

CARTOGRAFIA DE USO DO SOLO À ESCALA REGIONAL COM RECURSO A ANÁLISE ORIENTADA A OBJECTO E SEGMENTAÇÃO MULTIRESOLUÇÃO

Sara Encarnação¹, José António Tenedório², Jorge Rocha³ e Rossana Estanqueiro⁴

^{1,2 e 4} e-GEO, Centro de Estudos de Geografia e Planeamento Regional, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas – Universidade Nova de Lisboa, Avenida de Berna, 26–C, 1069–061 Lisboa
Tel: (+ 351) 21 793 35 19
sara.encarnacao@fcsh.unl.pt, ja.tenedorio@fcsh.unl.pt, rossana.estanqueiro@fcsh.unl.pt

³ Centro de Estudos Geográficos, Faculdade de Letras – Universidade de Lisboa, Alameda da Universidade, 1600–214 Lisboa Tel: (+ 351) 21 794 02 18
jrocha@fl.ul.pt.

Palavras-Chave: Segmentação, Classificação, Objecto

1. Introdução

A disponibilização da informação é, actualmente, um dos factores chave para a tomada de decisões, especialmente quando as acções a serem tomadas se querem em intervalos de tempo relativamente curtos. As acções de ordenamento e planeamento do território em áreas de grande dinâmica, como são as áreas urbanas, revestem-se muitas vezes de carência de informação. A informação a disponibilizar para a interpretação das estruturas territoriais deverá adequar-se aos objectivos em causa, nomeadamente à escala de análise. Esta razão prende-se com o facto das cartas de uso do solo serem uma representação da realidade e por isso mesmo sujeitas aos processos de generalização e de classificação dos dados. Em consequência, um dos elementos fundamentais de partida de qualquer metodologia é a definição do número e do tipo de classes de uso de solo a identificar.

As metodologias actuais de classificação de uso do solo variam não só nas técnicas utilizadas, como no tipo de dados tratados e, fundamentalmente, no tipo de abordagem utilizada para a caracterização do *objecto*. Contudo, é possível identificar as componentes comuns que derivam da evolução das diferentes metodologias utilizadas, essencialmente a partir dos anos 60. É neste contexto, que apresentamos uma abordagem alternativa de tratamento de imagens de satélite, com base numa nova unidade mínima de análise – o *objecto*.

2. Cartografia de Uso/Ocupação do Solo a Diferentes Escalas: um Estado da Arte

O *Estado da Arte* que se apresenta tenta, em síntese, analisar, de forma comparada alguns projectos/programas operacionais de cartografia de uso/ocupação do solo por meio de dados e técnicas de Detecção Remota, designadamente: a nível nacional – (i) o Inventário CORINE Land Cover, (ii) a Carta de Ocupação do Solo de Portugal (COS) e (iii) a Carta de Uso do Solo da Área Metropolitana de Lisboa (CARTUS-AML); e a nível internacional – (iv) o Murbandy/Moland, e (v) o USGS- Land Use and Land Cover Classification.

(i) Inventário CORINE Land Cover¹

Na Europa, os países membros da União Europeia têm uma produção cartográfica *standard* de dados de ocupação do solo de acordo com as especificações do projecto *CORINE Land Cover*. Este projecto foi criado pelo *Joint Research Centre (JRC)* e pela *European Environmental Agency (EEA)*, para facultar dados de ocupação do solo a todos os estados membros.

A metodologia subjacente à produção da carta de ocupação do solo do CORINE Land Cover, produzida à escala 1:100000, consiste na interpretação visual de imagens do satélite LANDSAT com apoio de informação auxiliar, com opção de uma área mínima de 25 *ha*.

Na construção da legenda hierárquica, em três níveis, existiu uma tentativa de compatibilização entre as diferentes realidades da Europa, embora seja, por vezes, necessário incluir adaptações relativas à especificidade de cada contexto geográfico.

Em Portugal, a primeira carta foi produzida entre 1985 e 1987². No nível I encontra-se o máximo de agregação da *nomenclatura*, sendo este nível dividido em quatro grandes temas:

1. Territórios Artificializados
2. Áreas com Ocupação Agrícola
3. Florestas e Meios Semi Naturais
4. Meios Aquáticos

Considerando os “Territórios Artificializados”, verifica-se que no nível II este tema é desagregado nas seguintes classes:

Tabela 1 - Legenda Corine Land Cover: Territórios Artificializados

Nível	Código	Designação
I	1	Territórios Artificializados
II	11	Zonas com dominância de habitação
III	1110	Tecido urbano contínuo
III	1120	Tecido urbano descontínuo
II	12	Zonas com revestimento predominantemente artificializado
III	1210	Espaços de actividades industriais, comerciais e de equipamentos gerais
III	1220	Infraestruturas da rede de auto-estradas e da rede ferroviária
III	1230	Zonas portuárias
III	1240	Aerportos
II	13	Zonas alteradas artificialmente, sem vegetação
III	1310	Pedreiras, zonas de extracção de areia, minas a céu aberto
III	1320	Descargas industriais, zonas de espalhamento de lixos
III	1330	Estaleiros
II	14	Zonas verdes ordenadas
III	1410	Espaços verdes urbanos
III	1420	Zonas com equipamentos desportivos e de ocupação de tempos livres

A este nível, ainda nos encontramos na noção de ocupação do solo (com a excepção da classe habitação), de forte generalização semântica e gráfica dos *objectos* que as compõem. O

¹ Apesar de inserido num contexto mais amplo – entenda-se na União Europeia – a carta de ocupação do solo resultante é referente a cada país membro. Para este caso reportamo-nos a Portugal.

² A última actualização foi realizada com dados de 2000.

nível III de desagregação desta classe dá origem às classes “Tecido Urbano Contínuo” e “Tecido Urbano Descontínuo”. Contudo, no que diz respeito ao espaço urbano, estas não reflectem o uso do solo, fazendo sim uma representação dos padrões espaciais da classe “Tecido Urbano”. Por exemplo, a classe do urbano contínuo tem como critério que 80% no mínimo do total da área seja impermeabilizado, quanto à classe do urbano descontínuo, que essa percentagem se situe entre os 30 e os 80% (EUROPEAN COMMISSION, 1994).

(ii) Carta de Ocupação do Solo de Portugal (COS)

Esta carta, realizada à escala 1:25000, tem como metodologia de base a interpretação de fotografia aérea vertical à escala 1:15000 de 1990 e 1991; a área mínima é de 1 ha.

A legenda é semelhante à do Inventário CORINE Land Cover, pelo que também é hierárquica, existindo para as áreas artificiais a seguinte estrutura:

Tabela 2 - Legenda COS: Áreas Artificiais

Nível	ÁREAS ARTIFICIAIS
II	Espaço Urbano
III	UU1 Tecido Urbano contínuo
III	UU2 Tecido Urbano descontínuo
III	UU9 Outros espaços fora do tecido urbano consolidado
II	Infraestruturas e Equipamentos
III	SW1 Zonas industriais e comerciais
III	SW2 Vias de comunicação (Rodoviárias e ferroviárias)
III	SW3 Zonas portuárias
III	SW4 Aeroportos
III	SW9 Outras infraestruturas e equipamentos
II	Improdutivos
III	JJ1 Pedreiras, saibreiras, minas a céu aberto
III	JJ2 Lixeiras, descargas industriais e depósitos de sucata
III	JJ3 Estaleiros de construção civil
III	JJ9 Outras áreas degradadas
II	Espaços verdes artificiais
III	SL1 Espaços verdes urbanos (florestais)
III	SL2 Espaços verdes (não florestais) para as actividades desportivas e de lazer

Pela semelhança existente entre a legenda COS e a legenda CORINE, mantêm-se os problemas referidos anteriormente. A classe do “Espaço Urbano” (nível II), dividida em “Tecido Urbano Contínuo” (nível III) e “Tecido Urbano Descontínuo” (nível III), continua, no nosso entender, a não responder às necessidades do planeamento local/regional de áreas sobretudo urbanas, na medida em que, por exemplo, não se percebe o que significa o conceito de urbano utilizado.

