



Universidade de Coimbra
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Matemática

Dissertação de Mestrado em Engenharia Geográfica
2017/2018

**Geração automática de cartografia a grande escala de
impermeabilidade da superfície do solo em meio urbano**

Automatic large scale mapping generation of land surface impermeability
in urban areas

Graça Maria de Almeida Vidal

Orientação

José Paulo Elvas Duarte de Almeida
Rita Fernandes de Carvalho

Coimbra, 2018

Nota:

Este documento encontra-se redigido sem o Acordo Ortográfico de 1990.

Agradecimentos

A conclusão deste trabalho significa que mais uma longa etapa foi ultrapassada, com muitas dificuldades, mas também com muita perseverança.

Um agradecimento especial ao Professor José Paulo Elvas, pela confiança depositada, pela disponibilidade e sobretudo pelas palavras de incentivo. Mostrou-se um magnífico orientador a quem eu agradeço imenso!

Não posso deixar de agradecer também à Professora Rita Carvalho, pela sua excelente orientação e que me ajudou a conseguir as linhas orientadoras deste trabalho.

Um obrigado muito grande e especial ao meu marido pela paciência, pelo apoio e pelo carinho. Pela sua insistência constante a não desistir. Sem ele não teria conseguido concluir esta etapa.

À minha família e a todos aqueles que estiveram sempre ao meu lado durante esta jornada.

Dedico este trabalho às minhas meninas, que são um pedaço de mim e que nasceram durante este percurso académico.

Nº do aluno: 2010100861

Nome: Graça Maria de Almeida Vidal

Título da dissertação:

Geração automática de cartografia a grande escala de impermeabilidade da superfície do solo em meio urbano

Palavras-Chave:

- Cartografia de Ocupação do Solo
- Impermeabilidade
- Escoamento Superficial
- Nomenclatura
- Cartografia Vectorial

Resumo

A cartografia de ocupação do solo em meio urbano a grande escala é, ainda hoje, algo difícil de conseguir devido à complexidade e quantidade de objectos que compõem a cobertura do solo. Se se pretender efectuar uma classificação de impermeabilidade da superfície em meio urbano, a complexidade aumenta ainda mais dificultando assim a obtenção rápida, de forma automática e a baixo custo, da respectiva cartografia.

No presente trabalho foi desenvolvida uma metodologia que permita a classificação automática de cartografia de cobertura/ocupação do solo existente, independentemente da sua escala original, em termos de classes de impermeabilidade previamente estabelecidas para o efeito. Esta metodologia assenta numa nomenclatura o mais padrão possível e que foi obtida após alargado debate com especialistas de hidráulica urbana. A sua implementação foi feita com recurso ao Model Builder (do ArcGIS 10.4), no qual foi desenvolvido um algoritmo que permite fazer a correlação entre duas nomenclaturas – i.e. a de origem e a final.

Para avaliar os resultados obtidos, foi elaborada inicialmente uma cartografia de referência tomada como sendo a ideal para o objectivo pretendido e que foi obtida através da edição manual dos dados de origem. Com tal edição pretendeu-se, nomeadamente, que certas regras topológicas fossem verificadas e de modo a que todo o espaço geográfico a estudar se encontrasse correctamente cartografado. Desta forma, conseguiu efectuar-se uma avaliação dos resultados através de métodos de comparação visual.

Dados os vários métodos conhecidos que utilizam a detecção remota como ferramenta para a obtenção de cartografia em geral, foi elaborada uma “cartografia de impermeabilidade”, a título comparativo e sem significado quantitativo, tendo-se para isso utilizado uma classificação supervisionada de um ortofotomapa existente da área de estudo.

Esta metodologia revelou-se suficientemente flexível já que pode ser optimizada e alterada conforme os objectivos específicos do utilizador, permitindo bastante rapidez na obtenção de resultados a considerável baixo custo. Para o efeito foi usada a COS2010 para a área de estudo e para a região de Coimbra.

Abstract

Large scale urban land-cover cartography is, still difficult to achieve nowadays due to the complexity and quantity of objects that make up the urban fabric. If it is intended to perform a classification of surface impermeability in an urban environment, the complexity further increases making it awkward to obtain, in a quick and automatic way, associate low cost mapping.

In the present work a methodology was developed that allows the automatic classification of existing land cover maps, regardless of its original scale, in terms of classes of impermeability previously discussed and established for this purpose. This methodology is based on a nomenclature, which is as standard as possible, and has been obtained after extensive debate with urban hydraulics specialists. Its implementation was accomplished in Model Builder environment (from ArcGIS 10.4), in which an algorithm was developed enabling the correlation between two nomenclatures - i.e. the original one and the final one.

In order to evaluate results obtained, a reference map was initially elaborated for comparison purposes. The reference map was obtained through manual editing of original data available envisaging, for instance, some topological rules matching. A quality assessment was then undertaken through visual comparison methods.

Given the various methods available from the literature using remote sensing tools to obtain general mapping/cartography, "urban impermeability mapping" was carried out – for comparison purposes and without any quantitative relevance – using a supervised classification of an existing orthophoto of the study area.

This methodology has proved to be sufficiently flexible since it can be optimized and changed according to the specific user objectives, enabling low cost fast results. For this purpose, COS2010 (Portugal's master land-cover map) was used for the study area and for Coimbra region.

Índice

| | |
|--|-----------|
| Agradecimentos..... | ii |
| Resumo..... | iv |
| Abstract | v |
| Índice..... | vi |
| Índice de Figuras..... | viii |
| Índice de Tabelas | ix |
| Acrónimos | x |
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 1.1 Enquadramento | 1 |
| 1.1.1 Cheias urbanas..... | 1 |
| 1.1.2 Cobertura do Solo..... | 1 |
| 1.2 Motivação | 4 |
| 1.3 Objectivos..... | 4 |
| 1.4 Organização da dissertação..... | 5 |
| 2 ESTADO DA ARTE..... | 6 |
| 2.1 Impermeabilidade em zonas urbanas | 6 |
| 2.2 Cartografia | 7 |
| 2.3 Escalas | 8 |
| 2.4 Cartografias de Ocupação do Solo produzidas em Portugal..... | 8 |
| 2.4.1 CORINE Land Cover..... | 9 |
| 2.4.2 COS – Carta de Uso e Ocupação do Solo | 11 |
| 2.4.3 Projecto Landyn..... | 13 |
| 2.4.4 Land Cover Classification System (LCCS) | 15 |
| 2.4.5 PROJECTO COSMIC | 17 |
| 2.5 Detecção Remota na produção de Cartografia..... | 18 |
| 2.6 Cartografia versus Detecção Remota..... | 21 |
| 2.7 Considerações finais..... | 21 |
| 3 PRÉ – PROCESSAMENTO DOS DADOS | 22 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 3.1 | Escolha da área de estudo..... | 22 |
| 3.2 | Dados usados..... | 23 |
| 3.3 | Nomenclatura proposta..... | 24 |
| 3.4 | Tratamento dos dados..... | 31 |
| 3.4.1 | Uso de grelhas NTV2..... | 32 |
| 3.4.2 | Verificação topológica..... | 32 |
| 3.4.3 | Limpeza de erros e consistência lógica..... | 33 |
| 3.4.4 | Multicodificação..... | 35 |
| 3.4.5 | Classificação “Modelo” – Resultado..... | 36 |
| 4 | GERAÇÃO AUTOMÁTICA DE CARTOGRAFIA DE IMPERMEABILIDADE DO SOLO..... | 39 |
| 4.1 | Atribuição de classes de impermeabilidade às nomenclaturas da CLC e COS..... | 39 |
| 4.2 | Metodologia proposta de atribuição automática de graus de impermeabilidade a Cartografia Vectorial..... | 54 |
| 4.2.1 | Modelo de dados usados – Cartografia de Base..... | 56 |
| 4.2.2 | Modelo de dados – CLC e COS..... | 58 |
| 4.2.3 | Classificação supervisionada de ortofotomapa..... | 58 |
| 4.3 | Resultados obtidos..... | 60 |
| 5 | PROVA DO CONCEITO..... | 63 |
| 5.1 | Classificação Modelo versus Classificação de Impermeabilidade..... | 63 |
| 5.2 | Classificação Modelo e Classificação Matricial de Impermeabilidade..... | 66 |
| 5.3 | Discussão dos resultados..... | 70 |
| 6 | CONCLUSÕES..... | 71 |
| 6.1 | Considerações gerais..... | 71 |
| 6.2 | Recomendações futuras..... | 72 |
| | Referências..... | 73 |
| | Anexo I: Nomenclatura CLC..... | 75 |
| | Anexo II: Nomenclatura CLC e COS..... | 76 |
| | Anexo III: Classificação de Impermeabilidade COS2010..... | 80 |

Índice de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Efeito da urbanização nos processos hidrológicos (Butler, et al., 2000)..... | 6 |
| Figura 2 – Níveis de detalhe da nomenclatura hierárquica da COS2007 (Caetano, et al., 2008)..... | 12 |
| Figura 3 – Distribuição espacial das unidades amostrais LANDYDN em Portugal Continental (DGT, 2014). | 14 |
| Figura 4 – Método orientado a objectos para mapa de cobertura do solo (Di Gregorio, 2016)..... | 17 |
| Figura 5 – Carta de ocupação/uso do solo para 2005 (Caetano, et al., 2008)..... | 18 |
| Figura 6 – Carta Hidrográfica da cidade de Coimbra (Coimbra, 2005)..... | 22 |
| Figura 7 – Imagem aérea da área geográfica considerada. | 23 |
| Figura 8 – Dados de entrada em formato CAD..... | 30 |
| Figura 9 – Edição e adaptação da informação em camadas de informação de acordo com o uso/cobertura do solo..... | 31 |
| Figura 10 – Duplicação de informação com inconsistência posicional..... | 33 |
| Figura 11 – Erros de edição topológica <i>undershoot</i> e duplicação de informação..... | 33 |
| Figura 12 – Classificação Modelo resultante da classificação manual..... | 37 |
| Figura 13 – Classificação Modelo com os valores de impermeabilidade. | 38 |
| Figura 14 – Esquema de procedimentos para obtenção da nomenclatura de impermeabilidade numérica..... | 39 |
| Figura 15 – Tecido urbano contínuo e descontínuo (DGT, 2010)..... | 41 |
| Figura 16 – Esquema geral do procedimento de obtenção de cartografia de impermeabilidade do solo.... | 55 |
| Figura 17 – Diagrama de obtenção da cartografia de impermeabilidade do solo..... | 56 |
| Figura 18 – Funcionamento da ferramenta Erase..... | 57 |
| Figura 19 – Fluxograma do algoritmo de reclassificação de classes de impermeabilidade do solo. | 57 |
| Figura 20 – Fluxograma do algoritmo de reclassificação de classes de impermeabilidade do solo da COS. | 58 |
| Figura 21 – Áreas de treino..... | 59 |
| Figura 22 – Classificação de Impermeabilidade obtida pela metodologia proposta..... | 60 |
| Figura 23 – Classificação de Impermeabilidade para a COS 2010. | 61 |
| Figura 24 - Classificação Supervisionada com a atribuição das classes de Impermeabilidade..... | 62 |
| Figura 25 – Classificação Modelo..... | 63 |
| Figura 26 - Classificação de Impermeabilidade..... | 63 |
| Figura 27 – Gráfico dos resultados obtidos da classificação automática..... | 65 |
| Figura 28 – Classificação Modelo..... | 66 |
| Figura 29 – Classificação Matricial..... | 66 |
| Figura 30 – Conversão da Classificação Modelo para o formato Matricial..... | 68 |
| Figura 32 – Classificação Matricial..... | 68 |
| Figura 31 - Extracto do ortofotomapa de Coimbra..... | 68 |

Índice de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Características técnicas da CHA06_PT, CLC00_PT e CLC06_PT (Caetano, et al., 2009). | 10 |
| Tabela 2 – Exactidão temática global por nível de detalhe da nomenclatura para quatro COS. (DGT, 2018)..... | 12 |
| Tabela 3 - Nomenclatura final proposta das classes de cobertura e respectivo atributo de escoamento. | 26 |
| Tabela 4 – Especificação das classes de cobertura do solo para as áreas edificadas. | 28 |
| Tabela 5 - Especificação das classes de cobertura do solo para as áreas não – edificadas. | 29 |
| Tabela 6 – Regras topológicas aplicadas a polígonos. | 34 |
| Tabela 7 – Extracto com as nomenclaturas CLC, COS e classes de impermeabilidade (DGT, 2010) | 42 |
| Tabela 8 – Extracto com as nomenclaturas CLC, COS e classes de impermeabilidade (DGT, 2010). | 43 |
| Tabela 9 – Extracto com as nomenclaturas CLC, COS e classes de impermeabilidade (DGT, 2010). | 44 |
| Tabela 10 – Extracto com as nomenclaturas CLC, COS e classes de impermeabilidade (DGT, 2010). | 44 |
| Tabela 11 – Extracto com as nomenclaturas CLC, COS e classes de impermeabilidade (DGT, 2010). | 45 |
| Tabela 12 – Extracto com as nomenclaturas CLC, COS e classes de impermeabilidade (DGT, 2010). | 46 |
| Tabela 13 – Extracto com as nomenclaturas CLC, COS e classes de impermeabilidade (DGT, 2010). | 47 |
| Tabela 14 – Extracto com as nomenclaturas CLC, COS e classes de impermeabilidade (DGT, 2010). | 47 |
| Tabela 15 – Extracto com as nomenclaturas CLC, COS e classes de impermeabilidade (DGT, 2010). | 49 |
| Tabela 16 – Extracto com as nomenclaturas CLC, COS e classes de impermeabilidade (DGT, 2010). | 50 |
| Tabela 17 - Extracto com as nomenclaturas CLC, COS e classes de impermeabilidade (DGT, 2010). | 52 |
| Tabela 18 – Extracto com as nomenclaturas CLC, COS e classes de impermeabilidade (DGT, 2010). | 52 |
| Tabela 19 – Extracto com as nomenclaturas CLC, COS e classes de impermeabilidade (DGT, 2010). | 53 |
| Tabela 20 – Extracto com as nomenclaturas CLC, COS e classes de impermeabilidade (DGT, 2010). | 53 |
| Tabela 21 – Extracto com as nomenclaturas CLC, COS e classes de impermeabilidade (DGT, 2010). | 54 |
| Tabela 22 – Tabela de atributos da União das duas classificações: Modelo e automática..... | 64 |
| Tabela 23 – Resultados obtidos da classificação automática..... | 64 |
| Tabela 24 – Matriz de confusão da Classificação Supervisionada..... | 69 |
| Tabela 25 – Valores de exactidão e índice Kappa..... | 69 |

Acrónimos

ACEL – Associação das Empresas Produtoras de Pasta de Celulose

CLC – CORINE Land Cover

CNIG – Centro Nacional de Informação Geográfica

CORINE – COoRdination of Information on the Environment

COS – Cartografia de Ocupação do Solo

COSMIC – Cartografia multi – escala de Ocupação do Solo

DGT – Direcção Geral do Território

EEA – European Environment Agency

EIONET – European Environment Information and Observation Network

ETRS – European Terrestrial Reference System

FAO – Food and Agriculture Organization

IGP – Instituto Geográfico Português

LCCS – Land Cover Classification System

MDS – Modelo Digital de Superfície

MV – Máxima Verosimilhança

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

UMC – Unidade Mínima Cartográfica

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

1.1.1 Cheias urbanas

Em muitas cidades de Portugal, existe o problema de ocorrência de cheias e de inundações causado pelo dimensionamento deficiente dos factores de escoamento de águas pluviais em zonas de intensa urbanização e conseqüente aumento da impermeabilização.

