidade científica em relação à eficácia dos métodos de validação.

| Índice | Desempenho 1990 real – 2006real |
|---------------|--|
| Kappa | 0.94 |
| Klocation | 1.00 |
| Khisto | 0.94 |

Tabela 5.5 Avaliação da qualidade para o modelo nulo.

Cientes desta lacuna, Pontius *et al.* (2008) analisaram o desempenho de alguns dos mais difundidos modelos de LUCC recorrendo a dois métodos estatísticos, a *resolução nula* e a *figura de mérito*. Os autores concluíram que o desenvolvimento e aperfeiçoamento dos modelos de LUCC têm sido condicionados pelo uso indiferenciado de várias técnicas de validação. Com efeito, sugerem a utilização destes dois métodos de validação como veículo essencial para o desenvolvimento e disseminação dos modelos LUCC. Reconhecendo a importância desta temática, o âmbito desta dissertação, que não se restringe apenas aos modelos LUCC, não permite que se desenvolva uma discussão mais pormenorizada neste domínio.

Além da necessidade de um mapa de uso do solo para o momento temporal de base e de um mapa de aptidão para solo urbano, a implementação do *Geomod* exige a especificação da quantidade de células de cada tipologia de uso do solo para o momento final de simulação. No caso do ano de 2006 esta questão resolveu-se com recurso ao mapa classificado desse ano. Para 2030 é necessário estimar a quantidade de células esperadas para cada tipologia. Existem vários métodos para alcançar este valor, contudo, Pontius e Chen (2006) sugerem a aplicação de extrapolação linear simples baseada nos valores obtidos de 1990 e de 2006. Com base neste método, e especificando o número de células de solo urbano e de células não urbano, obtém-se a simulação de solo urbano para 2030 (figura 5.5).

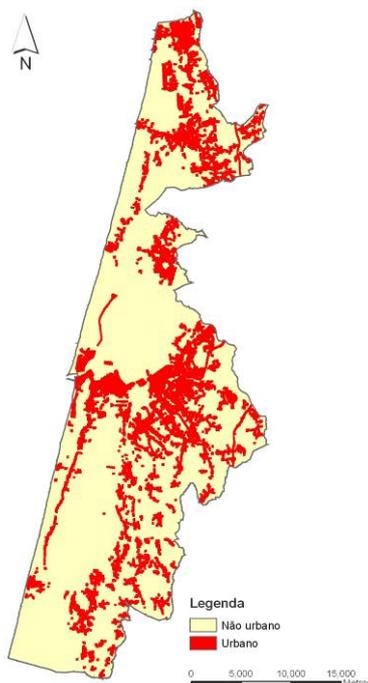


Figura 5.5. Mapa de urbano /não urbano para 2030.

De referir (tabela 5.6) o aumento efectivo dos territórios urbanos entre 1990 e 2006, que representam, no momento final cerca de 17% da totalidade do trecho Ovar-Mira. Caso se verifique a tendência assumida na simulação, estes territórios alastrar-se-ão, em 2030, até perto dos 30% da totalidade da área de estudo.

| Tipologias | | 1990 | 2006 | 2030 |
|------------|----|---------|---------|---------|
| Urbano | ha | 7592.6 | 13557.9 | 22506.4 |
| | % | 9.7 | 17.3 | 28.7 |
| Não urbano | ha | 70711.4 | 64746.1 | 55797.6 |
| | % | 90.3 | 82.7 | 71.3 |
| Total | ha | 78304 | | |

Tabela 5.6. Tipologias de uso do solo (áreas) para os três momentos temporais.

Entre 1990 e 2006 as áreas afectas aos territórios urbanos sofreram um aumento de 78.6%. Não obstante este valor evidenciar a elevada artificialização que ocorreu neste trecho de litoral em 16 anos, poderemos, caso se confirme a tendência assumida, presenciar um quadruplicar das áreas urbanas em 40 anos (tabela 5.7).

| Intervalo temporal | Variação (%) |
|--------------------|--------------|
| 1990 – 2006 | 78.6 |
| 2006 – 2030 | 66.0 |
| 1990 – 2030 | 196.4 |

Tabela 5.7. Variação das áreas afectas aos territórios urbanos.

5.7 Impactos da erosão costeira nos territórios urbanos

Pela aplicação do modelo SECUR Ria, o trecho Ovar-Mira apresenta 47752 ha (61%) em condições de vulnerabilidade muito baixa, 14881 ha (19%) em vulnerabilidade baixa, 10365 ha (13%) em vulnerabilidade moderada, 5119 ha (6%) em vulnerabilidade alta e 71 ha (1%) em condições de vulnerabilidade muito alta. As áreas onde os impactos da erosão se farão sentir com mais acuidade, ou seja, de vulnerabilidade muito alta e alta, estendem-se por uma faixa cuja largura varia entre os zero e os 2000 metros, contados desde a linha de costa. Contudo estas áreas representam, no conjunto, apenas 6.6% do total da área de estudo (tabela 5.8).

De referir que a avaliação da expressão das áreas urbanas presentes em cada nível de vulnerabilidade não deve ser feita em termos absolutos. Isto é, a simples apresentação da área de solo urbano existente em cada nível de vulnerabilidade é uma análise redutora, na medida que quando a extensão territorial aumenta também aumenta a área de solo urbano, não traduzindo efectivamente a expressão que este uso tem no território. Com efeito, a análise das áreas de solo urbano afectas a cada nível de vulnerabilidade faz-se pela sua proporção em relação à área total de cada nível e não pela sua quantificação absoluta.