O todo aqui considerado como *objecto* “Tecido Urbano Descontínuo” não oferece um código suficientemente claro para os diferentes receptores, por forma a permitir a construção de um *significado* comum. As partes que constituem este *objecto* não ficam explícitas na noção do todo, levando a uma quebra de comunicação. Em relação ao exemplo dado, não é de se supor a existência de áreas de pequena indústria, no tecido urbano, seja ele contínuo ou descontínuo? A

interpretação hierárquica da legenda fica assim, no nosso entender, sem uma corrente contínua de transmissão de informação.

(iii) Carta de Uso do Solo da Área Metropolitana de Lisboa (CARTUS-AML)³

Produzida à escala 1:25000, em 19 classes, para 1990 e actualizada a 1998, recorreu à análise visual estereoscópica de fotografia aérea vertical pancromática e infravermelha e ao processamento digital de imagens LANDSAT TM e SPOT XS e P (TENEDÓRIO, *et al.*, 1999:711), com incorporação de informação vectorial auxiliar.

A informação desta carta é de natureza diferente das anteriores, uma vez que já é definida como uma carta de uso do solo e não de ocupação, como é patente pelas designações das classes encontradas. A legenda não é hierárquica; contudo, as unidades de uso apresentam uma forte aproximação à escala de análise do planeamento de nível local/regional, como são disso exemplo as classes que de seguida se apresentam:

Tabela 3 - Legenda CARTUS-AML

Classes CARTUS-AML
Area de extracção de inertes
Area edificada consolidada antiga
Areas de grandes equipamentos e infra-estruturas
Area residencial de edificios plurifamiliar
Area residencial de edificios unifamiliar
Area de actividade agrícola abandonada, incultos e vazios urbanos
Loteamentos
Area de mato
Area portuária, industrial e de armazenagem
Area militar
Area multifuncional metropolitana
Grandes superficies comerciais
Area verde urbana

As definições de cada classe integram já uma noção de funcionalidade dos *objectos* que as compõem indicando, desta forma, as partes constituintes de cada classe-*objecto*. Com a integração de noções mais restritas, a lista de códigos a construir por cada receptor terá um intervalo de variação também ele mais restrito.

(iv) O Projecto Murbandy/Moland

O projecto-piloto Murbandy (Monitoring Urban Dynamics), criado em 1998, sofrera alteração de designação para Moland (Monitoring Land Use Changes) no seguimento do crescente interesse e importância atribuída por parte de diversos estados membros, englobando 25 cidades europeias e 7 mega-cidades exteriores à União Europeia. O Murbandy/Moland, inserido no *Directorate General Joint Research Centre* (DG JRC) e na *European Environmental Agency* (EEA), tem como objectivo medir a extensão da mancha urbana e outras áreas regionais, assim

³ c.f. http://e-geo.fcsh.unl.pt/cartus/cartus_mosaico.html

como o seu progresso em direcção ao desenvolvimento sustentável, através da criação de uma rede de base de dados sobre uso do solo e transportes, para diferentes cidades e áreas geográficas na Europa (LAVALLE *et al.*, 2001:1).

Do ponto de vista técnico, os três objectivos principais são:

- (i) produzir informação quantitativa (multitemporal, com um recuo de 50 anos) relativa à evolução do uso do solo e da rede de transportes em áreas sujeitas a mudanças ao nível de grandes infra-estruturas;
- (ii) desenvolver métodos para uma análise das tendências históricas incluindo factores socio-económicos, impacto da legislação, fragmentação da paisagem, etc.;
- (iii) desenvolver modelos para a simulação de cenários, a escalas locais e regionais.

Decorrente dos objectivos supra-citados, a implementação da metodologia do Projecto realizou-se em três fases:

- (a) Inventário – criação de uma base de dados referentes a tipos de uso do solo (adquiridos por imagens de satélite – IRS1-C pancromático, com 5,7 metros de resolução espacial – e fotografia aérea) e redes de transportes, à escala 1:25000 (unidade mínima de 1 *ha* para áreas artificiais e 3 *ha* para áreas não artificiais) para detecção da mudança;
- (b) Análise – construção de indicadores de desenvolvimento regional e urbano por aplicação de técnicas de análise espacial e, simultaneamente, análise da fragmentação da paisagem. A base de dados foi utilizada para a avaliação da estratégia ambiental mais adequada para dar resposta ao impacte dos transportes na paisagem;
- (c) Modelação – aplicação de um modelo de crescimento urbano para criação de cenários para comparação de políticas e acções alternativas de gestão territorial.

Este projecto utiliza como nomenclatura de referência a do CORINE Land Cover. Todavia esta não se revela compatível com os objectivos e metodologia do Projecto em causa, em termos de, por exemplo, unidade mínima e de escala de análise (25 *ha* à escala 1:100000 para CORINE Land Cover, contra 1 *ha* e/ou 3 *ha* à escala 1:25000 do Projecto Murbandy/Moland). Ainda, sobre este aspecto, tenha-se em conta que a legenda CORINE remete para classificação da ocupação do solo e não para o uso do solo como o Murbandy/Moland. Por esta razão, o grau de detalhe do tema “Áreas artificiais” da legenda do Murbandy/Moland é superior, apesar de muito coincidente com a do CORINE (atente-se no Murbandy/Moland, para a desagregação da classe de uso residencial em 4 categorias – “Contínuo Residencial Denso”, “Contínuo Residencial Médio Denso”, “Descontínuo Residencial” e “Descontínuo Residencial Disperso”). A legenda actualmente compreende mais de 80 classes até quarto nível, complementando o terceiro nível do CORINE (LAVALLE, *et al.*, 2002:101).

Segundo os autores, esta metodologia demonstra ser adequada para análises de tendência e monitorização de políticas e estratégias de planeamento (LAVALLE *et al.*, 2001:7), especificando, contudo, que o seu maior potencial se produz ao nível da avaliação *in continuum* e da avaliação *ex-post* do sistema territorial. No entanto, o modelo está a ser desenvolvido de forma a ser um suporte adequado para a avaliação estratégica de impactes ao nível do planeamento.

(v) O Sistema do USGS - Land Use and Land Cover Classification

Após a análise cuidada do anterior conjunto de cartas de uso e ocupação do solo, uma quinta tipologia de classificação foi analisada, desenvolvida pelo *UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY* (USGS), aquando da elaboração do *USGS Land Use and Land Cover Classification System*. O objectivo era o de desenvolver um sistema de classificação nacional, com diferentes tipos de dados (fotografia aérea, imagens de satélite, etc.), e que simultaneamente desenvolvesse um enquadramento no qual as categorias de uso do solo mais detalhadas pudessem ser agregadas de baixo para cima desde o nível 4 até ao nível 1, este para escalas pequenas mais generalizada, apropriadas para o nível nacional (ANDERSON, 1976:6).

Os critérios que levaram à construção da legenda são os seguintes (LILLESAND, KIEFER, 2000:209):

1. A precisão da interpretação global deverá ser superior a 85%.
2. A precisão da interpretação para as diferentes classes deverá ser superior a 85%.
3. Os resultados devem ser repetíveis de um intérprete para outro e em diferentes tempos de registo das imagens.
4. O sistema de classificação deve ser aplicável a áreas extensas.
5. A categorização deve permitir que as classes de uso sejam inferidas das classes de ocupação.
6. O sistema de classificação deverá possibilitar o uso de imagens registadas em diferentes épocas do ano.
7. As categorias devem poder ser subdivididas em subcategorias, possíveis de serem determinadas com imagens de grandes escalas e/ou trabalho de campo.
8. Deve ser possível a agregação de categorias.
9. Deve ser possível a comparação com futuros dados de uso e ocupação do solo.
10. Devem ser identificados, sempre que possível, múltiplos usos do solo.

O objectivo do desenvolvimento de um conjunto de critérios para um processo de classificação de uso e/ou ocupação do solo, prende-se com o facto de se tentar construir uma estrutura de codificação relativamente estável, por forma a que durante o processo de transmissão, o receptor consiga construir um *significado* semelhante, ao construído pelo emissor.

Na definição das categorias de uso do solo foram tidas em consideração as nomenclaturas já existentes noutros organismos dos EUA, por forma a compatibilizar o uso da informação a produzir com sistemas de classificação já existentes.

Apesar destes critérios terem sido definidos numa época em que ainda não se encontravam generalizados o uso de imagens de satélite e do processamento digital de imagem, julgamos serem pertinentes por forma a garantir uma estabilidade e validação da nomenclatura a utilizar.