A cidade de Coimbra, local onde se situa a área de estudo, é atravessada pelo rio com maior bacia hidrográfica totalmente compreendida em território Português. Esta cidade apresenta zonas de topografia irregular e uma elevada malha urbana. Estes factores associados a situações de elevada precipitação e a tipos de cobertura do solo, compostos por materiais mais ou menos permeáveis, favorecem o escoamento e conseqüentemente causam inundações com a rápida subida das águas em determinadas zonas.

Têm sido propostas várias técnicas para prever melhor cheias urbanas baseadas em diferentes abordagens. Destacam-se as técnicas baseadas em radares (Liguori, et al., 2014) ou na implementação de redes de udómetros. Esta última, baseia-se em sensores de precipitação (Simões, 2012) para a identificação de zonas onde a precipitação irá causar inundações, com uma antecipação de 30 a 45 minutos, permitindo assim accionar mecanismos de prevenção através de alertas emitidos para os bombeiros, protecção civil, entre outros. No entanto a avaliação de precipitação por si só não é suficiente, sendo necessária a caracterização da topografia e cobertura do solo. Deste modo é possível aumentar o grau de detalhe na previsão, i.e., é possível obter a informação das zonas onde o escoamento é feito com maior ou menor facilidade de acordo com o tipo de cobertura.

1.1.2 Cobertura do Solo

O solo tem sido objecto de vários estudos, no que diz respeito à geologia, declive, hidrologia, exposição solar, uso e ocupação do solo entre outros. Esta necessidade deve-se às constantes alterações resultantes de acções humanas na superfície terrestre e também na necessidade de ordenamento e gestão do território.

Normalmente, quando se fala em solo, fala-se inevitavelmente de uso e ocupação do solo. Muitas vezes os termos “uso” e “ocupação do solo” são referidos indiferenciadamente, contudo são nomenclaturas completamente distintas. “Ocupação do solo” refere-se a todos os objectos que ocupam a superfície terrestre, nomeadamente edifícios, superfícies impermeáveis, vegetação, corpos de água, linhas férreas, entre outros. Por sua vez, “uso do solo” refere-se ao desígnio dessa ocupação. Uma construção/edifício pode ser um edifício residencial, público, industrial ou empresarial ou ainda outro tipo de construção, i.e., serve para designar objectivamente a função do objecto ou do tipo de cobertura do solo em causa.

Neste contexto, o termo “cobertura do solo” será usado para descrever a ocupação do solo em termos de materiais ou objectos à superfície, permitindo assim uma distinção entre os termos “uso” e “ocupação” do solo, na medida em que interferem com os processos de infiltração do solo.

Para efeitos de obtenção de cartografia de impermeabilidade do solo, interessa saber à partida o tipo de cobertura do solo, uma vez que é possível a dedução mais explícita das classes de impermeabilidade do solo através dos diferentes tipos de materiais que compõem as diferentes coberturas.

O estudo da cobertura do solo permite obter um vasto leque de informações sobre os objectos existentes na superfície terrestre, dependendo do objectivo, nomeadamente dimensão, tipo de objecto, material constituinte do objecto, área, entre outros. Um dos resultados que se podem obter deste tipo de estudo pode ser traduzido numa base de dados espacial em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) com componente gráfica e alfanumérica do objecto onde todas as informações podem ser armazenadas, manipuladas e consultadas.

A cartografia de ocupação do solo em meio urbano tem sido alvo de estudo, de desenvolvimento e de aperfeiçoamento. Cada vez mais se tentam encontrar novas ferramentas e metodologias para automatizar o processo de classificação de imagens para obter cartografia de ocupação do solo em meio urbano o mais realista possível e em tempo reduzido. Claro está que este tipo de cartografia reflecte o que existe no momento da classificação e portanto a qualidade temporal dos dados pode ser perdida, considerando intervalos de tempo pré-definidos para estes casos, ou se as alterações de objectos forem consideráveis.

Por outro lado, a Direcção Geral do Território (DGT)¹ tem vindo a desenvolver metodologias para a obtenção de cartografia de uso e ocupação do solo, bem como a avaliação das metodologias aplicadas e dos dados de entrada usados. Como exemplo, é apresentada a Carta de Ocupação do Solo (COS) e a Carta CORINE Land Cover (CLC) (Caetano, et al., 2008) e que serão abordados no capítulo 2 deste trabalho.

Existem inúmeros estudos feitos sobre procedimentos ou metodologias aplicadas para a classificação de uso e ocupação do solo com recurso a imagens de satélite e dados auxiliares. Contudo, o volume de informação necessária para obter bons resultados tem o seu preço e requer sistemas de informação capazes de processar esse tipo de dados. É possível encontrar inúmeros estudos feitos com recurso à Detecção Remota, a partir de imagens ou fotografias aéreas, o que implica a análise de grandes áreas e consequentemente a escala de trabalho será menor. Contudo é difícil encontrar estudos, sobre cartografia de ocupação do solo, que incidam em escalas grandes, i.e., que permitam classificar informação de grande escala e com grande detalhe da cobertura do solo.

Neste sentido, com o objectivo de colmatar a investigação para a classificação de cobertura do solo a grande escala, foi elaborada uma classificação com base em cartografia pré-existente à escala 1/5000.

Supostamente seria uma tarefa simples, que pressupõe uma classificação simples de polígonos. Mas a tarefa torna-se mais complexa quando se verifica, na prática, que não é bem assim. Toda a cartografia produzida a nível municipal para uma determinada escala é realizada com o propósito de representar o que existe no terreno sem nenhum objectivo específico. Quando se trata de cartografia de ocupação do solo em meio urbano a grande escala, não interessa só a mera representação cartográfica de objectos, mas sim o tipo de cobertura do solo.

Neste sentido é necessário encontrar, para a escala e precisão necessárias numa zona urbana, um conjunto de classes que satisfaça as necessidades e que vá ao encontro do que já existe a nível nacional em condições semelhantes.

¹ Direcção Geral do Território é um serviço central integrado na administração directa do Estado e é responsável pela implementação de políticas públicas de ordenamento do território e de urbanismo, bem como a criação e manutenção de bases de dados geográficas. (nº 1 do artigo 17º do Decreto-Lei nº 7/2012).

1.2 Motivação

Este trabalho tem como objectivo último a definição de uma metodologia que permita inferir automaticamente classes de cobertura do solo em termos de diferentes níveis de impermeabilidade, a grande escala, em meio urbano.

O facto da área de estudo incidir numa zona urbana, foi considerada uma escala de trabalho da ordem de 1/5000 de modo a ser possível identificar todos os objectos com comprimento/largura igual ou superior a 1m.

1.3 Objectivos

O objectivo principal deste trabalho consiste na utilização de cartografia à escala 1/5000 existente em entidades públicas, como por exemplo Câmaras Municipais, adaptando as camadas de informação previamente existentes às classes de impermeabilidade urbana de acordo com o grau de escoamento das coberturas existentes.

Neste sentido, pretende-se desenvolver uma metodologia que permita a classificação da cobertura do solo de forma automática, em termos de impermeabilidade do solo e escoamento superficial, em meio urbano, a grande escala, recorrendo a informação cartográfica existente.

Pretende-se também propor uma nomenclatura que contemple classes de cobertura do solo independentes da escala e que servirão de base à implementação da metodologia. Faz parte ainda deste objectivo atribuir a cada uma destas classes um atributo de impermeabilidade meramente indicativo para fins de distinção de cada classe de acordo com os diferentes factores considerados, tendo em conta o comportamento do escoamento superficial (ver Capítulo 3.3).

Outro objectivo deste trabalho é a aplicação e transposição da nomenclatura proposta para outros tipos de cartografia existente. Para o efeito pretende-se desenvolver uma metodologia que, usando métodos empíricos, automatize todo o procedimento.

Finalmente, pretende-se ainda perceber se a metodologia proposta é de facto viável, expedita e exacta, tendo como base uma cartografia de ocupação do solo “modelo”, ou seja, cartografia que supostamente está bem classificada de acordo com uma nomenclatura considerada “ideal” para este tipo de escala e objectivos (ver Capítulo 5).

Assim pode ser atribuído um coeficiente de impermeabilidade a cada classe de cobertura e, conjugando com o tipo de solo e declive, pode-se chegar a coeficientes de escoamento. Os métodos semi-empíricos que se baseiam geralmente no coeficiente de escoamento, na precipitação e área da bacia hidrográfica podem ser aplicados automaticamente.

1.4 Organização da dissertação

Este trabalho encontra-se organizado em seis capítulos. No capítulo 2 é feita uma revisão do estado da arte no que respeita ao desenvolvimento de metodologias para a elaboração de cartografia de ocupação do solo produzidas em Portugal. É feita uma ligeira abordagem sobre alguns temas que interferem de alguma forma na elaboração de cartografia ou que estão relacionados com o propósito deste trabalho nomeadamente, a impermeabilidade em zonas urbanas, cartografia e escalas. Uma vez que existe uma grande quantidade de informação sobre a produção de cartografia usando a Detecção Remota, achou-se pertinente abordar esse tema e fazer uma breve comparação com os métodos clássicos de produção de cartografia a nível de resultados.

No capítulo 3 é descrito todo o trabalho desde a preparação dos dados disponibilizados, bem como a nomenclatura proposta até ao processamento dos dados. É neste capítulo que se descreve o início da arquitectura da metodologia proposta e se apresenta uma classificação “Modelo” que servirá de comparação com os resultados obtidos *a posteriori* pela implementação da metodologia. No capítulo 4 são descritos os procedimentos de implementação da metodologia e sua aplicação para a cartografia COS2010. É ainda elaborada uma classificação matricial para comparação de resultados.

No capítulo 5 é descrita a prova do conceito, i.e. é feita a comparação dos resultados obtidos pela implementação da metodologia com a classificação “Modelo” inicialmente apresentada. Neste capítulo é ainda feita uma breve discussão dos resultados. No último capítulo, são retiradas as conclusões de todo o trabalho e sugeridos procedimentos futuros para a maximização do processo.

2 ESTADO DA ARTE

Este capítulo apresenta conceitos de impermeabilização em zonas urbanas, cartografia e uma pesquisa sobre algumas metodologias aplicadas na classificação do uso e ocupação do solo e posteriormente uma pesquisa sobre nomenclatura de classes usadas na cartografia de ocupação do solo a nível nacional e definidas por entidades oficiais.

2.1 Impermeabilidade em zonas urbanas

O aumento da densidade populacional leva a que o território seja urbanizado (solo ocupado com diferentes materiais de construção), i.e. ocorre alteração da ocupação do solo, interferindo com o processo de infiltração natural do solo. Em detrimento da infiltração, essas alterações tornam a zona mais impermeável devido à natureza dos materiais usados nas construções de edifícios, estradas de acesso, passeios, entre outros, fazendo com que o escoamento superficial aumente (Butler, et al., 2000), como exemplificado na Figura 1(b). As figuras 1(a) e 1 (b) ilustram a capacidade e diferenças de infiltração da água antes e após a urbanização respectivamente. Este efeito pode ser a causa de agravamento de inundações em situações de precipitação intensa.

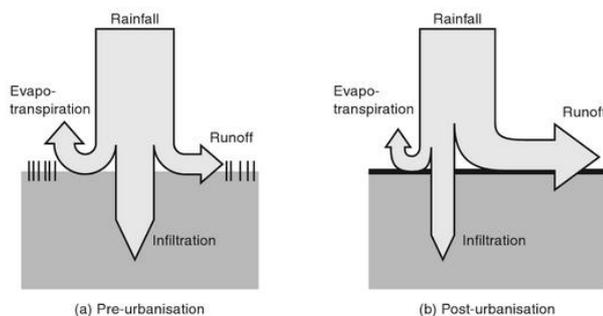


Figura 1 – Efeito da urbanização nos processos hidrológicos (Butler, et al., 2000).