O resultado obtido pelo mapa real do ano de 2006 mostrou que era nas zonas de vulnerabilidade alta que se encontrava a maior proporção de solo urbano (24.8%), correspondendo a 1267 ha de um total de 3852 ha. No mesmo mapa, 2.9% da área de vulnerabilidade muito alta correspondia a solo urbano. De referir que nos restantes níveis de vulnerabilidade os solos urbanos distribuem-se numa proporção semelhante (tabela 5.8).

Atendendo à simulação do *Geomod* para 2006 constata-se uma acentuada diminuição das áreas de solo urbano em zonas de vulnerabilidade alta. No entanto, regista-se um ligeiro aumento na situação de vulnerabilidade muito alta face ao mapa real de 2006. Neste momento temporal, a maior expressão de solos urbanos dá-se em áreas de vulnerabilidade muito baixa.

De acordo com a simulação para o ano de 2030, verifica-se uma distribuição muito semelhante à da simulação de 2006. Esta circunstância poderá ser justificada pelo facto de ambos os mapas terem sido projectados num modelo baseado nos mesmos dados de *input*. Contudo, observa-se um aumento significativo na proporção do solo urbano em cada um dos níveis de vulnerabilidade. Outro resultado que importa referir diz respeito à maior expressividade do solo urbano nas áreas de vulnerabilidade muito baixa.

Em conclusão, pode-se afirmar que desde o ano de 2006 (real) até 2030 prevê-se um aumento significativo do solo urbano em quatro dos cinco níveis de vulnerabilidade das zonas costeiras às acções energéticas do mar. O mais significativo destes aumentos dá-se nos territórios classificados com vulnerabilidade muito alta, cuja área de solo urbano aumenta cerca de 185% durante este período. Seguem-se os espaços de vulnerabilidade muito baixa e moderada com aumentos de 88% e 83% respectivamente. O solo urbano em zonas de vulnerabilidade baixa cresceram 17%, tendo diminuído 29% nas áreas de vulnerabilidade alta. Se, por outro lado, se analisar a variação entre 2006 (simulado) e 2030 estes valores sofrem algumas alterações importantes, designadamente o facto de haver aumento de solo urbano em todos os níveis de vulnerabilidade. O solo urbano em área de vulnerabilidade muito alta mantém-se como o que apresenta aumentos mais significativos, mas a um ritmo de menor aceleração (115%). Os restantes valores de variação são: 73% para espaços de vulnerabilidade muito baixa, 45% para vulnerabilidade baixa, 56% para vulnerabilidade moderada e, 44% para vulnerabilidade alta.

| | | Muito baixa | Baixa | Moderada | Alta | Muito alta |
|------------------|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| | | Vul. 1 | Vul. 2 | Vul. 3 | Vul. 4 | Vul. 5 |
| 2006 real | Urbano | 8815 | 2040 | 1421 | 1267 | 2 |
| | Não urbano | 38937 | 12841 | 8945 | 3852 | 69 |
| | Urb/total (%) | 18.5 | 13.7 | 13.7 | 24.8 | 2.9 |
| 2006 simulado | Urbano | 9611 | 1648 | 1662 | 624 | 3 |
| | Não urbano | 38141 | 13233 | 8703 | 4495 | 68 |
| | Urb/total (%) | 20.1 | 11.1 | 16.0 | 12.2 | 3.9 |
| 2030 simulado | Urbano | 16600 | 2392 | 2585 | 901 | 6 |
| | Não urbano | 31152 | 12489 | 7780 | 4219 | 65 |
| | Urb/total (%) | 34.8 | 16.1 | 24.9 | 17.6 | 8.4 |
| Total | | 47752 | 14881 | 10365 | 5119 | 71 |

Tabela 5.8. Solo urbano (ha) por diversos níveis de vulnerabilidade costeira.

6. CONCLUSÃO

Este último capítulo destina-se à descrição das principais conclusões do estudo desenvolvido. Analisam-se os resultados da investigação face aos pressupostos de trabalho e apontam-se os desenvolvimentos futuros suscitados pela investigação.

6.1 Síntese e desenvolvimentos futuros

Pretende-se com esta secção apresentar, de uma forma sucinta, as principais conclusões da investigação. Durante todo o trabalho foram sendo apresentadas e discutidas algumas conclusões, contudo, importa agora realçar as mais significativas, no que pretende ser o principal resultado da investigação levada a cabo sobre a temática dos sistemas de apoio à gestão das zonas costeiras. No capítulo inicial desta dissertação foram referidos alguns pressupostos que deram o mote para o trabalho agora finalizado. Os próximos parágrafos visam uma discussão integrada das questões equacionadas.

As zonas costeiras constituem ecossistemas únicos e irreconstituíveis à escala humana. A rápida aceleração de utilização destes espaços ameaça destruir o seu delicado equilíbrio. A densidade populacional nestas áreas é, em média, 10% superior às densidades de espaços interiores, atingindo os 50% em alguns países (EEA, 2006a). Importa referir que a conversão de áreas naturais costeiras em áreas artificializadas tem-se vindo a processar num ritmo acelerado, superior ao da evolução da própria população. Portugal não foge a este desígnio do actual desenvolvimento urbano em territórios costeiros, sendo de realçar que em alguns locais da costa continental portuguesa 45% da área total da faixa costeira constituem territórios artificializados (Alves, 2006).

De acordo com a literatura da especialidade a gestão das zonas costeiras é um processo complexo, que engloba factores como a governação, as tarefas e os instrumentos de gestão, não havendo quaisquer sinais de abrandamento dessa complexidade. Uma gestão integrada destes espaços afigura-se como a melhor forma para compatibilização de factores e interesses adversos, tendo por objectivo central uma tomada de decisão informada e apoiada que equacione a exploração dos recursos sem pôr em causa o seu usufruto pelas gerações futuras.