A tabela seguinte apresenta uma parte do sistema de classificação adoptada por este organismo dos EUA, particularizando a classe Residencial. São apresentados apenas três níveis da legenda, embora o sistema tenha quatro níveis de desagregação⁴.

Tabela 4 - Exemplo de uma legenda hierárquica de uso e ocupação do solo

Nível	Código	Designação
I	1	Urbano ou construído
II	11	Residencial
III	111	Habitação Unifamiliar
	112	Habitação Multifamiliar
	113	Quarteirões
	114	Hoteis residenciais
	115	Parques de caravanas
	116	Habitações temporárias
	117	Outros

Fonte: LILLESAND, KIEFER, 2000: 211

Os níveis I e II destinam-se a produzir informação ao nível nacional, podendo na adaptação ao território português situar-se à escala, por exemplo, de “regiões”. Os níveis III e IV, são adequados para as escalas ao nível do concelho ou intra-concelhio, nomeadamente para as actividades de planeamento territorial.

LILLESAND e KIEFER (2000:212) esquematizam o tipo de dados a utilizar, de acordo com a função da resolução das imagens, e em função do grau de desagregação da legenda.

Tabela 5 - Tipos de dados para a interpretação de imagem, por nível hierárquico da nomenclatura.

Nível	Tipo de dados para interpretação de imagem
I	Imagens de satélite de baixa ou moderada resolução (ex.: LANDSAT MSS)
II	Fotografias aéreas de baixa resolução; imagens de satélite de resolução média (ex.: LANDSAT TM)
III	Fotografias aéreas de escala média; imagens de satélite de elevada resolução
IV	Fotografias aéreas de grande escala

Adaptado de: LILLESAND, KIEFER, 2000, p. 212

⁴ Apenas os níveis I e II são definidos pelo USGS. Os níveis III e IV são definidos pelos utilizadores locais, de acordo com as suas necessidades. A única condição a ter em conta é que as classes a definir deverão poder ser agregadas nos níveis hierárquicos superiores (Lillesand & Kiefer, 2000, p. 211).

De acordo com a tabela 5, a resolução ou escala dos dados aumenta do nível I para o nível IV. No nível III, referem-se já a imagens de satélite de alta resolução contudo, no nível IV mencionam-se apenas as fotografias aéreas de grande escala uma vez que, à data, os satélites de grande resolução, como o IKONOS e o QUICKBIRD, não se encontravam ainda disponíveis.

Para o nível I são apresentadas como adequadas as imagens de satélite de baixa ou moderada resolução, como é o caso do LANDSAT MSS. No nível II, referem-se as fotografias aéreas de pequena escala, e as imagens de satélite de moderada resolução, como LANDSAT TM.

3. Tipos de Abordagem em Processamento Digital de Imagem de Satélite

Em processamento digital de imagem de satélite poder-se-á distinguir três tipos de abordagem em função da unidade mínima de análise, designadamente: (i) abordagem *pixel a pixel*, (ii) abordagem *integrada* e (iii) abordagem *orientada a objecto*.

Face ao exposto, numa primeira fase a unidade mínima de análise das classificações de uso do solo com imagens de satélite utilizaram o *pixel*, procurando-se as classes de uso, a partir de classes espectrais (*grupos*) constituídos por agrupamento de *pixels* com comportamento espectral semelhante. Neste tipo de abordagem *pixel a pixel* o conceito de classificação de imagem é entendido como o processo de tomar decisões quantitativas através de imagens, agrupando *pixels* ou regiões em classes, com o objectivo de se representarem diferentes tipos de objectos físicos (REES, 2001:296).

Numa segunda fase, o desenvolvimento das técnicas de segmentação de imagem (HARALICK, SHAPIRO, 1985, CORTEZ *et al*, 1995, WANG *et al*, 1996), permitiu a passagem do *pixel* para o *objecto* (embora não aplicada a toda a imagem) como unidade mínima de análise, dando início a novas abordagens de análise de imagem – leia-se abordagem *integrada* e abordagem *orientada a objecto*. Estas novas abordagens só foram possíveis com os avanços em algoritmia, investigação em cognição espacial e em tecnologia computacional, às quais não são alheias a semiótica e o construtivismo.

O tipo de *abordagem integrada* induz à reflexão em primeiro lugar sobre a natureza dos dados auxiliares e em segundo lugar no tipo de ligação que têm com as unidades espaciais que se pretende extrair e classificar numa imagem. Limitemo-nos, por agora, a sugerir que os dados auxiliares para a classificação de uma *zona* (genericamente entendida como agrupamento de *pixels*) poderão ser, por um lado dados funcionais, como a rede de estradas, ou informação vectorial sobre classificação de uso ou de ocupação de zonas no território; por outro lado, os dados auxiliares poderão ser aqueles que descrevem e caracterizam a *zona* como uma unidade elementar da imagem em si. Neste último caso falamos então em *forma* e *significado* da *zona*.

Nas duas abordagens anteriores – *pixel a pixel* e *integrada* – a informação extraída da imagem é entendida de duas formas que, embora complementares, diferem na medida em que introduzem dois conceitos de unidade elementar de análise diferentes. A primeira entende-a

como o *pixel*, a segunda a *zona*, esta já como tentativa de explorar uma outra dimensão presente na imagem de satélite para a automatização de processos, isto é, a semântica. Apesar das diferentes perspectivas de aplicação de métodos e técnicas, ambas continuam a usar o *pixel* como o elemento mínimo de extracção de informação bruta, como a resposta espectral, no desenvolvimento de processos.

A terceira abordagem aqui a apresentar – *orientada a objecto* – tem como principal característica o facto de extrair da imagem a dimensão do *objecto* e da semântica. Nesta lógica, o elemento construtor do *significado* da imagem é o *objecto*, entendido como unidade mínima de análise, sendo o *pixel* apenas utilizado para a construção desse mesmo *objecto*.

Desde o ano 2000 tem sido comercializado um novo software (*eCognition*) que tem por base a segmentação da imagem em *objectos* de interesse, numa perspectiva hierárquica de relações espaciais. A unidade mínima de análise é o *objecto*, sobre o qual decorrem as operações de classificação baseadas em regras construídas a partir dos diversos atributos desses mesmos *objectos*, como sejam: a cor, a *forma*, a hierarquia, a textura e o contexto espacial.

Pela análise dos diferentes estudos realizados por diferentes autores⁵ no domínio de aplicação de processamento digital de imagem em meio urbano, constata-se que das abordagens apresentadas, apesar dos objectivos de cada projecto serem muitas das vezes comuns, conseguimos aperceber da evolução tecnológica ao nível dos dados e, nomeadamente, na resolução geométrica dos sensores, com a passagem de imagens LANDSAT, por exemplo, para imagens IKONOS.

As principais diferenças entre as abordagens identificam-se no campo da segmentação da imagem, como seria de esperar, já que esta só será necessária para a *abordagem integrada*, onde se procuram por exemplo identificar segmentos homogéneos, que poderão facilitar a classificação de vias de comunicação; e para a abordagem *orientada a objecto*, que para ser implementada necessita obrigatoriamente de construir *objectos* e isso passa pela segmentação da imagem.

Ao nível das técnicas e algoritmos utilizados, é de notar a existência de uma forte ligação entre as diferentes abordagens, no que respeita à sua vertente quantitativa, na medida em que, por exemplo, estamos perante o uso comum de Rácios entre imagens, classificadores como o Vizinho Mais Próximo ou Máxima Verosimilhança, etc. Interessante é o facto da forma como são explorados os resultados quantitativos sofrer uma mudança de direcção em relação às dimensões da imagem onde são aplicados. Isto é, da abordagem *pixel a pixel* para a abordagem *orientada a objecto* nota-se uma contínua passagem da dimensão espectral e quantitativa para a

⁵ Para abordagem *pixel a pixel* c.f. JENSEN (1982) e JORGE ROCHA (2003); para abordagem *integrada* c.f. JENSEN-MØLLER (1990), HE *et al.* (1994) e TENEDÓRIO (1998); para abordagem *orientada a objecto* WILLHAUCK (2000), BAUER, STEINNOCHER (2000), MEINEL *et al.* (2000), HOFMANN (2001) e GONÇALVES (2003).

dimensão semântica e ontológica da imagem, numa aproximação à cognição humana, sempre presente nas técnicas de foto-interpretação.