O facto de existirem muitas inundações nas zonas mais baixas da cidade de Coimbra pode ser justificado por estar em zonas de mudança de declive, i.e. as zonas baixas mais planas encontram-se a jusante de zonas com declives maiores onde o escoamento é por conseguinte mais rápido para as zonas de cotas baixas. Em outras zonas urbanas costeiras, a ocorrência pode ser também agravada em preia-mar por dificultar o escoamento para jusante.

Com a finalidade de prever a ocorrência de inundações no sentido de poder minimizar os seus efeitos negativos em épocas de elevada precipitação, é importante saber o tipo de cobertura

do solo existente. A melhor forma de representação deste tipo de informação é através de cartografia onde é possível classificar a informação através de classes de cobertura do solo. Estas classes por sua vez permitem agrupar tipos de ocupação semelhantes ou de grau de impermeabilidade semelhantes, como é o caso deste trabalho, e que podem ser distintas de acordo com grau de detalhe considerado (escala) ou com o objectivo pretendido da cartografia.

2.2 Cartografia

Não há uma definição específica para Cartografia, contudo a Associação Cartográfica Nacional aprovou uma definição tradicional em 1967 e publicada em 1973: “ Conjunto de estudos e operações científicas, técnicas e artísticas que intervêm a partir dos resultados das observações directas ou da exploração de documentação variada, com vista à elaboração e obtenção de mapas, plantas e outros modos de expressão, assim como da sua utilização.” (Dias, 2007).

Contudo, a cartografia pode ser definida de uma forma mais generalista como sendo a ciência que trata da concepção, produção, difusão e utilização de cartas obtidas com recurso à informação resultante de processos topográficos. Por sua vez, a topografia é a ciência que se ocupa da observação e representação local da superfície terrestre. Estas duas ciências são fundamentais para a representação de todos os objectos que existem na superfície terrestre, segundo uma escala e uma projecção, num plano organizado (Gaspar, 2004).

A representação planimétrica da superfície terrestre é a forma mais cómoda e sugestiva de representar graficamente o ambiente geográfico, traduzindo a forma como as entidades geográficas se distribuem à superfície da terra, numa determinada área, ilustrando as relações topológicas entre elas. Este tipo de representação pode ser feito em mapa ou carta, sendo que um mapa contempla representações topológicas das entidades à superfície terrestre sem qualquer métrica e uma carta permite ter uma métrica bem definida, onde é possível medir ângulos e distâncias. Neste sentido, a Cartografia é todo o processo que permite a produção e estudo de cartas sob todos os aspectos, mostrando-se um meio importante e eficiente de manipular, analisar e exprimir ideias, formas e relações que ocorrem num espaço bi e tridimensional (Almeida, 2011).

A cartografia tem uma importância vital para a gestão do território e para as tomadas de decisão. Hoje em dia, com a evolução dos sistemas informáticos, a informação geográfica de um

determinado local já se encontra, na sua maioria, no formato digital, o que facilita a consulta e a manipulação da informação de acordo com os propósitos da pesquisa.

2.3 Escalas

A escala é um factor fundamental na diferenciação de objectos no espaço, uma vez que a sua dimensão pode ser motivo para a escolha ou exclusão de elementos. Normalmente, a escolha da escala depende sobretudo dos pressupostos do trabalho e consequentemente dos objectos que têm interesse ou não a representar.

Quanto maior for o detalhe representado, ou seja, quanto menor for o número de objectos sujeitos a representação, maior é a escala. Para escalas menores, é obtido um menor detalhe dos objectos, mas é obtido uma maior quantidade de objectos representáveis de maiores dimensões. No caso de se pretender representar objectos de menores dimensões, nomeadamente postes de iluminação, sarjetas, caixotes de lixo, entre outros, então a escala a escolher deve ser grande, de modo a que o detalhe pretendido seja possível de representar.

2.4 Cartografias de Ocupação do Solo produzidas em Portugal

Nos últimos anos, entidades nacionais e europeias têm feito esforços e tomado iniciativas para desenvolver cartografia de uso e ocupação do solo que possa responder a desafios nas áreas de monitorizações ambientais, ordenamento do território, a nível político, económico ou até social. Embora este tipo de cartografia retracte o momento temporal da sua elaboração e seja necessária a sua constante actualização, a sua importância torna-se muito significativa no que diz respeito a avaliação de diversas situações, nomeadamente: erosão do solo, impermeabilidade, planeamento urbano, entre muitas outras.

A Direcção-Geral do Território (DGT), anteriormente designado por Instituto Geográfico Português (IGP), é o organismo público nacional responsável pela criação e manutenção das bases de dados geográficas de referência, nomeadamente o Sistema Nacional de Informação Geográfica, o Sistema Nacional de Informação Territorial e o Sistema Nacional de Exploração e Gestão de Informação Cadastral e ainda a manutenção da rede geodésica nacional e a produção de cartografia nacional de referência. Neste sentido, este organismo tem vindo a desenvolver várias iniciativas no

que diz respeito à produção de cartografia temática de ocupação/uso do solo para o território Português. O programa CORINE Land Cover (CLC) 2006 e Carta de Ocupação do Solo (COS) 2005 são duas recentes iniciativas da DGT que é ainda o *National Reference Center on Land Use and Spatial Information* da Rede Europeia de Observação e Informação do Ambiente (*European Environment Information and Observation Network – EIONET*), da Agência Europeia do Ambiente (*European Environment Agency – EEA*), (Caetano, et al., 2008).

Segundo a Memória Descritiva publicada em Dezembro de 2010 pelo Instituto Geográfico Português (IGP), as principais fontes de informação cartográficas de ocupação/uso do solo disponibilizadas para Portugal Continental são:

- COS'90 (Carta de Ocupação do Solo de 1990), produzida na época pelo Centro Nacional de Informação Geográfica (CNIG), posteriormente integrado no IGP, em conjunto com a Associação das Empresas Produtoras de Pasta de Celulose (ACEL), à escala de 1:25 000.
- COS2007, que resulta da actualização da COS'90 e introduz uma série de alterações significativas a nível da nomenclatura utilizada, metodologias e regras de produção cartográfica.
- CORINE Land Cover (CLC) para as datas 1985/86/87 (CLC90), para 2000 (CLC2000) e para 2006 (CLC2006).

Actualmente já foram lançadas novas actualizações para COS, nomeadamente a COS2010 e COS2015.

2.4.1 CORINE Land Cover

O programa CORINE (*COoRdination of Information on the Environment*) foi criado em 1985 pela Agência Europeia do Ambiente (EEA – *European Environment Agency*) com o intuito de desenvolver um sistema de informação geográfica sobre o estado do ambiente a nível nacional para os países envolvidos (Heymann, et al., 1994). Por sua vez, o projecto CORINE Land Cover teve como principal objectivo a produção de cartografia de ocupação/uso do solo.

Como já foi referido anteriormente, as cartas disponíveis para Portugal Continental são CLC90, CLC2000 e CLC2006 e foram produzidas com recurso a imagens de satélites dos respectivos anos das cartas com uma resolução espacial de 20 metros. Esta cartografia está em

formato vectorial, tem o espaço dividido em polígonos e não contempla elementos lineares ou pontuais (DGT, 2010), a uma escala de 1/100000 e uma unidade mínima cartográfica (UMC) de 25 ha (Caetano, et al., 2008). Este tipo de produtos estão divididos segundo uma nomenclatura hierárquica, organizada em três níveis com 44 classes ao nível mais detalhado.

A CLC2006 apresenta uma precisão geométrica melhor do que 100 m, com precisão global estimada de 90.2%, com uma precisão absoluta de 1.3% com um nível de confiança de 95% e uma exactidão temática superior a 85% (Caetano, et al., 2009). Estes valores podem ser consultados na Tabela 1.

Tabela 1 – Características técnicas da CHA06_PT, CLC00_PT e CLC06_PT (Caetano, et al., 2009).

| | CHA06_PT | CLC00_PT | CLC06_PT |
|------------------------------------|--|------------------|------------------|
| Scale | 1: 100 000 | 1: 100 000 | 1: 100 000 |
| Minimum Mapping Unit (MMU) (ha) | 5 | 25* | 25* |
| Minimum distance between lines (m) | 100 | 100 | 100 |
| Format | Vector | Vector | Vector |
| Nomenclature | Code 2000; Code 2006 | CLC nomenclature | CLC nomenclature |
| Geometric accuracy | Better than 100m | Better than 100m | Better than 100m |
| Thematic Accuracy | --- | ≥ 85% | ≥ 85% |
| Coordinate reference system | Datum: ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989) Alias: ETRS89 / PT-TM06 Ellipsoid: GRS80 (New International) Projection: Transverse Mercator Central Meridian: 08° 07' 59", 19 W Latitude of Origin: 39° 40' 05", 73 N Linear Unit: Metre (1,0) Scale Factor: 1,0 False Easting: 0 False Northing: 0 | | |

*The MMU is 25 ha except for polygons intersected by the Portugal-Spain border.

Com o passar do tempo é necessário actualizar a cartografia de uso e ocupação do solo e por isso em 2013 foi preparada a CLC2012, baseada na interpretação visual de imagens de satélite provenientes dos satélites SPOT-4 e IRS P6, sob a coordenação da Agencia Europeia de Ambiente e execução técnica da Direcção Geral do Território.

Neste processo de actualização são integradas a verificação e melhoria dos níveis de elevada resolução (*High Resolution Layers*), ou seja, são verificadas e melhoradas as camadas de cobertura do solo para os temas: impermeabilidade, densidade de coberto florestal, tipo de floresta, zonas húmidas e corpos de água, para uma escala nominal de 1/100 000 sendo a unidade mínima

cartográfica (UMC) de 25 ha para o produto final CLC 2012 e de 5 ha para as alterações 2006-2012.

A nomenclatura da CLC2012 é mantida relativamente à CLC2006, isto é, tem 44 classes agrupadas em 3 níveis de detalhe, como pode ser visualizado na figura do Anexo II.

Estas informações podem ser consultadas na página oficial da Direcção Geral do Território (www.dgterritorio.pt), bem como informações adicionais sobre este tipo de produtos.

2.4.2 COS – Carta de Uso e Ocupação do Solo

A carta de Uso e Ocupação do Solo para Portugal Continental, como já foi referido anteriormente, foi produzida no ano de 1990 (COS'90) à escala de 1:25 000 com o objectivo de obter informação gráfica e numérica sobre a ocupação do solo para território nacional. Posteriormente esta edição foi actualizada para a COS2007 e, conseqüentemente foram introduzidas alterações a nível de metodologias, regras de produção cartográfica e também a nomenclatura usada (DGT, 2010). O único aspecto que foi mantido entre as duas séries foi a interpretação de imagens aéreas, mas com a particularidade de serem ortorrectificadas, garantindo assim uma maior exactidão posicional da própria cartografia. Outro aspecto que melhorou a qualidade radiométrica das imagens foi o facto de as imagens terem sido adquiridas com máquina fotográfica tradicional, permitindo uma identificação da ocupação do solo mais correcta.

Segundo a Memória Descritiva para a COS2007 produzida pelo IGP, a nomenclatura da COS2007 é hierárquica com 5 níveis e tem 225 classes de ocupação/ uso do solo ao nível mais detalhado (**Erro! A origem da referência não foi encontrada.**). As classes dos primeiros três níveis são semelhantes às classes da nomenclatura CLC. Como foi referido no ponto 2.4.1, a nomenclatura CLC tem apenas três níveis hierárquicos que representam a variedade da paisagem em 44 classes (Bossard, et al., 2000), permitindo assim a integração da cartografia nacional com a cartografia internacional.

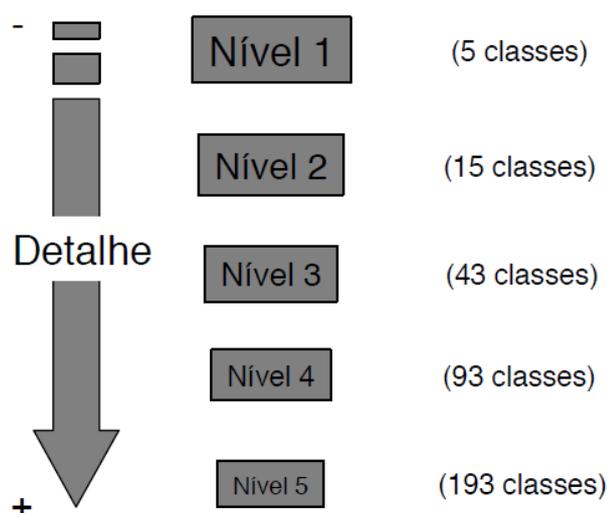


Figura 2 – Níveis de detalhe da nomenclatura hierárquica da COS2007 (Caetano, et al., 2008)

A COS2007 é um produto de referência na Europa e em Portugal, em ocupação/ uso do solo, uma vez que a sua nomenclatura é compatível com a nomenclatura da CLC. Salienta-se também que a COS2007 foi produzida no sistema de referência ETRS89 (*European Terrestrial Reference System 1989*) o que facilita a compatibilização e a exactidão da informação produzida a nível nacional com outra produzida a nível europeu.

A exactidão global estimada para a COS2007 é de 85.13% com um intervalo de confiança entre 83.14% e 87.13% (Memória Descritiva COS2007, IGP, 2007).

Os valores das exactidões temáticas globais da COS1995, COS2007, COS2010 e COS2015, para os cinco níveis de detalhe da nomenclatura, com um erro de 2% para um nível de confiança de 95%, encontram-se na tabela 1 (DGT, 2018).