Face à elevada pressão construtiva que os aglomerados costeiros têm sentido nos últimos anos, é crucial a formulação de cenários de desenvolvimento urbano que proporcionem aos decisores uma materialização das implicações que as suas opções têm em termos de ordenamento do território e na alteração da generalidade dos recursos costeiros. Simultaneamente à pressão urbana, os territórios costeiros encerram ainda

uma série de outros problemas de génese biofísica e antrópica. Destes, e devido aos impactos significativos que eles têm sobre as zonas costeiras a nível mundial, destaca-se a erosão costeira como um dos que merece uma atenção redobrada, quer por parte da comunidade científica quer também da técnica e política.

Tendo subjacentes estas premissas, o objectivo central deste estudo incidiu na avaliação do impacto que a erosão costeira terá sobre os territórios urbanos do trecho costeiro Ovar-Mira e em que medida estes resultados podem fortalecer o processo de decisão e, conseqüentemente, torná-lo mais efectivo na exploração e preservação das zonas costeiras e dos seus recursos. A metodologia adoptada desenvolve-se em três fases principais: a definição das condições de vulnerabilidade da área de estudo em relação à erosão costeira; a derivação de um cenário de crescimento do solo urbano para o ano de 2030 e; por último, a quantificação dos impactos que a erosão costeira poderá implicar para as áreas urbanas do trecho Ovar-Mira.

A erosão costeira é um processo induzido por uma combinação de múltiplos factores de índole natural, empolado, directa ou indirectamente, por acções humanas. A área de estudo seleccionada é um dos casos mais exemplificativos destas manifestações em Portugal continental. A esta constatação não é alheio o facto de todo este segmento costeiro ser marcado pela presença de um extenso e frágil cordão dunar, praias arenosas de cotas baixas, características tipo dos mais dinâmicos tipos de costa. Diversos relatórios técnicos e estudos científicos têm assumido a fragilidade deste trecho costeiro (Barbosa, 2003, Dias e Ferreira, 1994, Hidrotécnica Portuguesa *et al.*, 1998, Veloso-Gomes *et al.*, 2004) que vê as suas dinâmicas erosivas naturais serem agravadas pelo défice sedimentar procedente de barlamar (Douro) e pelos molhes do Porto de Aveiro. Uma análise conjunta destes estudos, permite avançar com os segmentos de Esmoriz a Cortegaça e da Costa Nova à Vagueira como os mais críticos na área de estudo, tendo registado recuos na ordem dos 280m (Costa Nova – Vagueira desde 1973).

A construção de cenários é essencial para uma avaliação da vulnerabilidade e risco de exposição das zonas costeiras às acções do mar, contudo o conhecimento e modelação destes fenómenos está ainda aquém do exigido, estando mais expostos a críticas. Não obstante, aplica-se à área de estudo o modelo de definição de vulnerabilidade costeira proposto (Coelho, 2005) que se baseia na hipótese que a definição da vulnerabilidade de uma zona costeira é função da combinação ponderada de elementos naturais e antrópicos de cada local. Verifica-se que no segmento Ovar-Mira as situações de vulnerabilidade muito alta se localizam pontualmente ao longo da linha de costa, representando uma percentagem mínima da totalidade da área de estudo. À medida que

aumenta a distância à linha de costa diminui o índice de vulnerabilidade, aumentando, no entanto, a expressão destas zonas em relação à totalidade da área de estudo.

As técnicas de detecção remota são, actualmente, uma das principais formas de aquisição de informação relativa ao uso e ocupação do solo. Tal, deve-se ao facto que diferentes tipos de cobertura do solo reflectem de modo diferenciado a principal fonte de energia utilizada em detecção remota, o sol. Com efeito, e apesar de poderem ser utilizados diferentes técnicas e critérios, as áreas urbanas podem ser derivadas com recurso a imagens de satélite. Nesta dissertação utilizaram-se imagens do satélite/sensor IRS P6/ LISS III e uma classificação ao nível do *pixel*, pelo algoritmo da máxima verosimilhança para derivar um mapa de uso do solo para o ano de 2006 (6 classes). Apesar de se ter conseguido um valor de qualidade geral do mapa bastante positivo, exactidão global de 83.3%, a qualidade da classe urbano é relativamente baixa, 50%, medidos pelo índice de exactidão do utilizador. Contudo, este valor justifica-se pela elevada heterogeneidade e diversidade espectral na reflectância dos seus elementos fundamentais, que tornam a classificação destas áreas uma tarefa complexa. Não obstante deste ser um valor admissível, aplicaram-se posteriormente algumas técnicas com objectivo de melhorar a qualidade do mapa final e de garantir que este respeitasse as especificações técnicas exigidas, nomeadamente uma UMC de 1ha. O desempenho dos índices subiu para 88.9% no caso da exactidão global e para 52.5% no caso da exactidão do utilizador.

Relativamente à evolução da população no trecho Ovar-Mira, importa referir que, apesar de não se ter dado pelo mesmo ritmo em toda a área de estudo, o número de habitantes cresceu, mais concretamente, 14% entre 1991 e 2006. Se compararmos este valor com o do período homólogo para a zona Centro de Portugal (5.6%) confirma-se a dinâmica mais acentuada que as zonas costeiras apresentam face à generalidade dos outros territórios. Um exercício semelhante aplicado à área afecta aos territórios artificializados, permite verificar que estas áreas aumentaram, entre 1990 e 2006, cerca de 78%. Deste modo, e mesmo equacionando que um aumento de população exige um aumento na área das infra-estruturas, percebe-se que as áreas construídas cresceram a um ritmo cinco vezes mais intenso que o aumento populacional, correspondendo aproximadamente a 17% da totalidade da área de estudo.