Neste contexto, e considerando as cartas de uso do solo como informação de base em matéria de planeamento local/regional de áreas predominantemente urbanas, entendemos que o tipo de abordagem de processamento digital de imagem de satélite que melhor responde à extracção de classes representativas de unidades funcionais é a abordagem orientada a objecto, já que permite a adequação da forma ao significado dos *objectos*.

4. A Complexidade Regional do Uso e Ocupação do Solo

Numa tentativa de sistematização do conhecimento, vários autores definem, de uma forma geral, o uso e ocupação do solo como:

- a) Ocupação do solo – o termo ocupação do solo está relacionado com os tipos de elementos presentes na superfície terrestre (LILLESAND, KIEFER, 2000); relaciona-se com a natureza física ou forma da superfície terrestre, e pode ser visualmente identificado por técnicas de observação ao solo tradicionais ou por técnicas de detecção remota (MATHER, 1986).
- b) Uso do solo – relacionado com a actividade humana associada a uma parte específica do território (LILLESAND, KIEFER, 2000); é o produto da decisão humana (Mather, 1986).

Embora as definições apresentadas procurem, de uma forma geral, caracterizar as duas noções apresentadas, a verdade é que escondem uma temática bastante mais complexa, quer ao nível teórico quer ao nível prático. Assim, as noções de uso e/ou ocupação do solo podem caracterizar-se genericamente por três componentes:

- a) forte **heterogeneidade**, ao nível da forma e da função dos objectos constituintes do espaço;
- b) forte **especificidade**, na triangulação entre a forma, função e contexto espacial;
- c) forte **complexidade**, resultante da relação simultânea entre heterogeneidade e especificidade, ao nível das inter-relações entre elementos constituintes do espaço, nomeadamente com a introdução de hierarquias de funções.

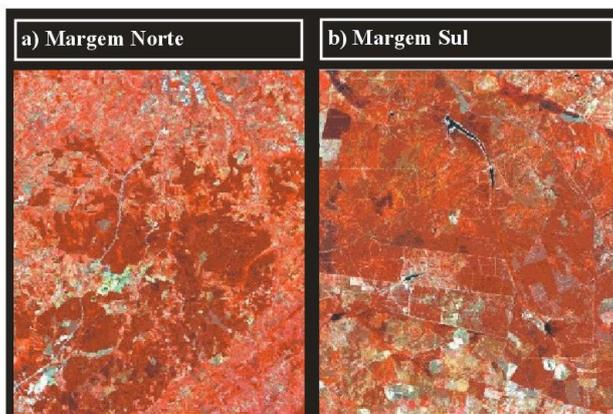
A forte heterogeneidade dos objectos revela-se, por um lado, na diversidade das formas e materiais existentes (num sentido físico dos mesmos) e, por outro, na diversidade de funções inerentes a essas mesmas formas e materiais, quando interpretadas à luz do seu uso social num dado território. A organização territorial dos elementos e funções, isto é, a sua organização espacial é traduzida pelas relações espaciais entre elas, podendo ser de diferentes graus e origens. Ou seja, por exemplo, a geometria ou desenho de uma determinada área urbana determina as características de circulação de trânsito e indivíduos. Da mesma forma, a proximidade entre o tipo e número de actividades/funções existentes, e suas inter-relações,

podem originar dependências de hierarquia, com uma actividade superior a determinar a existência ou não de actividades de nível inferior.

A complexidade inerente a esta temática parece dar origem a um paradoxo entre a alínea a) e b) – i.e., o uso do solo é simultaneamente heterogéneo e específico. Contudo, este é explicável pelas relações existentes entre os diferentes elementos, quer ao nível da forma, quer ao nível da função, que inseridas em determinado contexto espacial adquirem propriedades específicas. Por exemplo, as relações de dependência entre a função habitação e a função indústria serão certamente diferentes, consoante o tipo de espaço urbano em análise

Como se traduzem, então, os três atributos do uso do solo, na análise de imagem? Na Figura 1 são apresentadas duas imagens, correspondentes a grandes áreas de vegetação (a vermelho), na margem norte e margem sul da Área Metropolitana de Lisboa, respectivamente. Apesar de nas duas imagens as tonalidades de vermelho serem semelhantes, o facto é que a sua disposição espacial revela, à partida, que estamos perante dois territórios estruturalmente diferenciados e que as duas áreas de vegetação sejam de algum forma funcionalmente diferentes.

Figura 1 - Exemplos de estruturas espaciais na AML



As duas imagens podem, então, ser caracterizadas, de acordo com:

- a) **Heterogeneidade:** ao nível das tonalidades encontradas na imagem que indicam a presença de espaços construídos (azul-verde-branco), até aos espaços de vegetação (vermelhos). Existe também um conjunto complexo de formas com diferentes dimensões. O arranjo geral, dos elementos forma e cor, resulta num espaço representativo diverso e complexo.
- b) **Especificidade:** a especificidade advém das duas estruturas espaciais resultantes da relação entre cor e forma, que define um espaço próprio característico da dinâmica funcional de cada território. Note-se na margem norte uma geometria menos organizada da mancha principal de vegetação, enquanto que na margem sul esta assume, claramente, um “comportamento parcelar”. Obviamente, que para uma análise sistemática da

especificidade deverão ser tidos em conta outros elementos, como por exemplo a morfologia do terreno.

- c) **Complexidade:** resultado da relação entre a heterogeneidade e a especificidade, surge quando se procura atribuir uma categoria de uso do solo às formas presentes na imagem. A classificação resulta, inevitavelmente, da associação e comparação semântica e espacial, com elementos vizinhos. Por exemplo, comparando a maior ou menor aproximação de áreas com diferenças funcionais, como áreas de campos agrícolas e aglomerações urbanas, ou, a variação de tons de uma mesma classe de uso/ocupação do solo.

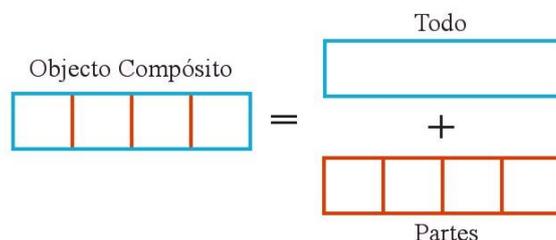
Usualmente, tende-se a entender uma mesma imagem de satélite como uma *layer* de informação, onde se procurará e assinalará a classificação final de uso do solo; embora a nomenclatura que a acompanhe esteja, na maior parte das vezes, hierarquizada em classes e sub-classes. Quanto se reflecte sobre a operacionalidade da *abordagem orientada a objecto* e nomeadamente através do eCognition, este facto adquire uma nova importância. Ou seja: quando se trabalha por exemplo, com escalas regionais (no presente trabalho, entenda-se a Área Metropolitana de Lisboa), em relação ao uso do solo, inevitável e intuitivamente se faz uma classificação mental das categorias que se pretendem encontrar, como é o caso das áreas com maior ou menor densidade de construção. Numa segunda fase, procura-se informação sobre a organização interna, quanto a uso do solo de cada uma dessas áreas. Também intuitivamente, eliminamos pequenos casos que pela sua dimensão são considerados irrelevantes para a escala em análise – a regional, introduzindo-se, assim a ideia de generalização semântica e gráfica do território.

Na análise de imagem orientada a objecto, é necessário seguir esta forma de entender o espaço, quer seja o território em análise ou a sua representação na imagem de satélite, na medida em que será possível entender a melhor forma de quantificar e formalizar a construção de *objectos* com significado.

O principal problema das classificações de uso e/ou ocupação do solo é a mistura espectral dos elementos da superfície terrestre, e a sua conseqüente mistura na classificação da imagem. Na análise visual de imagem, o olho humano consegue distinguir os *objectos*, porque associa a resposta espectral à forma (é por esta razão que, por exemplo, se consegue distinguir as estradas com pavimento de betão, das restantes áreas de construído). A forma ou geometria é assim, um dos atributos mais relevantes para a diferenciação dos objectos representados na imagem, em relação a outros. Contudo, a quantificação do atributo forma, numa abordagem de análise de imagem orientada a objecto, é bastante complexa, quer ao nível teórico, quer ao nível prático, na medida em que as entidades da superfície terrestre são entendidas como objectos compósitos, assim como os objectos seus representativos na imagem. Isto é, são objectos

compostos pela relação entre o todo e as suas partes; relação essa que pode ser quantificada. Assim, sendo a forma um dos atributos que caracteriza o objecto compósito, esta apresentará, também, diferentes configurações - a geometria do todo e a geometria das partes que o constituem, pelo que, a forma de um objecto compósito será o conjunto das formas das suas partes (Figura 2).