Tabela 2 – Exactidão temática global por nível de detalhe da nomenclatura para quatro COS. (DGT, 2018).

| Nível de detalhe da nomenclatura | COS1995v1.0 | COS2007v2.0 | COS2010v1.0 | COS2015v1.0 |
|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Nível 1 | 95 | 97 | 97 | 96 |
| Nível 2 | 86 | 92 | 91 | 90 |
| Nível 3 | 83 | 87 | 86 | 88 |
| Nível 4 | 81 | 83 | 81 | 88 |
| Nível 5 | 79 | 79 | 76 | 83 |

2.4.3 Projecto Landyn

O projecto Landyn surgiu com a necessidade de avaliar as alterações e evoluções ocorridas a nível de uso e ocupação do solo num determinado território e período de tempo, já que o uso e a ocupação do solo, como já foi referido anteriormente, são susceptíveis de modificações e alterações constantes quer ao nível do tempo e do espaço.

Estas alterações podem colocar em causa a sustentabilidade do ordenamento do território, principalmente quando as alterações se referem à construção de grandes infra-estruturas, tornando as alterações irreversíveis.

O projecto Landyn foi desenvolvido pela Direcção Geral do Território com o propósito de avaliar as modificações do uso e ocupação do solo ocorridas Portugal Continental durante 1980 e 2010. Foi usado um método considerado inovador que se baseia em cartografia amostral e que permitiu obter resultados que demonstraram grandes transições durante o período de tempo considerado. Uma das alterações referenciadas no artigo intitulado “*A importância da avaliação das transições de uso e ocupação do solo na compreensão da evolução da paisagem*” destaca a modificação da paisagem no que respeita à perda de área agrícola, devido ao abandono da actividade agrícola, o aumento de solos ocupados por matos, baldios ou floresta. Este projecto permite assim perceber se um determinado tipo de cobertura do solo está a aumentar ou a diminuir, identificando os tipos de uso e ocupação do solo onde se está a perder ou a ganhar área.

A equipa de investigação deste projecto usou um processo de amostragem baseado numa malha de amostragem (DGT, 2014), ou seja, foram distribuídas 1279 unidades amostrais aleatoriamente pelo território português (Figura 3).

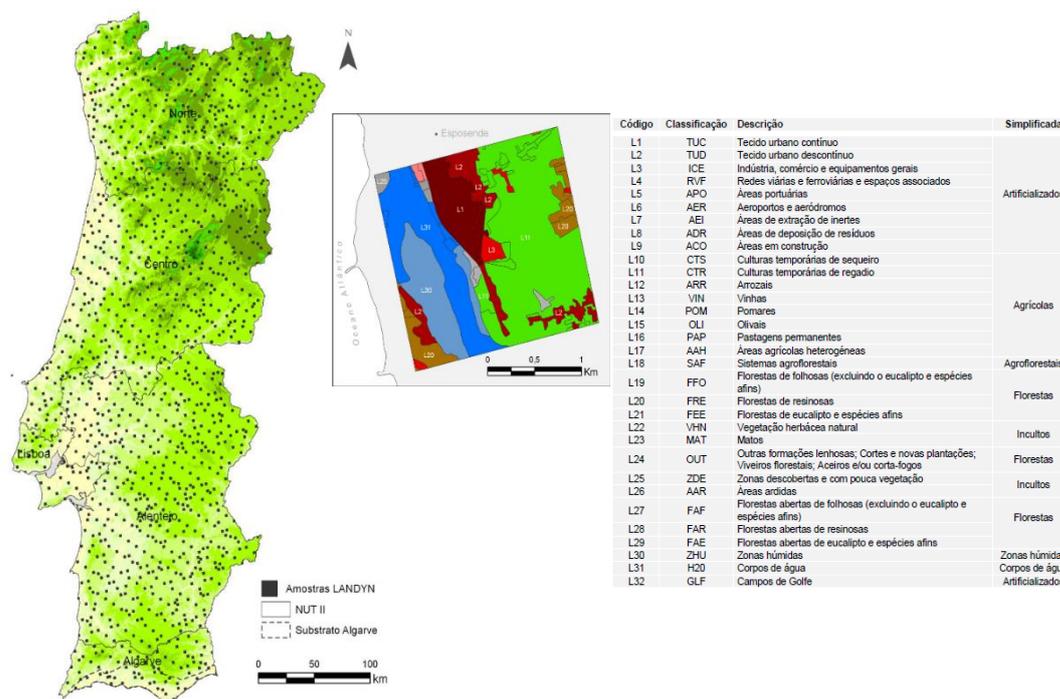


Figura 3 – Distribuição espacial das unidades amostrais LANDYD em Portugal Continental (DGT, 2014).

A nomenclatura adoptada no projecto mencionado foi a mesma da COS, uma vez que esta temática já tinha sido desenvolvida pela DGT. Na figura anterior podem ser visualizadas as classes de uso e ocupação do solo usadas neste projecto, mais concretamente 32 classes agrupadas em 7 classes.

O desenvolvimento da informação foi feito por etapas, nomeadamente:

- Fotointerpretação e vectorização de informação auxiliar existente na DGT e disponível de outras instituições com o objectivo de produzir cartografia para que fosse possível monitorizar áreas abrangidas pela desflorestação, florestação, gestão florestal, gestão agrícola e gestão de pastagens relacionadas com o cumprimento do protocolo de Quioto;
- Correção e validação temática para avaliar quais as classes com maior dificuldade / facilidade de identificação, bem como avaliar a exactidão temática de modo a perceber a se os dados que compõem as Cartas de Uso e Ocupação do Solo possuem uma exactidão global inferior à desejada.
- Harmonização e partilha de dados tendo em conta a Directiva INSPIRE de modo a que estes possam ser publicados em serviços Web, permitindo a partilha de informação com a comunidade de utilizadores.

Para além da elaboração de metodologias capazes de avaliar o uso e ocupação do solo em diferentes épocas, a equipa de investigação do projecto LANDYN caracterizou o uso e ocupação do solo por regiões (NUT II) e procedeu às respectivas análises das transições de uso e ocupação do solo. Foi preocupação desta equipa identificar as principais forças motrizes quer em termos de políticas públicas na alteração do solo, como em termos de abordagem quantitativa. Fez parte dos objectivos da equipa de investigação deste projecto estimar os gases com efeito de estufa através de valores de emissão e remoção CO₂ associados às alterações do uso e ocupação do solo relativamente ao sector Alterações do Uso do Solo e Florestas, bem como as respectivas estimativas de erro.

O projecto LANDYN teve como propósito último a obtenção de resultados para a previsão de alterações futuras a nível de uso e ocupação do solo, com recurso a cadeias de Markov (DGT, 2014) pressupondo que as alterações são estacionárias ao longo do tempo. Desta forma é possível extrapolar os resultados obtidos para todo o território nacional, dentro dos limites de confiança previstos no processo de amostragem (95%). No entanto é necessário ter especial cuidado com o usos desse modelo, uma vez que as cadeias Markov não incorporam a autocorrelação espacial para prever alterações futuras sendo necessário combinar as transições de Markov com modelos espacialmente explícitos (Cabral, et al., 2009).

2.4.4 Land Cover Classification System (LCCS)

A Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), tem contribuído desde 1996 para a melhorar a nomenclatura dos dados no que diz respeito à vegetação e cobertura do solo em parceria com outras iniciativas internacionais sobre classificação de cobertura do solo. Para a elaboração e discussão de um novo conjunto de conceitos foi criado um grupo de trabalho internacional Africover. A primeira versão oficial do sistema de classificação de cobertura do solo (LCCS) foi publicada em 2000 e em 2005 foi publicada uma segunda versão desenvolvida com base num parecer internacional que englobou uma grande comunidade a nível global.

Este sistema permite criar um conjunto de atributos padrão, chamados de classificadores, que permitem descrever diferentes classes de cobertura do solo e que actuam como “blocos de construção” padronizados e que podem ser combinados para descrever a semântica mais complexa de cada classe de cobertura do solo em qualquer sistema de classificação (Di Gregorio, 2016).

Este projecto assenta no pressuposto de que um conjunto de atributos claramente definidos e quantificados se sobrepõe à descrição de uma determinada classe, ou seja, o nome de uma classe não é importante, mas sim a sua definição em termos de atributos (Di Gregorio, 2016). Em 2003, este projecto foi submetido ao Comité Técnico da ISO, como contributo para o estabelecimento de uma norma internacional para os sistemas de classificação de cobertura do solo, resultando o desenvolvimento de uma norma para abordar os sistemas de classificação em geral (Sistemas de Classificação ISO 19144-1). Para além da norma referida anteriormente foi também desenvolvida e aprovada a norma ISO 19144-2 para a cobertura do solo em Metalinguagem (LCML). Segundo Di Gregorio, a metalinguagem é uma poderosa ferramenta na caracterização geográfica da superfície terrestre dado que a sua estrutura intrínseca orientada a objectos não só permite uma descrição inequívoca de características da cobertura do solo mais consistentes com a lógica e estrutura de bases de dados modernas, mas também permite ampliar a capacidade do sistema para descrever fenómenos relacionados a insumos e actividades realizadas numa determinada cobertura do solo e que é uma característica típica da agricultura. Este autor define o LCML como sendo um conjunto predefinido de elementos básicos (cobertura vegetal e cobertura não vegetal) e suas propriedades com características de “elemento” e “classe” e que podem ser dispostos em diferentes tipos de padrões verticais e horizontais para descrever uma grande variedade de situações distintas e detalhadas de cobertura do solo. A Figura 4 ilustra o método orientado a objectos para planear a cobertura de terras de acordo com a FAO/GLCN (Di Gregorio, 2016).

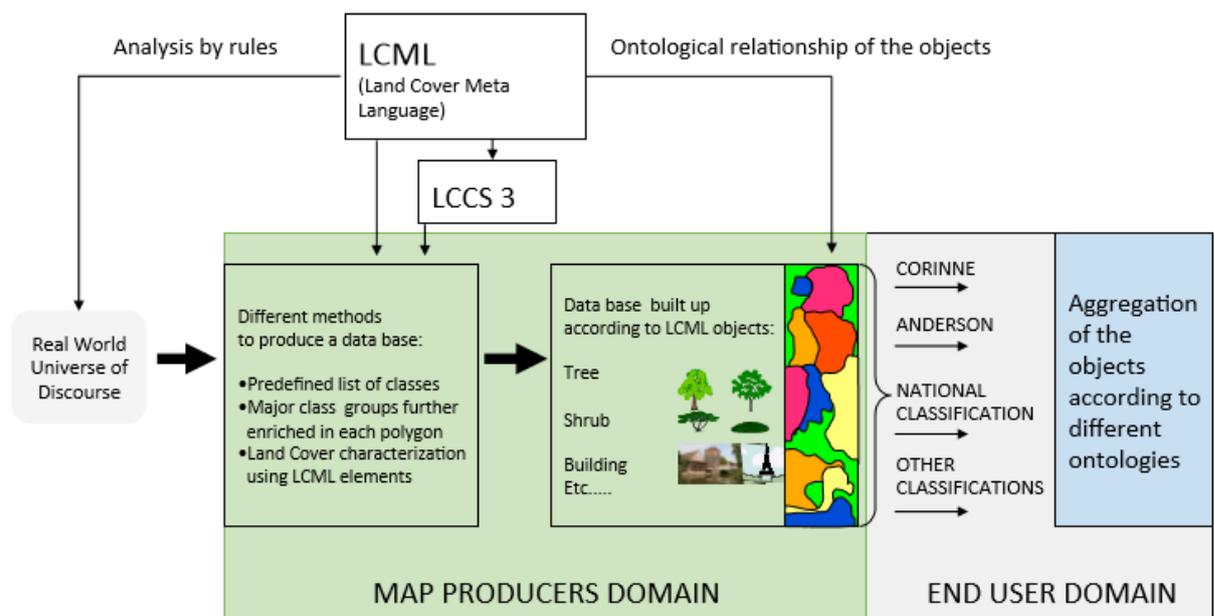


Figura 4 – Método orientado a objectos para mapa de cobertura do solo (Di Gregorio, 2016).

2.4.5 PROJECTO COSMIC

O projecto COSMIC teve início em Janeiro de 2006 e foi desenvolvido pelo IGP com o intuito de desenvolver metodologias automáticas para a produção de cartografia multi – escala de ocupação /uso do solo, tendo por base imagens de satélite (Caetano, et al., 2008). Neste âmbito foram perspectivadas dois tipos de cartas com periodicidade e características técnicas diferentes, embora com detalhe menor temático relativamente à COS ou mesmo à CLC. Uma das cartas prevista teria uma produção anual com menor detalhe temático cujo produto final apresentaria uma resolução de 300 m dado que foi produzido tendo por base imagens de satélite de resolução moderada. A outra carta teria uma produção menos frequente, mas ainda assim mais frequente que a COS ou mesmo a CLC e apresentaria um produto final matricial com resolução espacial aproximada de 50 m, sendo este derivado de imagens de satélite de alta resolução (Caetano, et al., 2008).

Para além da produção das cartas referidas anteriormente, o gabinete de Detecção Remota do projecto COSMIC desenvolveu metodologias para a produção de um mapa de ocupação/uso do solo para Portugal Continental, obtido a partir da classificação automática de imagens MERIS adquiridas nos anos de 2005 e 2006, com uma resolução espacial nominal de 300 m. Das 4 fases de produção deste mapa salienta-se para o efeito desta dissertação, a fase de desenvolvimento da nomenclatura de ocupação/uso do solo da qual resultaram 16 classes, com carácter hierárquico, desenvolvida pelo gabinete de Detecção Remota usando o Land Cover Classification System (LCCS), abordado anteriormente neste documento.

A Figura 5 ilustra carta de ocupação/uso do solo para 2005 produzida por processamento automático de série multi – temporais de imagens MERIS e respectiva nomenclatura (Caetano, et al., 2008).