Um modelo pode ser entendido genericamente como uma representação abstracta de um objecto ou processo real, possibilitando o ganho de conhecimento através da experimentação. Os modelos de crescimento urbano, que se integram na categoria dos modelos de alterações aos usos do solo (LUCC), são um instrumento de análise às causas e consequências das alterações, contribuindo para a percepção das dinâmicas da ocupação do solo numa perspectiva de suporte às opções e políticas de ordenamento

do território. Historicamente estes modelos evoluíram desde os que não integravam a componente tempo (não dinâmicos), passando para os dinâmicos, estando, os desenvolvimentos mais recentes, nos dinâmicos que operam sobre a componente espacial.

No âmbito deste estudo utilizou-se um modelo dinâmico espacial (*Geomod*) que projecta as alterações aos usos do solo em duas categorias, urbano e não urbano. Além do estado actual de determinada célula e das suas vizinhas, as migrações entre as duas tipologias são função da sua aptidão para a mudança. Com efeito, derivou-se um mapa de aptidão para o solo urbano na área de estudo que integrou informação relativa às variáveis indutoras e limitadoras do crescimento urbano. Tendo-se iniciado com dados relativos ao uso do solo em 1990 e recorrendo a dados de 2006 para validação, a aplicação do *Geomod* permitiu a projecção de um cenário de crescimento urbano para 2030. Neste cenário, as áreas urbanas representam cerca de 29% (22506ha) da totalidade da área de estudo, correspondendo, caso se verifique, a um incremento de 66% entre 2006 e 2030 e de 196% entre 1990 e 2030. A principal limitação desta projecção é o facto de assumir uma tendência de evolução linear em relação aos momentos temporais precedentes, o que dificilmente acontecerá.

A sobreposição da informação relativa à projecção da evolução do solo urbano com as condições de vulnerabilidade à erosão costeira permite retirar algumas conclusões interessantes. Previsivelmente a área relativa aos solos urbanos aumenta em todos os níveis de vulnerabilidade. Estes aumentos (relativos às simulações de 2006 e 2030) situam-se entre os 44% e os 115%. Preocupante é o facto do aumento mais significativo se dar em áreas com indicação de vulnerabilidade muito alta, ou seja, muito próximas da linha de costa. Por outro lado, a maior percentagem de solo urbano em relação à área afecta a cada nível de vulnerabilidade dá-se nos territórios onde este índice é mais reduzido, as zonas interiores da área de estudo.

Face ao exposto, salienta-se a necessidade e a importância de uma intervenção forte por parte dos decisores, numa tentativa de avaliar e redefinir as opções e políticas de ordenamento do território costeiro, nomeadamente na restrição do aumento das áreas artificializadas que se localizem em zonas de alta e muito alta vulnerabilidade. Pretende-se deste modo contribuir para uma alteração da tendência actual que poderá vir a colocar muitas pessoas e bens numa situação de risco eminente.

Em conclusão, considera-se que a metodologia proposta nesta dissertação poderá constituir, não a chave para os problemas e conflitos de gestão da zona costeira, mas antes um instrumento válido e expedito de apoio à tomada de decisão.

No contexto geral, os objectivos propostos no início deste estudo foram alcançados, não obstante de existirem possíveis vectores a desenvolver que poderão representar melhorias significativas aos resultados apresentados. A modelação das vulnerabilidades da zona costeira às acções energéticas do mar é um desses vectores. Neste domínio seria interessante o desenvolvimento de um esquema de actualização dos parâmetros, designadamente em relação à evolução da linha de costa, assim como a estruturação de uma metodologia de validação de diferentes ponderações. Futuramente deveria ser dado ênfase ao estudo de novas metodologias baseadas nas técnicas de detecção remota, tendo por objectivo a delimitação de áreas urbanas de grandes extensões de uma forma ainda mais célere e com melhor desempenho nos resultados. Outro campo a explorar relaciona-se com a simulação de crescimento urbano. Neste vector deveriam testar-se outros mapas de aptidão para o solo urbano na área de estudo, resultantes de diferentes critérios indutores e limitadores do fenómeno, bem como a aplicação de um conjunto mais alargado de modelos de LUCC, com objectivo de seleccionar o que melhor se ajusta às especificidades do trecho Ovar-Mira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilera Benavente, F., 2006, Predicción del crecimiento urbano mediante sistemas de información geográfica y modelos basados en autómatas celulares. *GeoFocus - Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de la Información Geográfica*, pp. 81-112.

Almeida, C.M., 2004, Modelagem dinâmica espacial como uma ferramenta auxiliar no planeamento: simulação de mudanças de uso da terra em áreas urbanas para as cidades de Bauru e Piracicaba (SP) Brasil. Dissertação de doutoramento, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

Almeida, C.M., Monteiro, A.M.V. e Câmara, G., 2005, Modelos de Simulação e Prognósticos de Mudanças de Uso do Solo Urbano: Instrumento para o Subsídio de Ações e Políticas Públicas Urbanas. *XI Encontro Nacional da Associação Nacional de Pesquisa em Planeamento Urbano e Regional - ANPUR* (Bahia - Salvador).

Alves, F., Pereira da Silva, C. e Pinto, P., 2007, The assesment of Costal Zone Development at a Regional Level - the case study of portuguese central area. *Journal of Coastal Research*, SI 50, (in press).

Alves, M.F.L., 2006, Gestão Sustentável da Zona Costeira: contributos para um modelo de avaliação. Dissertação de doutoramento, Universidade de Aveiro.