Figura 2 - Objecto compósito simplificado



Da simplificação do objecto compósito fica implícita a necessidade de se trabalhar os dados com diferentes escalas de análise, na medida em que a escala de percepção espacial do todo é diferente da escala de percepção espacial das partes. Em estudos de análise territorial apercebemo-nos da existência de objectos compósitos, quando, por exemplo, se procura, simultaneamente, a delimitação (o todo) e a morfologia (as partes) da mancha construída.

A dicotomia entre as escalas de percepção espacial assume um papel determinante na operacionalização dos objectos a classificar numa imagem, como se demonstra no ponto seguinte, com a classificação de categorias de uso/ocupação do solo relativamente simples. Neste sentido, apresentaremos alguns exemplos, no que diz respeito a diferentes classe de uso/ocupação do solo, problemas na sua classificação e possíveis formas de as classificar.

5. Experimentação e Resultados Preliminares

A partir de uma mesma imagem SPOT 5 de 2004, procurou-se aplicar um mesmo protocolo de classificação a duas áreas distintas (Loures e Setúbal).

Figura 3 - Sectores de experimentação



A construção de objectos por segmentação multiresolução baseia-se na partição da imagem em segmentos com diferentes escalas de percepção. As imagens criadas são *objectos* construídos a partir da forma e significado. A forma do *objecto* resulta de um conjunto complexo de regras visuais inerentes ao processo cognitivo que nos permite segmentar o espaço visual, em sub-unidades com determinado significado. O indivíduo tem a capacidade de trabalhar numa interacção de escalas, com elementos discretos e contínuos, numa perspectiva relativista, em relação ao objecto em foco. Com a *abordagem orientada a objecto* procura-se uma aproximação a esta forma de construção de objectos, a partir de uma imagem.

Em eCognition os objectos são construídos por segmentação multiresolução, uma técnica de crescimento de regiões. Os objectos serão fundidos ou não, de acordo com critérios de decisão, nomeadamente o critério de homogeneidade (h) e o parâmetro de escala.

O processo procura a minimização da heterogeneidade, tendo em conta a dimensão do objecto. O parâmetro de escala determina a continuação ou paragem do processo. O critério geral de heterogeneidade é composto por dois parâmetros, nomeadamente, cor e forma.

$$f = w * h_{color} + (1 - w) * h_{shape} \quad [1]$$

Onde: w é o peso dado ao parâmetro de cor, variando entre 0 e 1.

$$h_{color} = \sum_c w_c (n_{merge} * \sigma_c^{merge} - (n_{obj1} * \sigma_c^{obj1} + n_{obj2} * \sigma_c^{obj2})) \quad [2]$$

Onde: n é a dimensão do objecto e w_c o peso dado a cada banda c .

O critério de forma tem em consideração o peso dos critérios de *compactness* (w_{cmpct}) e de *smoothness* (w_{smooth}), com um intervalo entre 0 e 1.

$$h_{shape} = w_{cmpct} * h_{cmpct} + (1 - w_{cmpct}) * h_{smooth} \quad [3]$$

$$h_{cmpct} = n_{merge} * \frac{I_{merge}}{\sqrt{n_{merge}}} - \left(n_{obj1} * \frac{I_{obj1}}{\sqrt{n_{obj1}}} + n_{obj2} * \frac{I_{obj2}}{\sqrt{n_{obj2}}} \right) \quad [4]$$

$$h_{smooth} = n_{merge} * \frac{I_{merge}}{b_{merge}} - \left(n_{obj1} * \frac{I_{obj1}}{b_{obj1}} + n_{obj2} * \frac{I_{obj2}}{b_{obj2}} \right) \quad [5]$$

Onde: n é a dimensão do objecto, I o perímetro do objecto e b o perímetro da *bounding box*.

A variação do parâmetro de escala permite a construção de diferentes níveis de percepção espacial, fazendo variar a dimensão e a forma do objecto.

Estes níveis produzem uma rede hierárquica de objectos, a partir da qual um determinado objecto conhece os seus vizinhos, os seus sub e super-objectos (BAATZ and BENZ, *et al*, 2003).

A construção dos objectos para as duas áreas teve início com a segmentação do nível 1, conforme exposto na tabela 6, por forma a conseguir objectos de pequena dimensão.

Tabela 6 - Parâmetros da segmentação do nível 1

1ª Segmentação	Parâmetro de Escala	Cor	Forma	Smoothness	Compactness
Multiespectral	5	0,8	0,2	0,5	0,5

Após a segmentação, iniciou-se a classificação do nível 1. Numa primeira fase, procuraram-se objectos com reposta espectral bem diferenciada, como é o caso das áreas de vegetação, dos objectos brilhantes, das manchas de edificado, etc. Contudo, mesmo na presença de objectos pequenos, que incluem pequenas variações no valor digital dos pixels a partir dos quais foram construídos, verifica-se, ainda, confusão espectral de objectos. Por exemplo, em Loures, os objectos de tons azul-cinza confundem-se com objectos mais próximos do cinza, criando uma



dificuldade em separar os espaços de pavimento de alguns dos pavilhões, que se encontram nas manchas de indústria. A legenda seguida na classificação é hierárquica, seguindo a lógica de máscaras, como indica a figura 4.

Figura 4 – Legenda de classificação em eCognition

5.1. Experimentação ao nível da cor

Desta forma, o nível 1 foi iniciado com a separação de duas classes principais: a Água e a Terra. Para a classificação da classe Água foi definido um intervalo de valores na banda do Próximo Infra-Vermelho (PIV) e construído um atributo denominado Índice de Cor Fria (ICF)⁶, calculado por:

$$((\text{média Verde} - \text{média PIV}) / (\text{média Verde} + \text{média PIV})) * \text{MaxDiff} \quad [6]$$

Tabela 7 - Descrição das classes de Nível 1: Terra e Água

Classe	Operador	Operador	Feature	Função	Intervalo	Intervalo
	Loures	Setúbal			Loures	Setúbal
Terra	and(min)	and(min)	not água	---	---	---
Água	and(max)	and(min)	Mean PIV		[28 – 35]	[40 – 50]
			(C) ICF		[0,3 – 0,5]	[0,2 – 0,3]

⁶ Este índice resulta do desenvolvimento de um protocolo de classificação de uso do solo, enquadrado no projecto EURMET (Programa INTERREG II C « Sudoeste Europeu », no âmbito da medida 1, acção 1 « Estudo prospectivo dos sistemas urbanos do Sudoeste Europeu »), do qual o e-Geo é o parceiro português. http://www.interreg-sudoe.org/portugues/proyectos/approved_proyecto_ficha.asp?ID_Proyecto=20

Começando com duas classes, relativamente fáceis de classificar - Terra e Água, procurou-se detectar os possíveis problemas na aplicação de um mesmo conjunto de atributos, em diferentes contextos territoriais. Uma das primeiras, e inevitáveis, adaptações, prende-se com os intervalos de valores a definir para cada atributo, de acordo com as respostas espectrais encontradas (Tabela 7). Na delimitação dos intervalos dos atributos, conseguem-se melhores resultados com intervalos de menores amplitudes de valores, na medida em que existe uma menor possibilidade de confusão entre os valores de pertença das classes. A aplicação de amplitudes pequenas é conseguida sem problemas graves, quando em áreas de pequena dimensão. Contudo, em áreas de maior dimensão, a variação de valores dentro de uma mesma classe é também maior, o que dificulta a definição de intervalos com amplitudes reduzidas.

Para além da necessária modificação dos valores, algumas variações provocadas pelo contexto espacial podem também obrigar a alterações nas próprias regras de classificação, como é o caso do exemplo aqui apresentado. De facto, quando para a classificação da Água, existiu a necessidade de se alterar o protocolo EURMET ao nível dos operadores de **and [min]** para **or [max]**. A alteração justifica-se pelo facto de em Loures se estar em presença de água estuarina, enquanto que em Setúbal, se está em presença de água oceânica (embora próximo do estuário do Sado). Quando aplicado o operador **or [max]**, o objecto a classificar assume o valor de pertença mais elevado (no atributo definido), enquanto que no **and [min]** o objecto a classificar assume o valor de pertença mais baixo. Ora, na imagem correspondente a Loures, a água apresenta mais sedimentos em suspensão, menos salinidade, etc, i.e., estamos em presença de uma maior heterogeneidade de valores e de uma especificidade local diferente da encontrada em Setúbal. Neste sentido, obtiveram-se melhores resultados com aplicação do operador **and [min]** em Loures e o operador **or [max]** em Setúbal (Figura 5).