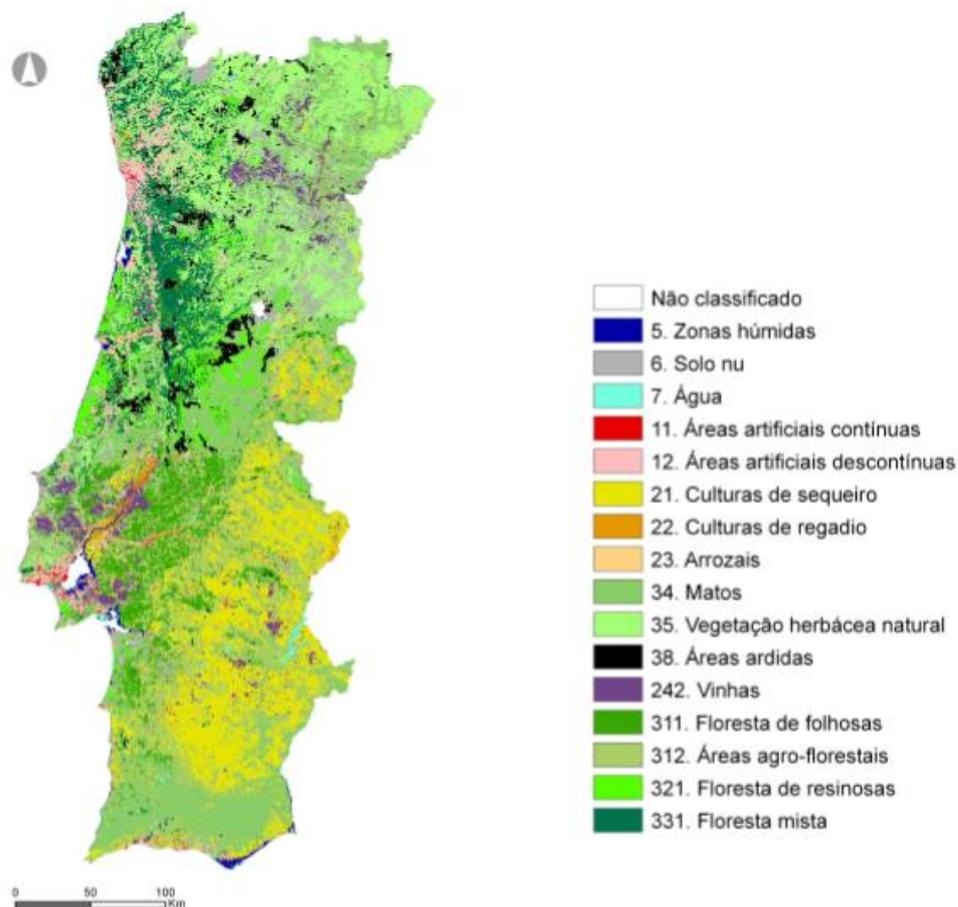


Figura 5 – Carta de ocupação/uso do solo para 2005 (Caetano, et al., 2008).

2.5 Detecção Remota na produção de Cartografia

Entende-se por Detecção Remota (DR) como sendo um conjunto de técnicas de aquisição de informação a partir de imagens obtidas por sensores instalados em aeronaves ou satélites. Actualmente, a Detecção Remota é usada para os mais variados fins, no âmbito da cartografia, ordenamento do território, aplicações militares, monitorização de fenómenos ambientais, entre outros (Gaspar, 2004).

No âmbito da cartografia de ocupação do solo, existe um vasto leque de estudos que aplicam diferentes classificadores e diferentes metodologias. O uso de imagens aéreas ou imagens de satélite são algumas soluções encontradas para obter cartografia de Ocupação / Uso do Solo de forma mais célere e eficaz para determinados fins e consequentemente para determinadas escalas a baixo custo.

Em 2005, (Rocha) defendeu uma metodologia, no âmbito da detecção remota e dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para a produção de cartografia de ocupação e uso do solo que incorpora dados auxiliares em todas as etapas da classificação por níveis, que consegue melhores resultados que os classificadores clássicos, nomeadamente: Mínima Distância, Paralelepípedo e Máxima Verosimilhança (MV). Esta metodologia foi desenvolvida com recurso a dados provenientes dos Censos e da Detecção Remota e testada numa área de 2,3 km por 4km no concelho de Oeiras.

Entre outros estudos elaborados na produção de cartografia com recurso à Detecção Remota podem ser destacados os trabalhos realizados no âmbito da cartografia de ocupação do solo com imagens MERIS (Bandeira, 2007) e o trabalho realizado no âmbito da Detecção Remota em Meio Urbano (Crisógono, 2011).

O estudo elaborado pelo Pedro Bandeira (Bandeira, 2007) faz uma abordagem exploratória de utilização de uma série temporal intra-anual com três, quatro e cinco imagens do sensor MERIS, na qual fez uma avaliação da sua adequabilidade para a produção de cartografia de ocupação do solo com o detalhe necessário para a legenda LANDEO simplificada com 19 classes, baseado numa classificação não assistida. A presente metodologia revelou uma qualidade dos resultados insuficiente para as 19 classes do LANDEO, conseguindo exactidões globais de 62.3% para a classificação de 17 classes e 43.5% para o mapa. Com a agregação das classes de ocupação do solo tematicamente mais próximas para 12, foram obtidas exactidões globais de 71.8% para a classificação e 50.3% para o mapa.

Paulo Crisógono (Crisógono, 2011), por sua vez elaborou um estudo que permite analisar os métodos de classificação pixel-a-pixel no que diz respeito à sua adequabilidade na produção de geoinformação de qualidade. Para este efeito foram usadas imagens de alta resolução provenientes do satélite QuickBird de modo a desenvolver um processo de classificação de meio urbano. No seu trabalho aborda dois procedimentos de classificação: por níveis temáticos e por classes. Na primeira abordagem faz a avaliação da exactidão global dos níveis com diferentes classificadores seleccionando as classificações com melhores resultados de exactidão e que vão servir como máscaras para a classificação de classes dos níveis subsequentes. Na segunda abordagem, este autor utiliza como análise a própria classe, em que a escolha incide na melhor exactidão do utilizador referente a cada classe excluindo a exactidão global do nível. As classes com melhores resultados são usadas como máscaras para as classes dos níveis seguintes. Com este tipo de estudo, o autor consegue comparar estas duas metodologias, salientado que em ambas são conseguidas exactidões

semelhantes. Quando comparadas com a classificação directa de classes mais discriminantes, nomeadamente com o classificador Máxima Verosimilhança, método este que obteve melhor exactidão global, o autor conclui que não existe uma clara vantagem na aplicação destes procedimentos. Contudo, esta conclusão pode ser discutível uma vez que existiram problemas de sobreposição de classes quando estas classes resultaram de classificadores diferentes e que tiveram que ser solucionados, diminuindo a exactidão global das mesmas.

Os autores (Caetano, et al., 2002) num documento produzido sobre o estado da arte da cartografia de ocupação do solo com imagens de satélite, procura abordar vários aspectos que envolvem a produção de cartografia com recurso à Detecção Remota no que diz respeito às metodologias usadas, programas operacionais, investigação e desenvolvimento em exploração de imagens de satélite. Este autor defende que *“O sucesso da utilização das imagens em cartografia temática depende não só da adequabilidade das imagens escolhidas para a produção cartográfica com determinadas especificações técnicas (i.e., escala, unidade mínima, nomenclatura), mas também da metodologia, características da área de estudo, e do maior ou menor sucesso da redução de perturbações introduzidas pela atmosfera e topografia”*.

Em suma, Caetano et al. (2002) concluem que a produção de mapas temáticos, como por exemplo mapas de cartografia de ocupação do solo, usando imagens de satélite, pode ser uma tarefa dispendiosa, lenta e subjectiva. Este cenário deve-se ao facto de se usar procedimentos automáticos na interpretação das imagens que apesar de serem os mais indicados na produção de cartografia ainda não são autónomos, sendo necessária uma grande intervenção humana, dado que os mapas produzidos não apresentam a qualidade necessária para serem usados como instrumentos de planeamento. A inadequabilidade da estrutura das imagens, a estrutura espacial das classes de ocupação do solo e as limitações dos métodos usados na produção da cartografia, são alguns obstáculos para a solução do problema. Contudo, a maior parte dos programas usados na classificação de imagens ainda precisa da análise visual das imagens e pode-se ou não fazer algum tratamento automático das imagens, abrindo assim portas para a investigação e desenvolvimento de métodos o mais automáticos possíveis. Recentemente já existem alguns avanços na análise de imagens orientada a objectos, permitindo que sejam obtidos resultados muito satisfatórios, mas ainda exigem um maior refinamento e uma validação mais exaustiva (Caetano, et al., 2002).

2.6 Cartografia versus Detecção Remota

Fazendo uma retrospectiva dos trabalhos realizados no âmbito da Detecção Remota, vários autores defendem a clara vantagem no uso de imagens provenientes de sensores de alta resolução espacial, pela sua forma de aquisição, geralmente de grandes áreas, de forma sistemática, a baixos custos e em formato digital (Caetano, et al., 2002). No entanto, como já foi referido anteriormente, tudo depende do objectivo, adequabilidade das imagens, topografia entre outros aspectos a ter em consideração. No que diz respeito à cartografia de ocupação do solo, a classificação de imagens de satélite ainda não é tão célere como se pretende, é dispendiosa e a qualidade da cartografia pode não ser suficiente para uma determinada escala, ou nomenclatura.

2.7 Considerações finais

Com base nos factos expostos anteriormente, pode-se concluir que a Detecção Remota serve para fins genéricos, não sendo de todo apropriada para este fim específico.

As cartografias referidas no ponto 2.4 podem ser usadas como ponto de entrada, na medida em que o utilizador pode ter dados com a mesma nomenclatura, podendo fazer assim a adaptação da mesma.

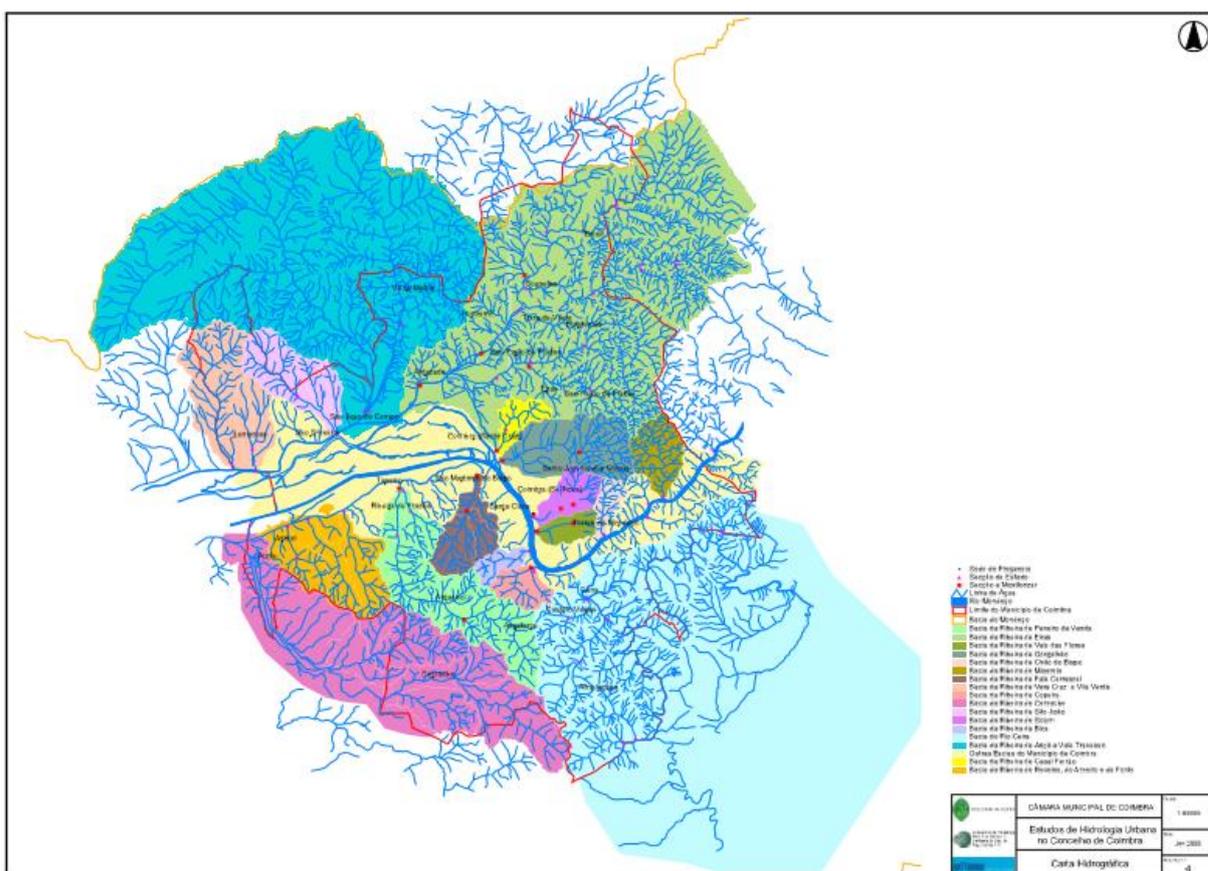
Neste sentido é proposta uma metodologia que permita a obtenção automática de cartografia de impermeabilidade solo tem como base uma nomenclatura desenvolvida com base em cartografia vectorial já existente.

3 PRÉ – PROCESSAMENTO DOS DADOS

3.1 Escolha da área de estudo

Dado que se pretende obter cartografia de ocupação do solo para impermeabilidade urbana, seria espectável que fosse seleccionada uma zona correspondente a uma bacia hidrográfica da cidade de Coimbra, no entanto, chegou-se à conclusão que seria uma área muito extensa para levar acabo os objectivos propostos para o período de tempo disponível. Desta forma foi seleccionada uma área ocasional da zona mais baixa da cidade de Coimbra que fosse mais propensa a cheias urbanas, que possuísse grande variedade temática e forte urbanização.