Anderson, J.R., Hardy, E.E., Roach, J.T. e Witmer, R.E., 1976, A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data. p. 36 (Washington: U.S. Geological Survey).

Banko, G., 1998, A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data and of Methods Including Remote Sensing Data in Forest Inventory. *INTERIM REPORT IR-98-081*, p. 42 (Laxenburg: International Institute for Applied Systems Analysis).

Barbosa, J.L.P., 2003, Aplicação dos Sistemas de Informação Geográfica na Zona Costeira. Tese de mestrado, Universidade do Porto.

Batty, M., 1979, Progress, success, and failure in urban modelling. *Environment and Planning A*, 11, pp. 863-878.

Berling-Wolff, S. e Wu, J., 2004, Modeling urban landscape dynamics: A review. *Ecological Research*, 19, pp. 119-129.

Bossard, M., Faranec, J. e Othael, J., 2000, CORINE Land Cover technical guide - Addendum 2000. p. 105 (Copenhagen: European Environment Agency).

Brambati, A., 2004, Coastal zone problems and management: a brief review. *Chemistry and Ecology*, 20:3, pp. 155-166.

Briassoulis, H., 2000, Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches. Dissertação de doutoramento, University of Aegean.

Cabral, P., 2001, Sistemas Espaciais de Apoio à Decisão: O sistema de apoio ao licenciamento da Direcção Regional do Ambiente do Alentejo. Tese de mestrado, Universidade Técnica de Lisboa - Instituto Superior Técnico.

Cabral, P., 2006, Étude de la Croissance Urbaine par Télédétection, SIG et Modélisation: Le cas des Concelhos de Sintra et Cascais (Portugal). Dissertação de doutoramento, École des Hautes Études en Sciences Sociales/ Instituto Superior de Estatística e Gestão da Informação.

- Cabral, P. e Zamyatin, A., 2006, Three Land Change Models for Urban Dynamics Analysis in Sintra-Cascais Area. *1st EARSeL Workshop of the SIG Urban Remote Sensing* (Humboldt-Universität zu Berlin), (URL: <http://www.earsel.org/workshops/SIG-URS-2006/Programme.htm>, consultado em 3 de Janeiro de 2008, sem paginação).
- Caetano, M., 2006, Extracção de informação de imagens de satélite. *Manual de Detecção Remota*, p. 56 (Lisboa: Instituto Superior de Estatística e Gestão da Informação).
- Caetano, M., Carrão, H. e Painho, M., 2005, *Alterações da ocupação do solo em Portugal Continental: 1985-2000* (Lisboa: Instituto do Ambiente).
- Caetano, M., Mata, F. e Freire, S., 2006, Accuracy assessment of the Portuguese CORINE Land Cover map. *Global Developments in Environmental Earth Observations from Space*, A. Marçal (Ed.) (Rotterdam: Millpress), pp. 459-467.
- Caetano, M., Monteiro, F. e Ramos, I., 1999, Monitoring Urban Dynamics: Portugal no Contexto Europeu. *V Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica (ESIG'1999)*, Oeiras, 24-26 de Novembro, [CD-ROM sem paginação].
- Caetano, M., Nunes, A. e Santos, T., 2004, Generalização de Cartografia de Ocupação do Solo Derivada de Classificação de Imagens de Satélite ao Nível do Pixel. *III Conferência de Cartografia e Geodesia*, Lidel, Lisboa, pp. 146-160.
- Caetano, M., Santos, T., Carrão, H., Nunes, A. e Barreiros, M., 2001, Desenvolvimento de aplicações para generalização de cartografia temática. *VI Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica (ESIG'2001)*, Oeiras, 28-30 de Novembro, [CD-ROM sem paginação].
- CEHIDRO e INAG, 1998, Carta de Risco do Litoral. trecho 2: Foz do Douro-Nazaré. Notícia Explicativa. p. 37 (Lisboa: INAG).
- Chen, J., Gong, P., He, C., Luo, W., Tamura, M. e Shi, P., 2002, Assessment of the Urban Development Plan of Beijing by Using a CA-Based Urban Growth Model. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 68, pp. 1063-1071.
- Cihlar, J., 2000, Land cover mapping of large areas from satellites: status and research priorities. *International Journal of Remote Sensing*, 21, pp. 1093-1114.
- Clarke, K.C., 2003, The Limits of Simplicity: Toward Geocomputational Honesty in Urban Modeling. *7th International Conference on GeoComputation*, GeoComputation (Ed.) (University of Southampton, UK: GeoComputation), [CD-ROM sem paginação].
- Clarke, K.C. e Hopen, S., 1997, A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24, pp. 247-261.
- Coelho, C., 2005, Riscos de Exposição de Frentes Urbanas para Diferentes Intervenções de Defesa Costeira. Dissertação de doutoramento, Universidade de Aveiro.
- Coelho, C., Alves, F., Coelho, C. e Pinto, P., 2006a, Definição das condições de Risco de Cheia, Incêndios Florestais, Erosão Costeira e Industriais na área de Intervenção da AMRia - Relatório Final: Erosão Costeira. p. 48 (Aveiro: UA(dAO)/AMRia).
- Coelho, C., Cabarrão, M. e Veloso-Gomes, F., 2006b, Aplicação de uma Classificação de Vulnerabilidade às Zonas Costeiras do Noroeste Português. *8º Congresso da Água/XII SILUBESA, Figueira da Foz*, [CD-ROM sem paginação].
- Coelho, C. e Veloso-Gomes, F., 2005, Classificação de Vulnerabilidades e Riscos como Contributo no Planeamento das Zonas Costeiras. *III Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras de Países de Expressão Portuguesa, Maputo, Moçambique*, [CD-ROM sem paginação].
- Comissão Europeia, 1999a, Lessons from the European Commission's Demonstration Programme on Integrated Coastal Zone Management, 1997-1999. p. 92.