Figura 5 – Adaptação dos operadores de classificação



A segunda etapa da classificação, procurou diferenciar as áreas de vegetação (incluídas na classe Terra das restantes áreas, a partir do cálculo do Índice Normalizado de Vegetação (NDVI) para cada imagem (Tabela 8 e Figura 6).

Tabela 8 - Descrição das classes de Nível 1: (1)Vegetação e (1)Outro

Classe	Operador	Feature	Função	Intervalo	Intervalo
				Loures	Setúbal
(1)Outro	and(min)	not (1)Vegetação	---	---	---
(1)Vegetação	and(min)	NDVI		[-0,08 – 0]	[0 – 0,15]

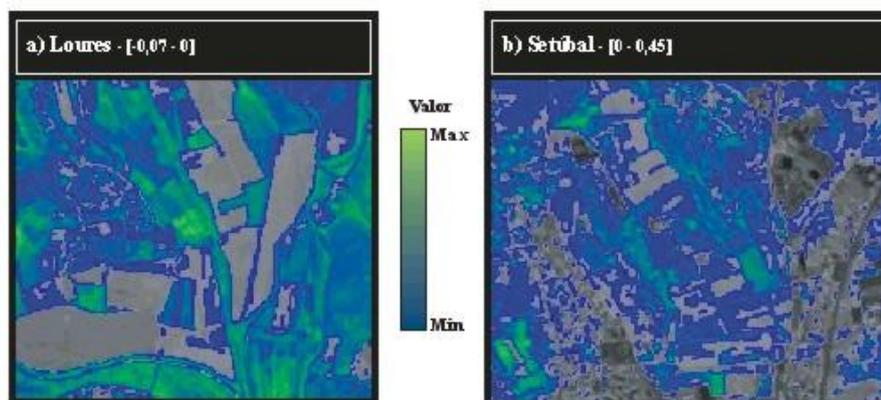
Figura 6 - Índice Normalizado de Vegetação (NDVI)



Depois de calculado o NDVI, é necessário definir o intervalo de variação dos objectos correspondentes a áreas de vegetação (tons de cinza mais claros, a branco). O eCognition permite a visualização destes valores, indicando a azul os objectos mais próximos do valor mínimo definido, e a verde, os objectos mais próximos do valor máximo (Figura 7).

Apesar de se adaptarem os intervalos de valores do NDVI, nas duas imagens, os resultados são de alguma forma diferentes, por exemplo em relação ao solo agrícola sem vegetação. Em Loures esta categoria é mais diferenciável do que em Setúbal, uma vez que aqui, a envolvente espacial ao solo agrícola sem vegetação apresenta um carácter mais heterogéneo, com a proximidade aos limites construídos da cidade.

Figura 7 – NDVI e Solo agrícola sem vegetação



Após a separação das áreas de vegetação, procura-se, dentro da mancha de construído, a separação dos objectos correspondentes a áreas de indústria ou grandes infraestruturas, tendo como ponto de partida a diferença ao nível da cor, ou seja, objectos com forte reflectância que se identificam com tons próximos de branco. Assim, a partir da banda do vermelho criou-se uma nova classe denominada “brancos”.

Figura 8 – Classificação do nível 1 – Objectos de forte reflectância



Para esta classe, os valores da banda do vermelho são os mesmos para as duas áreas, ou seja, não houve necessidade de se adaptar o protocolo de classificação, talvez porque: a) os objectos de forte reflectância se distanciam bastante dos restantes, no intervalo de 0 a 255 (8 bits) e b) porque ao nível da superfície terrestre estes elementos influenciam mais os seus vizinhos, do que são por eles influenciados.

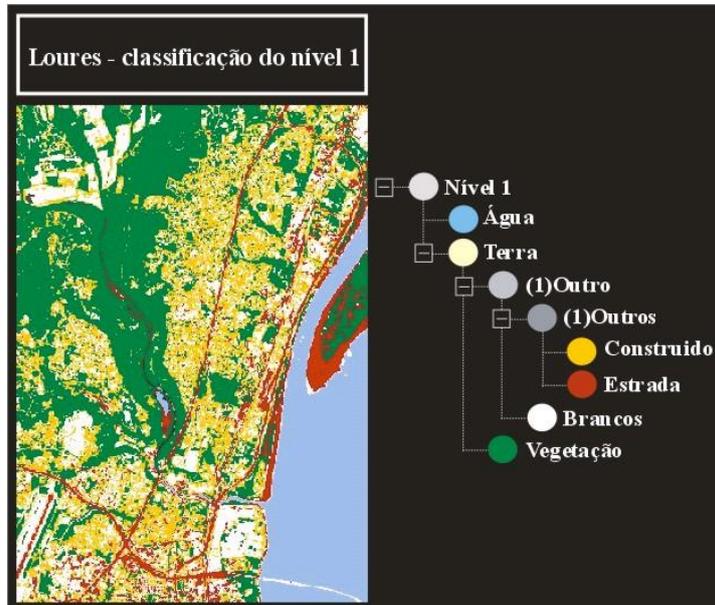
A etapa seguinte teria como objectivo a classificação da restante mancha construída, numa primeira fase com a separação pela cor, com as áreas mais antigas a apresentarem tons amarelo-esverdeado e as mais recentes a apresentarem tons de cinza-azul. Para esta separação seria, aparentemente, apropriada a recolha de amostras e a aplicação do classificador Vizinho mais próximo. Contudo, a mistura espectral é ainda bastante forte, o que origina erros de classificação, por exemplo, entre algumas áreas de solo agrícola sem vegetação e as áreas mais antigas do construído⁷. Por esta razão, uma das possíveis soluções seria classificar primeiro as manchas de solo agrícola sem vegetação, aplicando também um critério de proximidade a manchas de vegetação. De seguida, na classificação da mancha construída mais antiga, um dos atributos a englobar seria a condição desta classe não poder ser solo agrícola sem vegetação. Mas mais uma vez, esta proposta de metodologia será apenas uma de entre outras possíveis.

Numa primeira síntese, verifica-se então que, ao nível do trabalho com a cor, a variância das respostas espectrais de uma dada imagem, resultantes da heterogeneidade de categorias de

⁷ Sem referir os problemas associados ao uso de amostras, decorrentes de uma classificação supervisionada, como a subjectividade de cada utilizador, ou de um só utilizador a trabalhar em áreas diferentes, decorrente da variação espacial do território em estudo, como anteriormente foi abordado.

uso/ocupação do solo existentes num dado território, afecta a aplicação consistente de um protocolo de classificação automática de uso/ocupação do solo.

Figura 9 – Classificação do nível 1



A figura 9 representa, como exemplo, o primeiro resultado da classificação para a imagem de Loures, na qual são bem visíveis os erros de classificação, nomeadamente na classe estradas (que engloba áreas de sapal!). Especificamente para esta classe, será necessário aplicar uma segunda fase de processamento da imagem, nomeadamente recorrendo ao atributo forma.