Como pode ser visualizado na Figura 6, a cidade de Coimbra é atravessada pelo rio Mondego com forte irrigação de bacias hidrográficas, apresentando cotas nas zonas mais baixas de 20 m e nas zonas mais altas da cidade de 100 m, para a área de estudo.



A área geográfica escolhida para levar a cabo os pressupostos pretendidos pode ser visualizada na Figura 7 e encontra-se sobretudo na bacia do Mondego, apresentando uma área de 358.119 ha.



Figura 7 – Imagem aérea da área geográfica considerada.

Pretende-se que a metodologia encontrada possa ser implementada não só apenas para uma determinada área mas para qualquer área urbana, desde que haja cartografia pré-existente.

3.2 Dados usados

Para a realização deste trabalho, foram usados dados provenientes de cartografia² do município de Coimbra à escala 1/5000 no Datum 73 e projecção de *Hayford-Gauss* do ano de 2007 e um ortofotomapa de Coimbra na projecção de *Transverse Mercator* e no Datum 73 de 2006³.

De modo a facilitar procedimentos, foram usadas informações disponibilizadas *online* pela Google (*Google Maps* e *Google Earth*), nomeadamente imagens aéreas datadas a 26/06/2007. Para facilitar e agilizar a classificação manual recorreu-se ao *Street View* do Google, permitindo assim a

² Cartografia cedida para o efeito da realização deste trabalho pela Câmara Municipal de Coimbra;

³ Ortofotomapa cedido gentilmente pelo docente da FCTUC Doutor Gil Rito Gonçalves.

rápida consulta e dissipação de dúvidas bem como evitar demasiadas deslocações a campo. As imagens mostradas por este sistema remontam a Setembro de 2009, na sua maioria.

3.3 Nomenclatura proposta

Neste capítulo são propostas classes de informação de acordo com os critérios pretendidos de impermeabilidade do solo tendo em conta o tipo e o comportamento do escoamento superficial de cada cobertura. Do vasto leque de factores que devem ser considerados para uma classificação de impermeabilidade do solo, foram considerados apenas alguns, nomeadamente os tipos de cobertura do solo, respectivos graus de impermeabilidade, e também implicitamente alguns parâmetros de que depende o escoamento superficial, como por exemplo as perdas (infiltração) e a altitude relativa dos objectos. Destacaram-se as seguintes: vegetação, corpos de água naturais, solo sem vegetação, solos cultiváveis, infra-estruturas resultantes de edificação/construção tais como pontes, viadutos, prédios com coberturas, edifícios industriais, estradas em asfalto ou passeios em calçada.

A informação Modelo Digital de Superfície (MDS) permite obter não só a informação relativa ao declive do terreno, mas também permite obter informação da altitude do topo dos objectos. Com este tipo de informação, consegue-se obter, de forma mais precisa, um modelo que permita descrever o comportamento do escoamento superficial. Como não se dispõe deste tipo de informação, o que foi feito, foi uma tentativa, embora subjectiva, de aproximação com o que seria se fosse usado um MDS através da distinção de valores de impermeabilidade de acordo com altitudes relativas dos diferentes objectos.

No sentido de evitar confusão entre uso e ocupação do solo, foram inicialmente identificadas as camadas de informação provenientes dos dados disponibilizados com o objectivo da sua classificação para as classes que melhor se adaptam em consonância com as nomenclaturas oficiais apresentadas no capítulo anterior e de acordo com a cobertura do solo e respectiva impermeabilidade.

Analisando as nomenclaturas abordadas no capítulo anterior, verifica-se que o grau de especificidade das mesmas enquadra-se sobretudo para escalas pequenas, uso do solo e para todo o tipo de superfície (rural, urbana, floresta, corpos de água e zonas húmidas).

Neste sentido, uma vez que esta dissertação assenta no estudo da cobertura do solo em meio urbano, elaborou-se uma nomenclatura baseada nas nomenclaturas oficiais direccionada para as zonas urbanas, mas que pretende ainda assim enquadrar todo o tipo de cobertura do solo, seja ela rural ou urbana, ou seja, pretende-se elaborar uma nomenclatura padrão transversal a qualquer tipo de escala focando o escoamento superficial.

Tendo em conta que permeabilidade é a capacidade de infiltração de água que determinada cobertura do solo possui e que quanto menor for a permeabilidade dessa cobertura maior será o seu escoamento superficial, i.e. menores serão as perdas por infiltração, pode-se concluir que em zonas maioritariamente urbanas cujas coberturas são tendencialmente impermeáveis, o escoamento será tendencialmente mais acentuado. A impermeabilidade é um conceito bem definido; importa esclarecer que, para efeitos desta dissertação, este conceito não é considerado por si só mas é associado ao factor de comportamento do escoamento superficial.

As classes propostas, no quadro seguinte, apresentam um nome meramente indicativo, pelo que interessa realçar que qualquer outro utilizador pode dar-lhe outro tipo de nome, ou seja, à semelhança do que foi abordado no projecto LCCS, a descrição de cada classe em termos de atributos sobrepõe-se à sua mera designação.

De modo a facilitar a correspondência de classes de impermeabilidade às classes de cobertura do solo, de acordo com o comportamento de escoamento, optou-se por distinguir os objectos em duas categorias: áreas edificadas e áreas não-edificadas. Desta forma consegue-se logo à partida fazer uma distinção entre coberturas mais e menos impermeáveis à excepção de algumas, como é o caso das classes: “Sarjetas/Sumidouros”, “Zonas Verdes- Vegetação de alto porte” e “corpos de água naturais isolados”.

Tabela 3 - Nomenclatura final proposta das classes de cobertura e respectivo atributo de escoamento.

| | <i>Classes de cobertura do solo</i> | <i>CLC</i> | <i>Classes de impermeabilidade</i> |
|-------------------------------|--|------------|------------------------------------|
| <i>Áreas edificadas</i> | Telha e Zinco | 1.1 | 9 |
| | Terraço | 1.1.1 | 8 |
| | Pavimentos impermeáveis | 1.2.2 | 10 |
| | Pavimentos artificiais | 1.4.2 | 7 |
| | Pavimentos empedrados | 1.2.2 | 7 |
| | Pavimento Poroso | 2.4.3 | 6 |
| | Sarjetas/Sumidouros | 1.2.2 | 11 |
| | Corpos de água artificiais e naturais isolados | 1.4.2 | 1 |
| <i>Áreas não – edificadas</i> | Zonas verdes – baixo e médio porte | 1.4.1 | 3 |
| | Zonas verdes – vegetação alto porte | 3.1 | 2 |
| | Solo terroso | 2.4.3 | 5 |
| | Superfície Arenosa | 1.4.1 | 4 |
| | Corpos de água naturais (rios) | 5.1 | 12 |

Para melhor compreender o conceito aplicado, fez-se uma correlação entre cada classe e um grau de impermeabilidade numa escala de 1 a 12, sendo que 11 corresponde às classes mais impermeáveis (contribuem mais e mais rapidamente para o escoamento superficial) e 2 corresponde às classes de impermeabilidade baixa (com pouca contribuição para o escoamento). As classes 1 e 12 referem-se a classes especiais pertencentes aos elementos do sistema de escoamento, classificadas como 1 e 12 para traduzir as perdas e o tempo em que o escoamento demora a chegar ao meio receptor.

Para a classe “Corpos de água artificiais”, como é nos casos dos canais de rega, é considerado que o escoamento pode ser feito para zonas agrícolas ou para sistemas autónomos. Agregada a esta classe encontra-se a classe referente aos corpos de água “naturais isolados”, como é o caso dos lagos naturais. Apesar de apresentarem naturezas diferentes (natural e artificial), o seu comportamento em termos de escoamento é semelhante, dado que não há contribuição para o escoamento superficial, assim foi atribuída a classe de impermeabilidade com o valor 1.

Em situação contrária, encontra-se a classe “Corpos de água naturais”, como é o caso dos rios ou ribeiras. Neste caso, toda a água que existe neste tipo de superfícies é escoada e portanto o seu contributo para o escoamento é elevado, sendo atribuído o valor de 12 para a classe de impermeabilidade.

A existência de infra-estruturas, como por exemplo caleiras, é comum estar associada a determinadas infra-estruturas que torna ainda mais rápido o escoamento chegar ao sistema de drenagem. Este tipo de situações pode ocorrer, na sua maioria nos edifícios com coberturas do tipo “Telha /Zinco”, dado o factor de inclinação do telhado que pode proporcionar um escoamento mais rápido para a caleira e também em terraços. As coberturas do tipo “Terraço”, que se situam, na sua maioria, nos topos dos edifícios ou prédios apresentam inclinação da cobertura muito reduzida. Ambas as classes apresentarem características muito semelhantes de impermeabilidade, a inclinação dos telhados e a altura dos edifícios foram factores que pesaram na distinção da atribuição do grau de impermeabilidade, permitindo inferir contributos de escoamento diferentes. Embora ambas as classes apresentem caleiras ou sistemas de escoamento de águas pluviais, pensa-se que para o caso da classe “Telha/Zinco” essa contribuição será maior uma vez que considera-se que toda a água que cai sobre este tipo de superfícies é escoada mais rapidamente devido ao factor inclinação do telhado e também porque se encontram mais próximos do solo (menor altitude do edifício).

Relativamente aos “pavimentos impermeáveis” foi atribuído um grau de valor 10, i.e. considera-se que a sua impermeabilidade é superior relativamente às classes “Telha/Zinco” e “Terraço”. Apesar de se encontrem ao nível do solo e existirem pontos de escoamento ao longo deste tipo de cobertura, tais como sarjetas, sumidouros ou outro tipo de infra-estruturas de escoamento, o seu comportamento a nível de escoamento depende sobretudo do factor declive. Neste caso em particular, o declive, é um dos factores que deveria contribuir para a atribuição do grau de escoamento, uma vez que em zonas onde o declive é mais acentuado a água escorre com maior facilidade para as infra-estruturas de escoamento ao invés das zonas onde o declive é quase inexistente/ plano e portanto a água fica mais tempo armazenada neste tipo de superfícies até chegar aos locais de escoamento.

Outro exemplo é o caso da vegetação de alto porte (valor 2) relativamente à vegetação de baixo porte (valor 3). Considerando que o tamanho da copa da árvore é maior para a vegetação de alto porte há tendência a interceptar melhor o escoamento e armazenar mais quantidade de água na folhagem e portanto o escoamento é menor nestes casos. Estas situações podem ocorrer em jardins situados em algumas cidades, como é o caso de Lisboa entre outras e portanto achou-se pertinente fazer esta distinção. Relembro que a informação geográfica que serve de suporte é vectorial e portanto são consideradas, na sua maioria, linhas e polígonos, o que quer dizer que elementos pontuais não oferecem grande relevância de informação neste tipo de situações. O

levantamento de árvores é feito pelo diâmetro do seu tronco e não pela dimensão da sua copa, o que torna quase impossível saber a dimensão da sua copa a partir de cartografia.

Com a nomenclatura proposta é possível fazer uma atribuição a outro tipo de nomenclaturas existentes como é o caso da CLC ou da COS e que pode ser consultado de forma mais descritiva no capítulo 4 e no Anexo II deste documento.

Para melhor compreender quais os atributos de cada classe, as tabelas seguintes especificam e ilustram alguns dos tipos de cobertura/uso do solo previstos:

Áreas Edificadas:

Tabela 4 – Especificação das classes de cobertura do solo para as áreas edificadas.

| Classes | Atributos | Ilustração |
|-------------------------|--|---|
| Telha e Zinco | Todas as coberturas de telha, zinco/industriais com inclinação. |  |
| Pavimentos Impermeáveis | Redes viárias de asfalto, superfícies cobertas com lajes e superfícies de betão. |  |
| Pavimentos artificiais | Pavimento usado nos parques infantis, entre outros, compostos por materiais permeáveis |  |
| Empedrados | Arruamentos/ rede viária com cobertura de pedra calcária ou granítica, com juntas. |  |

| | | |
|--|--|--|
| Terraço | Terraços de edifícios planos em materiais pouco permeáveis. |  |
| Pavimento poroso | Superfície coberta com blocos de cimento hexagonal permeável |  |
| Sarjetas/sumidouros | |  |
| Corpos de água artificiais e naturais isolados | Piscinas, canais de rega e lagos |  |

- ***Áreas Não – Edificadas:***

Tabela 5 - Especificação das classes de cobertura do solo para as áreas não – edificadas.

| Classes | Atributos | Ilustração |
|-------------------------|--|---|
| Zonas verdes | Todas as zonas que possuam vegetação, rasteira, de médio e alto porte pouco densa. |  |
| Solo terroso (nu) | Superfície sem a presença de vegetação, em terra batida (caminhos) |  |
| Superfície arenosa | Superfície compacta arenosa presente em jardins |  |
| Corpos de água naturais | Rios |  |

Como a cartografia disponibilizada foi desenvolvida para um fim genérico, apresenta a informação agrupada em diferentes níveis (*Layers*) (Figura 8), a partir das quais se fez a reclassificação e reorganização dessa mesma informação.