Comissão Europeia, 1999b, Para uma estratégia europeia de gestão integrada das zonas costeiras (GIZC): Princípios Gerais e Opções Políticas, 1997-1999. p. 35.

Comissão Europeia, 2000, Comunicação da Comissão ao Conselho e Parlamento Europeu Relativamente à Gestão Integrada da Zona Costeira: Uma estratégia para a a Europa. *COM(2000) 547 final*, p. 29 (Bruxelas: CE).

Congalton, R., 1988, A comparison of sampling schemes used in generating error matrices for assessing the accuracy of maps generated from remotely sensed data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 54, pp. 593-600.

Congalton, R., 1991, A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of Environment*, 37, pp.35-46.

Darwish, A., Leukert, K. e Reinhardt, W., 2003, Image Segmentation for the Purpose Of Object-Based Classification. *IGARSS 2003 IEEE, Toulouse, France*.

DGOTDU e MAOTDR, 2007, Programa Nacional de Política de Ordenamento do Território. Território Portugal, (URL: <http://www.portugal.gov.pt/>, consultado em 12 de Novembro de 2007).

Dias, J.M.A. e Ferreira, Ó., 1994, Estudo Sintético de Diagnóstico da Geomorfologia e da Dinâmica Sedimentar dos Troços Costeiros entre Espinho e Nazaré (Universidade do Algarve).

Eastman, J.R., 2006a, *Guide to GIS and Image Processing* (Worcester, MA, USA: Clark Labs).

Eastman, J.R., 2006b, *IDRISI Andes Tutorial* (Worcester, MA, USA: Clark Labs).

EEA, 2006a, The changing faces of Europe's coastal areas. E. Report (Ed.), p. 107 (Copenhagen: European Environment Agency).

EEA, 2006b, Urban sprawl in Europe - The ignored challenge. p. 60 (Copenhagen: European Environment Agency).

EIONET, 2004, Corine Land Cover Classes (URL: <http://terrestrial.eionet.europa.eu/CLC2000/classes>, consultado em 16 de Janeiro de 2008).

FAO, 1996, FAO Land Cover Classification: A Dichotomous, Modular-Hierarchical Approach (URL: <http://www.fao.org/DOCREP/003/X0596E/X0596e00.htm>, consultado em 16 de Janeiro de 2008).

González, O.R., 2001, Assessing Vegetation and land Cover Changes in Northeastern Puerto Rico: 1978-1995. *Caribbean Journal of Science*, 37, pp. 95-106.

Hagen, A., 2002, Technical Report: Comparison of maps containing nominal data. p. 101 (Maastricht: Research Institute for Knowledge Systems).

Haobo, L., Wang, J., Liu, S., Qu, Y. e Wan, H., 2005, Studies on Urban Areas Extraction From Landsat TM Images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*.

Henríquez, C., Azócar, G. e Romero, H., 2006, Monitoring and modeling the urban growth of two mid-sized Chilean cities. *Habitat International*, 30, pp. 945-964.

Hidrotécnica Portuguesa, INAG e MAOTDR, 1998, Plano de Ordenamento da Orla Costeira: Ovar-Marinha Grande. Estudos de base - Usos e funções do território, p. 291 (Lisboa).

Hofstee, P. e Brussel, M., 1995, Analysis of suitability for urban expansion in Villavicencio, Colombia. (Enschede, Netherlands: International Institute for Geo-Information and Earth Observation).

ICN, 2007a, Áreas classificadas - fichas das Zonas de Protecção Especial (URL: http://www.icn.pt/sipnat/sip_zpe1.html, consultado em 22 de Novembro de 2007).