5.2. Experimentação ao nível da forma

Determinadas classes de uso/ocupação do solo são essencialmente identificadas pela sua forma, como é o caso das vias de comunicação, contudo, algumas questões devem ser tidas em conta, previamente à integração do atributo forma no processo de classificação:

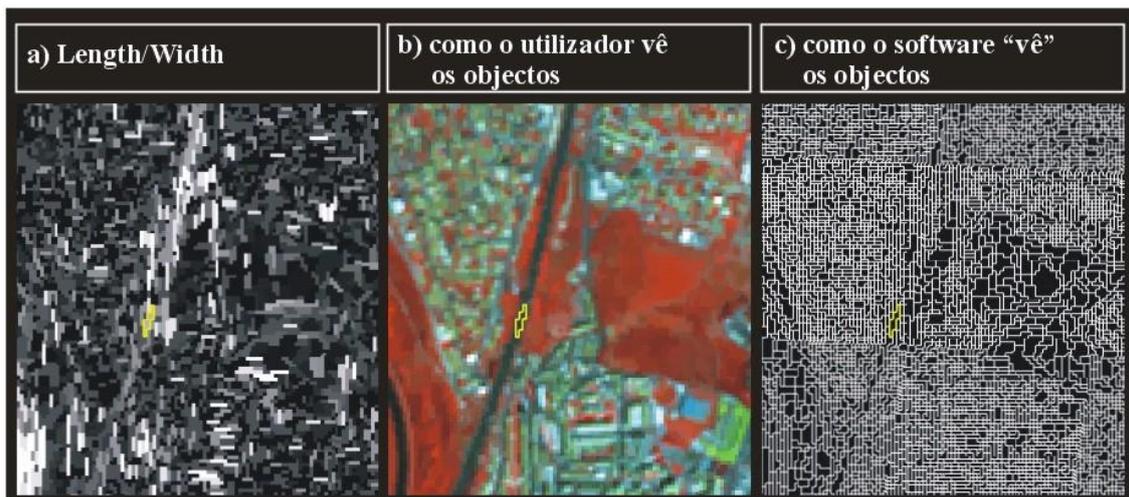
- na imagem, o atributo forma é na sua base construído a partir do atributo cor, e nesta medida, é influenciado por este.
- A ligação entre a forma e o significado do objecto, resulta do conjunto das partes contíguas e homogéneas entre si, num determinado atributo (nomeadamente a cor). Por exemplo, uma via de comunicação é formada por pequenas partes contíguas, em maior grau no comprimento do que na largura.
- Pela sua constituição compósita, o *objecto* será identificado pela relação entre partes e todo. Assim, as escalas de percepção espacial a partir das quais um determinado *objecto* é identificado pela sua forma são variáveis, uma vez que as partes (que traduzem a contiguidade) serão retiradas de objectos mais pequenos e o todo (que traduz o todo e o

significado) será retirado de objectos de maior dimensão, nomeadamente do agrupamento das suas partes.

Prosseguindo com o processamento das imagens de trabalho, veremos como surgem as questões anteriores, aquando da classificação das vias de comunicação.

Em ambas as imagens, as principais vias de comunicação são facilmente identificadas, pelo contraste entre os diferentes tons e cores, resultante da distribuição dos valores na imagem, representativos de cada território. No cômputo geral, a imagem de Loures apresenta uma maior homogeneidade, relativamente à de Setúbal, facilitando a separação visual das vias de comunicação principais. De qualquer modo, é visível o comportamento linear de uma via de comunicação, pelo que um dos primeiros atributos a procurar para a sua separação seria, por exemplo, o atributo *Length/Width*, presente no eCognition, que traduz a relação entre o comprimento e a largura. Ora, a aplicação deste atributo no nível 1 (c.f. p. 15), confronta-se com as questões a), b) e c), pelo que a sua aplicação directa não produz os resultados pretendidos. O problema da aplicação da forma, em níveis de parâmetro de escala pequenos, justifica-se pela diferente forma dos objectos serem apreendidos pelo utilizador e processados pelo *software*, como se exemplifica na figura 10.

Figura 10 – A análise quantitativa e qualitativa do atributo forma

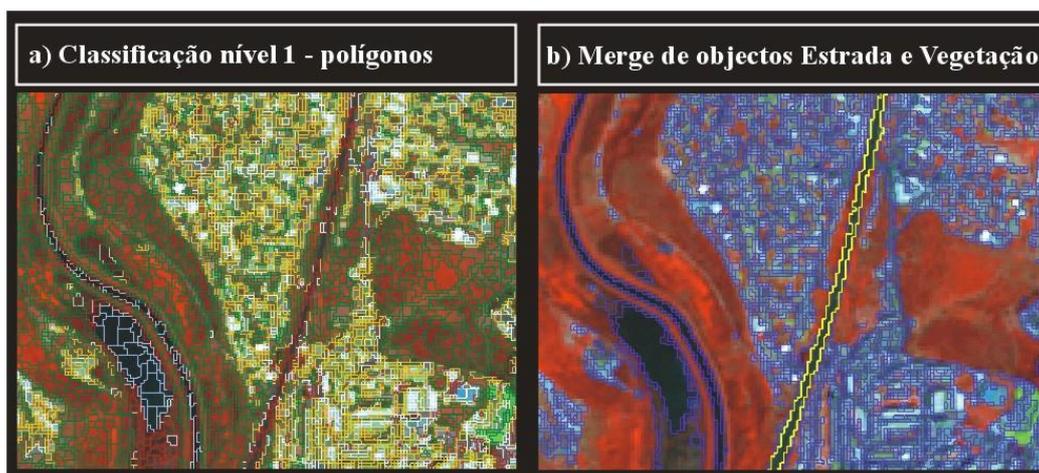


Assim, a solução será adaptar a classificação de determinadas classes em função da sua escala de percepção espacial (o todo vs. as partes). Ou seja, numa primeira fase procura-se classificar os objectos de pequena dimensão (aqui nível 1), correspondentes a áreas de estrada a partir da sua cor (as partes). Decorrente da forte confusão espectral com outros elementos, são esperados erros na classificação da forma e do significado da classe Estradas. Uma vez que o eCognition permite trabalhar com diferentes escalas de análise, para a segunda fase de classificação desta classe, poder-se-á construir um novo nível (com objectos de maior dimensão), que resulta do *merge* de objectos contínuos de determinadas classes, nomeadamente aquelas que são

identificadas pelo seu todo, como é o caso da classe estradas, como foi referido anteriormente. Por exemplo, se um grupo estrutural corresponder às áreas de vegetação, todos os objectos contíguos, classificados como vegetação, são fundidos num só de maior dimensão. O novo nível, terá assim, objectos de maior dimensão e simultaneamente objectos de pequena dimensão (aqueles pertencentes a classes não incluídas no *merge*). Este método permite, a partir de uma primeira classificação, melhorar a forma dos objectos, essencial, por exemplo, para a classificação da classes Estradas, na medida em que a partir do *merge* das suas partes constituintes poderá ser aplicado o atributo (comprimento/largura) – cf. Figura 10.

Ao nível operacional, a necessidade de se construir um nível de segmentação superior justifica-se pelo facto de que, para o exemplo apresentado (Estradas) o atributo comprimento/largura (*length/width*) não era diferenciável dos restantes objectos da imagem, na medida em que se verifica uma homogeneidade na sua dimensão e , por conseguinte, no seu comportamento linear (cf. figura 10). A dificuldade que o olho humano tem em distinguir um número muito elevado de tons revela-se uma vantagem aquando da visualização de uma imagem, já que permite a construção visual de agrupamentos de objectos e atribui-lhes significado, que de outra forma seriam separados (que é o que acontece com o *software*).

Figura 11 – Construção de objectos de maior dimensão a partir da generalização semântica



Repare-se que as áreas de vegetação (a vermelho) são agora objectos de maior dimensão, assim como as estradas, mas no entanto, a mancha construída permanece com objectos de menor dimensão, que melhor caracterizam a sua estrutura interna.

6. Considerações Finais

A recolha e produção de informação sobre a superfície terrestre para apoio à decisão, em matéria de planeamento e ordenamento do território, continua ainda hoje com fortes carências, nomeadamente ao nível das cartas de uso/ocupação do solo. Os projectos de referência, apresentados no ponto 2, revelam por si só diferentes metodologias, técnicas e objectivos,

sendo que a grande maioria diz respeito a classificações de ocupação e não de uso do solo. As nomenclaturas apresentadas, são na sua maioria hierárquicas, pelo que mesmo com abordagens não orientadas a objecto, estamos na presença de objectos compósitos na produção da informação. Desta forma, a abordagem orientada a objecto surge como uma nova metodologia que vai de encontro à própria natureza da informação geográfica, i.e., o objecto compósito.

Se nas abordagens *pixel a pixel* e *integrada* a principal dificuldade de tratamento da informação reside na mistura espectral nas imagens, o facto é que na *análise orientada a objecto*, estamos ainda perante esta mesma dificuldade. Ou seja, em *eCognition* existe ainda uma forte dependência dos resultados finais face aos dados e, mais especificamente à cor (que traduz os valores de resposta espectral dos elementos). Relembre-se, por exemplo, que para a classificação da classe Água, existiu a necessidade de se alterar o protocolo desenvolvido, mesmo estando em presença de um elemento de natureza semelhante (água), mas que influenciada pelo contexto espacial, provocou perturbações na operacionalização de um mesmo protocolo, i.e., em Loures predomina água estuarina (com maior presença de materiais em suspensão) e, em Setúbal água oceânica (com maior salinidade e menores materiais em suspensão).