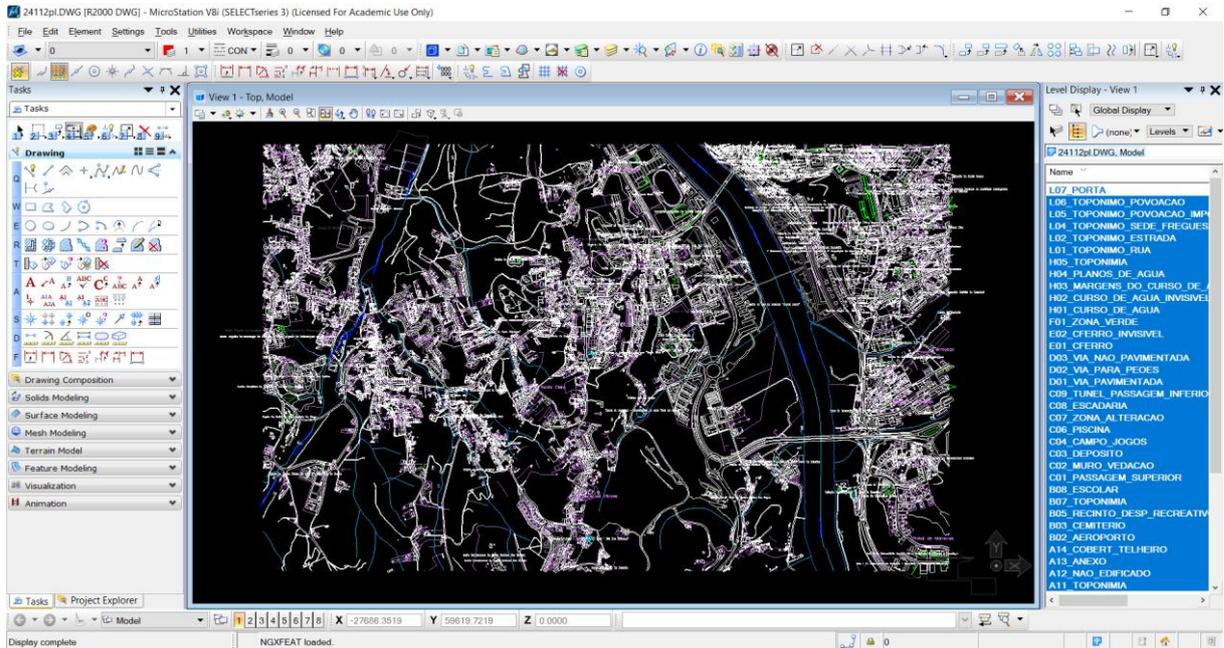


Figura 8 – Dados de entrada em formato CAD

A obtenção das classes não foi conseguida de forma imediata, uma vez que foram obtidas algumas versões de classes preliminares das quais se pode visualizar de seguida na Figura 9 para a área de estudo considerada.

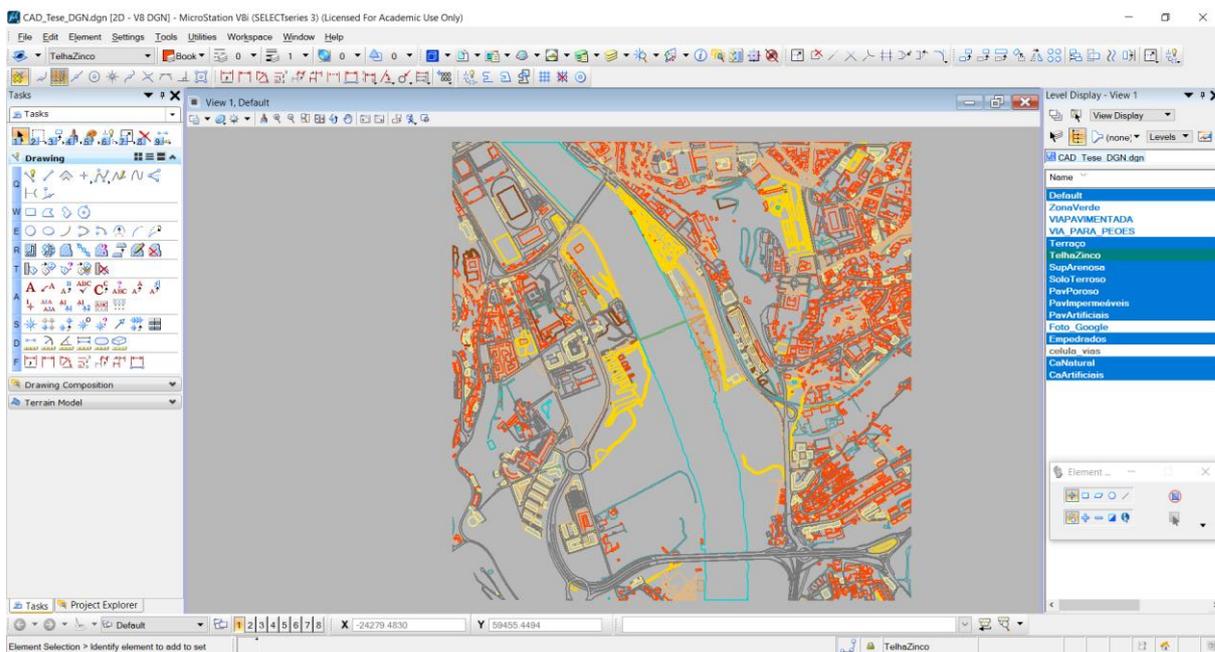


Figura 9 – Edição e adaptação da informação em camadas de informação de acordo com o uso/cobertura do solo.

Apesar de se contemplar a classe de sumidouros/sarjetas nas classes de impermeabilidade urbana, esta classe não foi aplicada na classificação da área de estudo, uma vez que a escala usada (1/5000), não permite que estas sejam identificadas devido ao erro de graficismo. Este erro corresponde ao raio do menor círculo no interior do qual se pode marcar um ponto com recursos do desenho técnico, sendo o seu valor na ordem de 0,2 mm. O que significa que, para a escala usada, só são representáveis objectos/elementos de dimensões superiores a 1 m. Como as sarjetas/sumidouros são objectos de dimensões inferiores ao referido, não foram representadas a nível de cartografia e por isso não são contempladas nesta dissertação.

3.4 Tratamento dos dados

Os dados usados nesta dissertação, descritos no ponto 3.2 deste trabalho, não se encontram prontos para utilização em conjunto, não só porque não se encontram todos no mesmo sistema de coordenadas, como existem muitos outros aspectos sujeitos a verificação e controlo quer a nível de representação gráfica quer a nível de harmonização temporal entre os mesmos, já que foram usados dados de diferentes fontes com qualidades temporais diferentes.

3.4.1 Uso de grelhas NTv2

Como os dados fornecidos têm origens diferentes é provável que os seus sistemas de coordenadas também o sejam. Para manusear os dados num sistema de informação geográfica é necessário garantir que os mesmos se encontrem num mesmo sistema de coordenadas, que neste caso é o sistema PT-TM06/ ETRS 89 (sistema de coordenadas oficial em Portugal Continental).

Com o objectivo de minimizar os erros provocados pela conversão de coordenadas, foi usado o formato NTv2 (Gonçalves, 2008). O referido formato é um formato padrão de grelhas binárias que assenta na diferença de coordenadas geográficas entre um datum local e um datum global. No caso de Portugal Continental, os parâmetros ajustados aos pontos de controlo envolventes da área de trabalho, foram determinados por interpolação modelando deformações da rede geodésica nacional no sistema de partida, fazendo deste sistema um sistema mais preciso relativamente a outros já que é possível obter precisões superiores.

A informação mais detalhada sobre este formato pode ser consultada na página oficial da Direcção Geral do Território (DGT), onde é possível encontrar documentação, os ficheiros necessários para a transformação, bem como a sua configuração em diversos programas.

3.4.2 Verificação topológica

A implementação de dados cartográficos num SIG, pressupõe que as relações espaciais dos elementos (linhas, pontos e polígonos) seja conforme, denominada de topologia. Esta conformidade pode ser verificada através de regras específicas que são aplicadas a todos os elementos vectoriais, em especial para as geometrias derivadas, ou seja, linhas e polígonos.

As figuras seguintes representam alguns erros topológicos encontrados nos dados CAD.

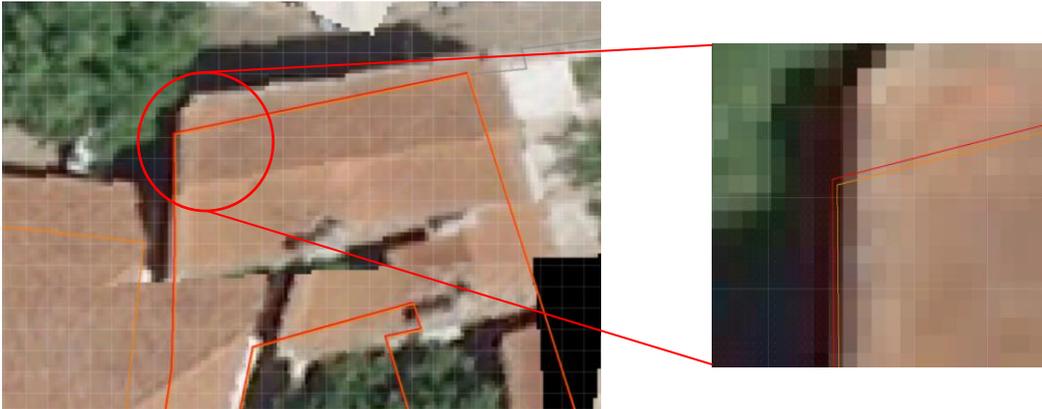


Figura 10 – Duplicação de informação com inconsistência posicional

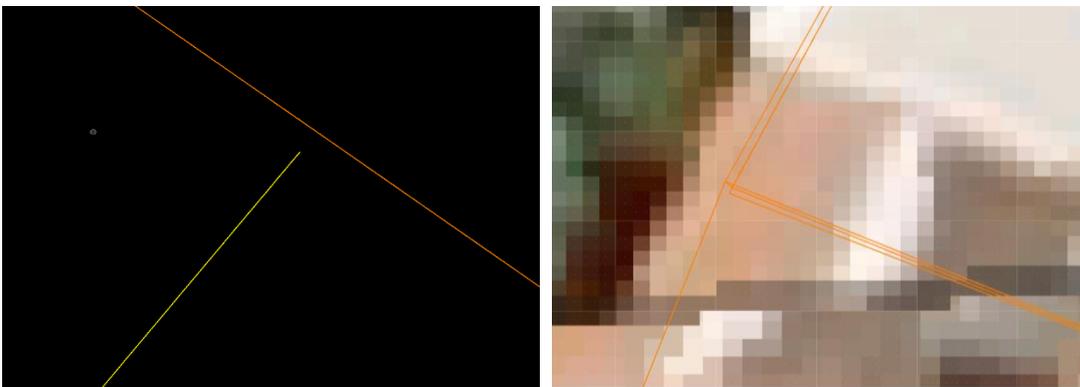


Figura 11 – Erros de edição topológica *undershoot* e duplicação de informação

3.4.3 Limpeza de erros e consistência lógica

Para manipular os dados com sucesso e garantir qualidade do resultado final, foi necessário fazer a limpeza dos erros encontrados e verificar a consistência lógica dos dados.

Existem várias formas de efectuar a correcção topológica. Pode ser feita através do uso da multicodificação que será abordada de seguida, ou usando regras topológicas ⁴ em ambiente SIG.

Numa primeira abordagem aos dados verificaram-se alguns erros grosseiros, procedendo-se assim à sua edição em ambiente CAD. Embora os programas SIG já permitam edição de linhas, pontos e polígonos, os programas CAD conseguem oferecer vantagens na qualidade dos “SNAPS” que permitem a correcção automática da posição da edição de pontos e nós, bem como da

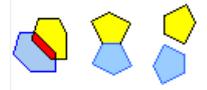
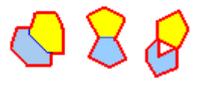
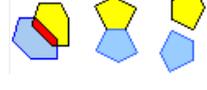
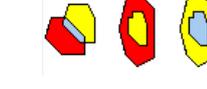
⁴ Topologia permite o estudo das relações espaciais entre objectos adjacentes ou vizinho, bem como das propriedades geométricas que permanecem invariáveis perante a execução de certas transformações, tais como: esticar, dobrar, rodar, etc.

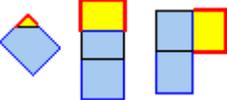
intersecção de linhas, entre outros. Neste sentido, as regras topológicas foram apenas aplicados em ambiente SIG para polígonos como verificação e consistência lógica dos dados.

Aquando da migração dos dados CAD para ambiente SIG, de forma a facilitar a detecção de erros posteriormente, procedeu-se à transformação de linhas para polígonos, uma vez que a informação iria ser tratada em formato vectorial. Deste modo conseguiu-se: verificar a consistência lógica dos dados, já que o processo foi feito camada a camada; garantir que a exactidão dos dados não sofresse alterações e que todo o espaço geográfico da nossa área de estudo ficasse coberta, ou seja, não existem espaços na nossa área de estudo que não estivessem classificados.

Ainda assim, após a migração dos dados para ambiente SIG, foram aplicadas algumas regras topológicas com a finalidade de evitar alguns constrangimentos entre polígonos de diferentes camadas e que podem ser consultadas na tabela seguinte:

Tabela 6 – Regras topológicas aplicadas a polígonos.

| Regra | Descrição | Ilustração |
|-------------------------------------|--|---|
| Must not overlap | Não deve haver intersecção entre polígonos |  |
| Must not have gaps | Não deve haver espaços entre os polígonos |  |
| Must Not overlap with | Não deve haver intersecções entre os polígonos de duas camadas de informação diferentes |  |
| Must be covered by feature Class of | A área de uma camada deve sobrepor a área de outra camada |  |
| Must cover each other | Deve haver a sobreposição mútua entre a área de uma camada e a área de outra camada |  |
| Must be covered by | Os limites de uma área de uma camada devem estar contidos nos limites de uma linha de outra camada |  |

| | | |
|--|---|---|
| Boundary must be covered by | Os limites de uma área de uma camada devem estar contidos nos limites de uma linha de outra camada. |  |
| Area boundary must be covered by bound | Os limites de uma área de uma camada devem estar contidos nos limites de uma área de outra camada |  |

Das regras topológicas descritas anteriormente apenas algumas foram aplicadas de modo a evitar que houvesse essencialmente intersecções entre polígonos, não deve haver sobreposição de polígonos de diferentes camadas ou da mesma camada e não deve haver espaços entre polígonos.