- ICN, 2007b, Áreas classificadas - fichas dos Sítios da Lista Nacional (URL: http://www.icn.pt/sipnat/sip_nat1.html, consultado em 22 de Novembro de 2007).
- IGBP e IHDP, 2005, LUCC - Land-Use and Land-Cover Change (URL: <http://www.geo.ucl.ac.be/LUCC/lucc.html>, consultado em 10 de Janeiro 2008).
- IHRH e POCOAST, 2006, Viver com a erosão costeira na Europa: sedimentos e espaço para a sustentabilidade. p. 21 (Luxemburgo: União Europeia).
- IHRH e UAB, 2003, EUrosion - Guidelines for developing local information systems: study cases of River Douro-Mondego Cape. *EUrosion*, p. 182 (Porto: IHRH).
- INE e DGOTDU, 1999, Indicadores Urbanos do Continente:1999. Série estudos n.º80, Instituto Nacional de Estatística em colaboração com Direcção-Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano, Lisboa, p. 217.
- Isserman, A.M., 2005, In the National Interest: Defining Rural and Urban Correctly in Research and Public Policy. *International Regional Science Review*, 28, pp. 465-499.
- Jothimani, P., 1997, Operational Urban Sprawl Monitoring using Satellite Remote Sensing: Excerpts from the Studies of Ahmedabad, Vadodara and Surat, India. *18th Asian Conference on Remote Sensing (ACRS)* (Malaysia: Asian Association on Remote Sensing), (URL: <http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/1997/ts8/ts8005pf.htm>, consultado em 20 de Setembro de 2007, sem paginação).
- Lewinski, S. e Polawski, Z., 2004, The comparison of interpretation possibility of RGB composite (4,5,3) of LISS-III and Landsat ETM+ scanner. *24th EARSeL Symposium - New Strategies for European Remote Sensing, Dubrovnik, Croatia*, (URL: http://www.pcigeomatics.com/pdfs/lewinski_earsel2006.pdf, consultado em 27 de Dezembro de 2007).
- Lillesand, T.M. e Kiefer, R.W., 2000, *Remote sensing and image interpretation*. (New York: John Wiley & Sons).
- Lu, S.-l., Shen, X.-h. e Zou, L.-j., 2006, Land cover change in Ningbo and its surrounding area of Zhejiang Province, 1987~2000. *Journal of Zhejiang University SCIENCE A*, pp. 1862-1775
- Lynch, K., 1981, *A Boa Forma de Cidade. Arquitectura e Urbanismo*, Edições 70.
- Machado, A., 2005, Desenvolvimento metodológico para actualização da cartografia CORINE Land Cover simplificada com base em análise de imagens orientada por objectos. Tese de mestrado, ISEGI-UNL.
- MAOTDR, 2006, Bases para a Estratégia de Gestão Integrada da Zona Costeira Nacional. *Versão para discussão pública*, p. 62.
- MAOTDR e INAG, 2006, Execução da Recomendação sobre Gestão Integrada da Zona Costeira em Portugal - Relatório Preliminar. p. 98.
- Masek, J.G., Lindsay, F.E. e Goward, S.N., 2000, Dynamics of urban growth in the Washington DC metropolitan area, 1973-1996, from Landsat observations. *International Journal of Remote Sensing*, 21, pp. 3473-3486.
- Mata, F., Cavaco, M. e Caetano, M., 2004, Validação de cartografia temática produzida por classificação de imagens obtidas por detecção remota: estado da arte. *VIII Encontro de Utilizadores de Sistemas de Informação Geográfica (ESIG'2004)*, Oeiras, 2-4 de Junho, [CD-ROM sem paginação].
- Muttitanon, W. e Tripathi, N.K., 2005, Land use/land cover changes in the coastal zone of Ban Don Bay, Thailand using Landsat 5 TM data. *International Journal of Remote Sensing*, 26, pp. 2311-2323.

Norberto, R., 2004, Zonas Balneares costeiras da Ilha de São Miguel: contributos para o seu conhecimento. Tese de mestrado, Universidade dos Açores.

NRSA, 2003, RESOURCESAT - 1 (IRS-P6) Data User's Handbook. p. 142 (National Remote Sensing Agency).

Nunes, A., 2002, Produção e actualização automática de cartografia de ocupação do solo com imagens de satélite. *Relatório do trabalho Fim de Curso*, p. 90 (Castelo Branco: Escola Superior Agrária - Instituto Politécnico de Castelo Branco).

Nunes, A., Nunes, V. e Caetano, M., 2007, Utilização de imagens de satélite para produção de mapas multiescala de cortes e novas plantações florestais. *V Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia*, Lidel, Lisboa, 197-206.

O'Hara, C., King, J., Cartwright, J. e King, R., 2003, Multitemporal Land Use and Land Cover Classification of Urbanized Areas Within Sensitive Coastal Environments. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40, 9, pp. 2005-2014.

Painho, M. e Caetano, M., 2006, Cartografia de ocupação do solo Portugal continental 1985-2000 CORINE Land Cover 2000. p. 94 (Lisboa: Instituto do Ambiente).

Parker, D.C., Manson, S.M., Jansen, M.A., Hoffmann, M.J. e Deadman, P., 2003, Multi-Agent Systems for the Simulation of Land-Use and Land-Cover Change: A Review. *Annals of the Association of American Geographers*, 93, 2, pp. 314-337.

Paül, V. e Tonts, M., 2005, Containing Urban Sprawl: Trends in Land Use and Spatial Planning in the Metropolitan Region of Barcelona. *Journal of Environmental Planning and Management*, 48, pp. 7-35.

Pinto, N.N. e Antunes, A.P., 2007, Cellular Automata and Urban Studies: a literature survey. *Architecture, City and Environment*, pp. 368-399.

Plantier, T. e Caetano, M., 2007, Mapas de Coberto Florestal: Abordagem combinada Pixel/objecto. *V Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia*, Lidel, Lisboa, pp. 157-166.

Pontius, R., 2002, Statistical Methods to Partition Effects of Quantity and Location During Comparison of Categorical Maps at Multiple Resolutions. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 68, pp. 1041-1049.

Pontius, R., Boersma, W., Castella, C., Clarke, K.C., Nijs, T., Dietzel, C., Duan, Z. e Fotsing, E., 2008, Comparing the input, output, and validation maps for several models of land change. *The Annals of Regional Science*, 42, pp. 11-37.

Pontius, R. e Chen, H., 2006, GEOMOD Modeling - Land-Use and Cover Change Modeling. (Clark University).

Pontius, R., Cornell, J. e Hall, C., 2001, Modeling the spatial pattern of land-use change with GEOMOD2: application and validation for Costa Rica. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1775, pp. 1-13.

Pontius, R. e Malanson, J., 2005, Comparison of the structure and accuracy of two land change models. *International Journal of Geographical Information Science*, 19, pp. 243-265.

Pontius, R. e Schneider, L., 2001, Land-cover change model validation by an ROC method for the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 85, pp. 239-248.

Pope, J. e Curtis, W.R., 2004, Inovations in Coastal Protection. *Environmental Friendly Coastal Protection*, N.S. book (Ed.), p. 16.

Porto Editora, 1987, Dicionário da Língua Portuguesa P. Editora (Ed.), p. 1763.