Apesar de com a *abordagem orientada a objecto* ainda não ser possível eliminar por completo os problemas inerentes à mistura espectral dos objectos, a verdade é que esta abordagem dispõe de ferramentas que permitem minimizar alguns desses problemas, nomeadamente pelo trabalho com a forma e a construção de objectos a diferentes escalas de percepção espacial.

Os casos exemplo, aqui apresentados, são relevantes para as classificações de escala regional, na medida em que a estas escalas, existe uma maior diversidade de contextos espaciais para elementos de natureza diferente. Ainda maior diversidade existirá quando se procura operacionalizar noções de uso do solo, na procura de unidades territoriais que traduzam a organização da forma e função de um dado território.

BIBLIOGRAFIA

ANDERSON, J.R. *et al* (1976) A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data, (conversion to Digital 2001), United States Government Printing Office, Geological Survey Professional, Paper 964, p. 41.
<http://landcover.usgs.gov/pdf/anderson.pdf> (última consulta: 29-12-2003).

BAATZ, M., BENZ, U. *et al* (2003) *eCOGNITION – Object Oriented Image Analysis User Guide 3*, DEFINIENS IMAGING, München, p. 443.

BAUER, T., STEINNOCHER, K. (2000) Per-Parcel Land Use Classification in Urban Areas Applying a Rule-Based Technique. In: *GeoBIT/GIS 6*, pp. 24 – 27.
<http://www.definiens-imaging.com/documents/publications/GIS200106024.pdf> (última consulta: 29-12-2003).

BLASCHKE, T., STROBL, J. (2001) What's Wrong with Pixels? Some Recent Developments Interfacing Remote Sensing and Gis. In: *GeoBIT/GIS 6*, pp. 12 – 17.
<http://www.definiens-imaging.com/documents/publications/GIS200106012.pdf> (última consulta: 29-12-2003).

- CORTEZ, D., NUNES, P., SEQUEIRA, M. M., PEREIRA, P. (1995) Image Segmentation Towards New Image Representation Methods. In: *Signal Processing: Image Communication*, n.º 6, pp. 485 - 498.
- DUARTE, A., ABRANTES, P., RODRIGUES, A., VELHO, G. (2001) Documento de trabalho: Elementos Técnicos para Concepção e Elaboração de Legendas para Cartas de Uso e Ocupação do Solo, DGPR-FCSH-UNL, Lisboa, p. 22.
- ENCARNAÇÃO, S. A. (2004) Análise de Imagem Orientada a Objecto. Abordagem Conceptual e Experimentação com Imagens Quickbird, Dissertação de Mestrado, DGPR-UNL-FCSH, Lisboa, p. 174.
- EUROPEAN COMISSION (1994) EUR 12585 - CORINE Land Cover - Technical Guide, Office of Official Publications of the European Communities, Luxembourg, p. 136.
http://reports.eea.eu.int/CORO-landcover/en/tab_content_RLR (última consulta: 29-12-2003).
- GONÇALVES, L. (2003) Avaliação das Imagens Multiespectrais do Satélite IKONOS para Produção de Cartografia de Ocupação do Solo, Dissertação de Mestrado, UTL – IST, Lisboa, p. 165.
- HARALICK, R. M., SHAPIRO, L.G (1985) Image Segmentation Techniques. In: *Computer Vision Graphics and Image Representation*, n.º 29, pp. 100 - 132.
- HARALICK, R. M. (1979) Statistical and structural approaches to texture. In: *Proceedings of the IEEE*, 67, pp. 786 - 804.
- HARALICK, R., SHANMUGAN, K., DINSTEN, I. (1973) Textural features for image classification. In: *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. 3, n.º 1, pp. 610 - 621.
- HE, D.C., WANG, L., BAULU, T., MORIN, D., BANARI, A. (1994) Classification Spectrale et Texturale des Données d'Images SPOT en Milieu Urbain. In: *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 15, n.º 10, pp. 2145 - 2152.
- HOFMANN, P. (2001) Detecting Buildings and Roads from IKONOS Data Using Additional Elevation Information. In: *GeoBIT/GIS 6*, pp. 28 - 33.
<http://www.definiens-imaging.com/documents/publications/GIS200106028.pdf> (última consulta: 29-12-2003).
- JENSEN-M., L. (1990) Knowledge-Based Classification of an Urban Area Using Teture and Context Information in LANDSAT TM Imagery. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 56, n.º 6, Junho, pp. 629-643.
- JENSEN, R. J. (1982) Detecting Residential Land-use Development at the Urban Fringe. In: *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol.48, n.º 4, pp. 629-643.
- LAVALLE, C., *et al.* (2002) Towards an Urban Atlas. Assessment of Spatial Data on 25 European Cities and Urban Areas. EEA, European Commission, Joint Research Center, Copenhagen. p. 131
- LAVALLE, C., *et al.* (2001) Monitoring, planning and forecasting dynamics in European areas – The territorial approach as key to implement European policies. In: *CORP2001*, University of Technology, Viena.
<http://moland.jrc.it/documents/CORP2002-paper.pdf> (última consulta 25-9-2004).
- LILLESAND T. M., KIEFER, R. W. (2000) *Remote Sensing and Image Interpretation*, 4ª ed., John Wiley & Sons, Inc., New York, p. 724.
- MARK, D. M., SKUPIN, A., SMITH, B. (2001) Features, Objects, and Other Things: Ontological Distinctions in the Geographic Domain. In: *Spatial Information Theory: Foundations of Geographic Information Science* (Lecture Notes in Computer Science 2205), D. R. Montello, Springer -Verlag, Berlin, pp. 488 -502.
<http://ontology.buffalo.edu/smith//articles/COSIT01MSS.pdf> (última consulta: 15-1-2004)
- MARK, D. M., ANDREW, U. F. (ed.) (1991), *Cognitive and Linguistic Aspects of Geographic Space*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p. 519.
- MATHER, A.S. (1986) *Land Use*, Longman, Essex, p. 286.
- REES, W. G. (2001) *Physical Principles of Remote Sensing*, 2ª ed., Cambridge University Press, Cambridge p. 343.
- ROCHA, J. (2003) Integração de Dados Estatísticos na Classificação de Imagens de Satélite, Dissertação de Mestrado, UTL – IST, Lisboa, p. 158.
- TENEDÓRIO, J.A., *et al* (1999) Carta de Uso do Solo da Área Metropolitana de Lisboa (Cartus-Aml). In: *VIII Colóquio Ibérico de Geografia*, Actas – Vol. II, GPR-FCSH-UNL, Lisboa, pp. 711 - 716.
- TENEDORIO, J. A. (1998) Télé-détection en Milieu Périurbain – Détection et Localisation du Changement de l'Ocupation du Sol par Intégration des Données-Satellite SPOT HRV dans un Système d'Information

Géographique, Thèse pour obtenir le grade de Docteur de L'Université Paris XII, Université de Paris XII – Val de Marne, Institut d'Urbanisme de Paris, p. 254.

VARZI, A. C. (2003) Mereology. In: Edward N. Zalta (ed.), *Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Stanford: CSLI (internet publication), p. 30.
<http://www.columbia.edu/~av72/papers/mereology.pdf> (última consulta: 29-12-2003).

WANG, D., HE, D.C., WANG, L., MORIN D. (1996) L'Extraction du Réseau Routier Urbain à Partir d'Images SPOT HRV. In: *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 17, n.º 4, pp. 827 – 833.

WELCH, R. (1982): Spatial Resolution Requirments for Urban Studies. In: *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 3, n.º 2, pp. 139 – 146.

WILLHAUCK, G. (2000) Comparison of Object Oriented Classification Techniques and Standard Image Analysis for the Use of Change Detection between SPOT Multispectral Satellite Images and Aerial Photos. In: *IAPRS*, Vol. XXXIII, Amsterdam, 2000, p. 8.
<http://www.definiens-imaging.com/documents/publications/willhauckisprs.pdf> (última consulta: 29-12-2003).