- Ramos, R. e Mendes, J., 2001, Avaliação da aptidão do solo para localização industrial: O caso de Valença. *Engenharia Civil - UM*, p. 23.
- RAOSOFT, 2004, Raosoft Sample Size Calculator (URL: www.raosoft.com/samplesize.html, consultado em 21 de Abril 2008).
- Richards, J.A. e Jia, X., 2006, *Remote Sensing Digital Image Analysis: An introduction*, 4th Ed., (London: Springer), p.439.
- RIKZ, EUCC e UAB, 2004, Euroasion - Living with coastal erosion in Europe: Sediment and space for sustainability. Part II: Maps and statistics. p. 25.
- Rouse, M.F., Haas, R.H., Schell, J.A. e Deering, D.W., 1983, Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS.3rd *ERTS Symposium, NASA*, pp. 48-62.
- Roussey, C., Laurini, R., Beaulieu, C. e Tardy, Y., 2004, Le projet Towntology : un retour d'expérience pour la construction d'une ontologie urbaine *Revue Internationale de Géomatique*, 14, pp. 217-237.
- Ruiz-Luna, A. e Berlanga-Robles, C., 2003, Land use, land cover changes and coastal lagoon surface reduction associated with urban growth in northwest Mexico. *Landscape Ecology*, 18, 2, pp. 159-171.
- Saaty, T.L., 1977, A scaling method for priorities in hierarchical structures *Journal of Mathematical Psychology*, 15, pp. 234-281.
- Santos, T.A.G., 2003, Actualização de Cartografia Temática com Imagens de Satélite. Tese de mestrado, Universidade Técnica de Lisboa.
- Schoenmakers, B. e Caetano, M., 2004, Determinação da intensidade de amostragem adequada para caracterização da ocupação do solo de Portugal continental. *Encontro de Utilizadores de Sistemas de Informação Geográfica (ESIG'2004)*, Oeiras, 2-4 de Junho, [CD-ROM sem paginação].
- Seto, K.C., Woodcock, C.E., Song, C., Huang, X., Lu, J. e Kaufmann, R.K., 2002, Monitoring land-use change in the Pearl River Delta using Landsat TM. *International Journal of Remote Sensing*, 23, 10, pp. 1985-2004.
- Silva, C.S. e Granjo, M.J., 2006, Vulnerabilidades das Zonas Costeiras às Acções Energéticas do Mar. *Relatório fim de curso*, p. 125 (Aveiro: Universidade de Aveiro - Departamento de Engenharia Civil).
- Silva, E.A., 2002, Cenários de Expansão Urbana na Área Metropolitana de Lisboa. *Revista de Estudos Regionais - INE*, p. 72.
- Silva, R., Coelho, C., Veloso-Gomes, F. e Taveira-Pinto, F., 2007, Dynamic numerical simulation of medium term coastal evolution of the west coast of Portugal. *Journal of Coastal Research*, SI 50, pp. 263-267.
- Singh, A.K., 2003, Modelling Land Use Cover Changes Using Cellular Automata in a Geo-Spatial Environment. Tese de mestrado. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation.
- Small, C., 2005, A global analysis of urban reflectance. *International Journal of Remote Sensing*, 26, 4, pp. 661-681.
- Song, M., Civco, D.L. e Hurd, J.D., 2005, A competitive pixel-object approach for land cover classification. *International Journal of Remote Sensing*, 26, 22, pp. 4981-4997.
- Sui, D.Z., 1998, GIS-based urban modelling: practices, problems, and prospects. *International Journal of Geographical Information Science*, 12, 7, pp. 651-671.

- The World Bank, 1994, *Coastal Zone Management and Environmental Assessment*. Washington DC.
- Tobler, W.R., 1970, A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region. *Economic Geography*, 46, pp. 234-240.
- UA e IDAD, 2007, Quadro de Referência Ambiental do PROT Centro - Relatório de progresso. (Aveiro: Universidade de Aveiro).
- Veloso-Gomes, F., Taveira-Pinto, F. e IHRH, 2004, EUrosion Case Study: Vagueira-Mira (Portugal). *EUrosion*, p. 18 (Porto: Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos).
- Verburg, P., Schot, P., Dijst, M. e Veldkamp, A., 2004, Land use change modelling: current practice and research priorities. *GeoJournal*, 61, pp. 309-324.
- Voogd, H., 1983, *Multicriteria Evaluation for Urban and Regional Planning* (London: Pion Ltd).
- Wang, L., Sousa, P.W. e Gong, P., 2004, Integration of object-based and pixel-based classification for mapping mangroves with IKONOS imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 25, 24, pp. 5655-5668.
- Weber, C., 2001, Remote sensing data used for urban agglomeration delimitation. *Remote Sensing and Urban Analysis*, pp. 155-167 (London: Taylor and Francis).
- White, R. e Engelen, G., 1997, Cellular automata as the basis of integrated dynamic regional modelling. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24, pp. 235-246.
- Yan, G., Mas, J.F., Maathuis, B.H.P., Xiangming, Z. e Van Dijk, P.M., 2006, Comparison of pixel-based and object-oriented image classification approaches - a case study in a coal fire area, Wuda, Inner Mongolia, China. *International Journal of Remote Sensing*, 27, 18, pp. 4039-4055.
- Yang, X. e Liu, Z., 2005, Using satellite imagery and GIS for land-use and land-cover change mapping in an estuarine watershed. *International Journal of Remote Sensing*, 26, 23, pp. 5275-5296.
- Zhang, K., Douglas, B.C. e Leatherman, S.P., 2004, Global Warming and Coastal Erosion. *Climate Change*, 64, p. 18.
- Zújar, J.O. e Lama, A.V., 2006, Evolución del suelo urbano/alterado en el litoral de Andalucía: 1998-2002. *International Review of Geographical Information Science and Technology*, pp. 73-99.