Uma vez detectados e corrigidos todos os erros topológicos, a informação encontra-se em condições adequadas para ser manuseada e/ou manipulada de acordo com os objectivos definidos.

3.4.4 Multicodificação

Uma das possibilidades para a limpeza de erros seria o uso do ngXis. Trata-se de um suplemento ao MicroStation em versão comercial e que portanto não está acessível a qualquer utilizador.

Apesar de tudo é uma ferramenta muito útil na medida em que permite a multicodificação da informação, permitindo atribuir a um único elemento gráfico (linhas) várias denominações ou entidades. Para além de permitir a construção de cartografia digital catalogada correctamente também permite que a topologia seja limpa e consistente para uma manipulação posterior adequada da informação, possibilitando ganhos de produtividade.

Podem ser consultadas informações adicionais do produto na página oficial da *NovaGeo Solutions*⁵.

⁵ <http://www.novageo.com/Solucoes/Cartografia/ngXis>

3.4.5 Classificação “Modelo” – Resultado

Com o intuito de validar a metodologia proposta foi feita uma classificação manual da área de estudo, com base na cartografia desenvolvida e gentilmente cedida pela Câmara Municipal de Coimbra à escala 1/5000.

Esta classificação foi produzida de modo a obter uma classificação o mais realista possível, garantindo que todo o espaço da nossa área de estudo seria classificado. Claro que toda a classificação manual não é perfeita e é subjectiva, por isso foi usado o bom senso e o recurso a imagens de maior resolução do *Google Earth* com auxílio do *Street View* para dissipar algumas dúvidas e deslocamentos a campo.

Esta classificação serviu também para avaliar os dados fornecidos para o trabalho, nomeadamente no que toca a topologia, qualidade temporal e resolução da ortofotomapa (fotografia aérea rectificada), servindo portanto como um pré-processamento dos dados.

A área de estudo foi classificada inicialmente com base em camadas de dados (layers) existentes na cartografia e orientada a objectos que servem de coberto do solo, tais como, edifícios, passeios, vias pavimentadas, zonas verdes ou corpos de água, entre outros.

Para garantir que toda a área de estudo era classificada, ou seja, todos os objectos estavam representados por polígonos fechados, foi necessário duplicar as linhas de extremidade adjacentes a dois ou mais objectos. Desta forma pode garantir-se que a informação é transmitida de forma correcta para o programa de SIG onde se dará o desenvolvimento da metodologia.

Quando a cartografia é produzida, são seguidos determinados parâmetros de acordo com a sua finalidade, que na sua maioria é a impressão da mesma para uso generalizado. Desta forma foi necessário reajustar a cartografia fornecida para o fim pretendido procedendo a correcções topológicas e em certas situações à completude da mesma.

Tratou-se de um procedimento muito moroso, extenso e intenso dado que, numa pequena área podem existir milhares de objectos sujeitos a classificação e que podem estar representados ou não numa cartografia dependendo da escala em questão.

A Figura 12 ilustra o resultado obtido desta classificação modelo e que servirá para avaliar posteriores resultados das metodologias levadas a cabo. Pode ser consultado no Anexo III o layout com a informação completa referente à classificação efectuada.

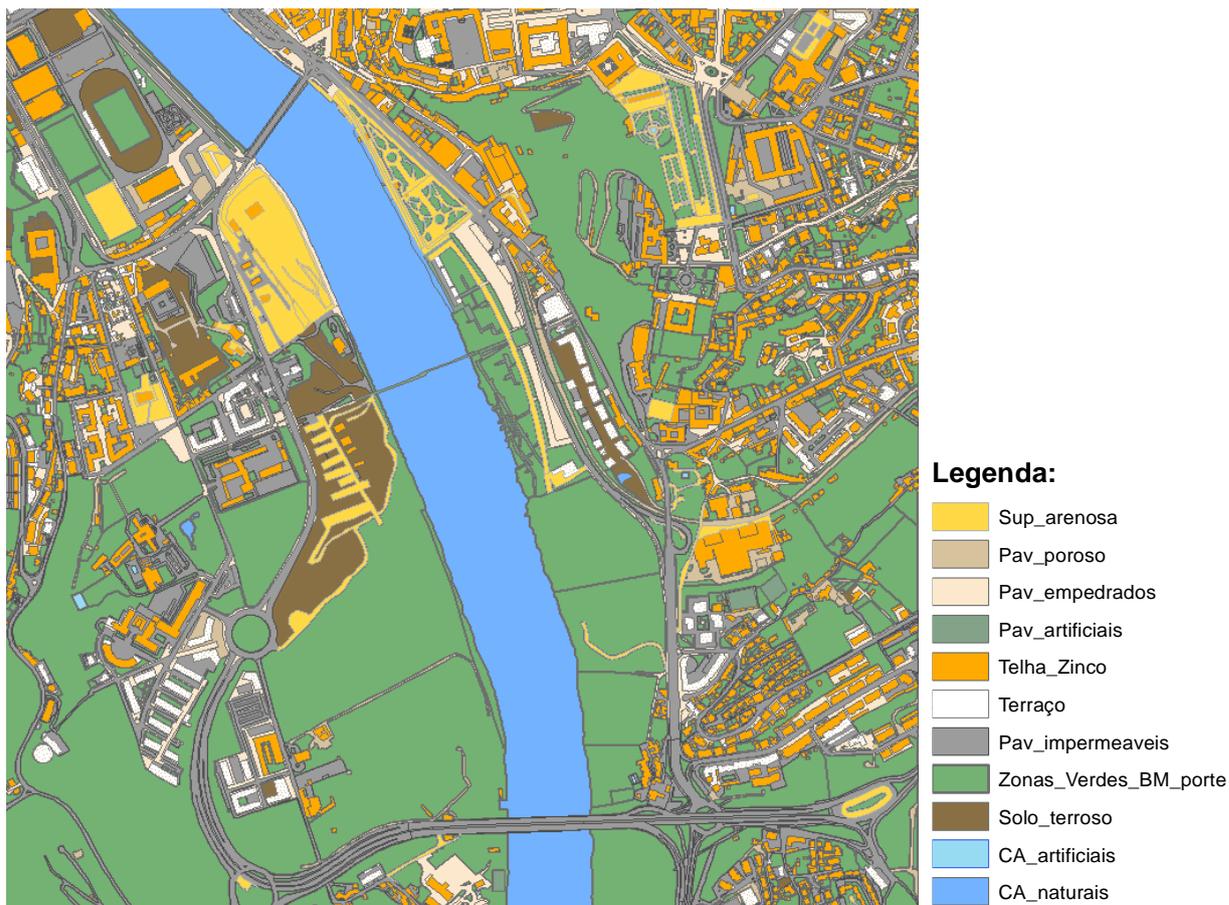
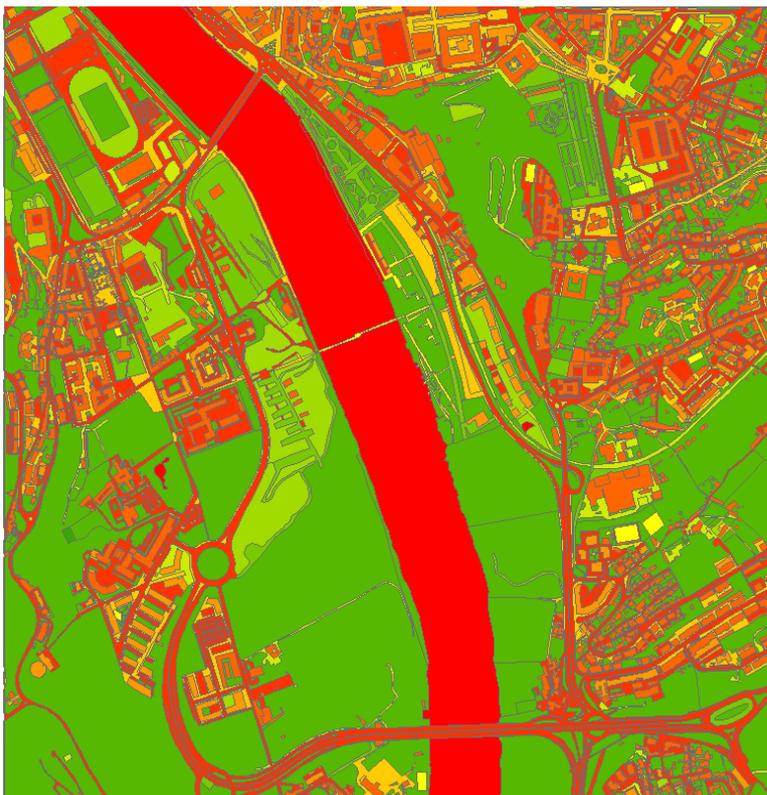


Figura 12 – Classificação Modelo resultante da classificação manual.

Este procedimento foi levado a cabo no programa *Microstation V8i*. Como já foi referido anteriormente, os dados foram agrupados em camadas de dados existentes na cartografia de origem de modo a facilitar o procedimento (Figura 9).

Posteriormente procedeu-se ao ajuste das classes originais da cartografia para as possíveis classes de classificação de ocupação do solo especificadas anteriormente.

Aplicando a nomenclatura final proposta das classes de cobertura e respectivo atributo de escoamento na tabela 3.1 foi obtido o seguinte resultado (Figura 13), na qual estão representados os valores de impermeabilidade de acordo com o escoamento para cada classe.



Classes de Impermeabilidade:

Classe_Impermeabilidade, Layer

- 1, CA_artificiais_e_isolados
- 3, Zonas_Verdes_BM_porte
- 4, Sup_arenosa
- 5, Solo_nu
- 6, Pav_poroso
- 7, Pav_Artificiais
- 7, Pav_Empedrados
- 8, Terraço
- 9, Telha_Zinco
- 10, Pav_impermeáveis
- 12, CA_naturais

Figura 13 – Classificação Modelo com os valores de impermeabilidade.

4 GERAÇÃO AUTOMÁTICA DE CARTOGRAFIA DE IMPERMEABILIDADE DO SOLO

Apesar dos muitos desenvolvimentos tecnológicos das últimas duas ou três décadas, a produção de cartografia de cobertura/ocupação do solo não é um processo imediato e está sujeito a alguns erros de diversas origens.

Neste capítulo descreve-se, numa primeira fase, a reclassificação de cartografia de cobertura/ocupação do solo, previamente existente, de uma nomenclatura de classes de impermeabilidade do solo. Numa segunda fase descreve-se o procedimento de automatização dessa reclassificação, tendo sido considerada para o efeito a associação de valores numéricos às classes de escoamento das diferentes coberturas do solo na nova nomenclatura estabelecida.

A Figura 14 esquematiza, de um modo geral, os procedimentos envolvidos em todo o procedimento.



Figura 14 – Esquema de procedimentos para obtenção da nomenclatura de impermeabilidade numérica.

4.1 Atribuição de classes de impermeabilidade às nomenclaturas da CLC e COS

No ponto 3.3 do capítulo anterior foi apresentada uma nomenclatura para coberturas do solo e relacionadas as respectivas classes de impermeabilidade. Claro está que estes procedimentos são sempre subjectivos e susceptíveis de mudança, tratando-se apenas da implementação de um modelo com o uso de dados reais.

Neste capítulo pretende-se transpor as classes de impermeabilidade a outros tipos de nomenclatura conhecidos, fazendo assim a ligação do modelo com outras realidades, nomeadamente com a CLC e COS.

Na tabela 3.2 foi feita uma interligação entre as classes de cobertura do solo e o nível que melhor se adequa dentro das classes apresentadas na CLC. Neste trabalho apresentamos apenas 12 classes, enquanto a CLC apresenta 44 classes e a COS apresenta 193, o que seria interessante fazer a relação entre as classes de impermeabilidade encontradas neste estudo com estas nomenclaturas que para além de serem oficiais, são mais extensas e estão em escalas diferentes.

Foi elaborado um quadro resumo com ambas as nomenclaturas (CLC e COS) que, pela sua extensão, não seria de fácil leitura se fosse enquadrado no corpo de texto pelo que pode ser consultado no Anexo II deste documento.

A complexidade e diversidade da natureza são muitas vezes difíceis de representar principalmente quando natureza e território artificializado se misturam, não só pela sua dimensão como pela sua complexidade.

A atribuição de classes de impermeabilidade quando as classes são semelhantes ou existe apenas alguns factores diferenciadores é relativamente fácil e quase imediata, quando se trata de escalas similares, no entanto existem outras situações mais complexas e dúbias. Nestes casos, opta-se por considerar a maior área de uma determinada cobertura em detrimento de outra.

Quando o factor de escala é muito distinto é necessário ter um certo cuidado com o que se está a considerar. Se a escala for mais pequena do que a de referência é necessário fazer uma generalização, obrigando nestes casos a cometer erros de omissão, i.e., apenas são consideradas as áreas com maior percentagem de cobertura. Quando a escala é maior do que a de referência, então é preciso enquadrar novas coberturas numa que já exista ou então criar uma nova classe se assim o justificar.

A DGT dispõe de uma Memória Descritiva da Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental para o ano de 2007, na qual estão descritas as especificações para cada classe de uso e ocupação do solo (DGT, 2010). Com o intuito de atribuir a cada uma destas classes um valor de impermeabilidade da nomenclatura proposta, recorreu-se às referidas especificações para melhor compreender os pressupostos de cada classe.

Como existem 194 classes e como não é objectivo deste capítulo explicar cada uma delas, serão apenas explicadas as classes mais pertinentes ou dúbias que mereçam uma abordagem mais cuidada.

- **Nível 1.1 – Tecido urbano:**

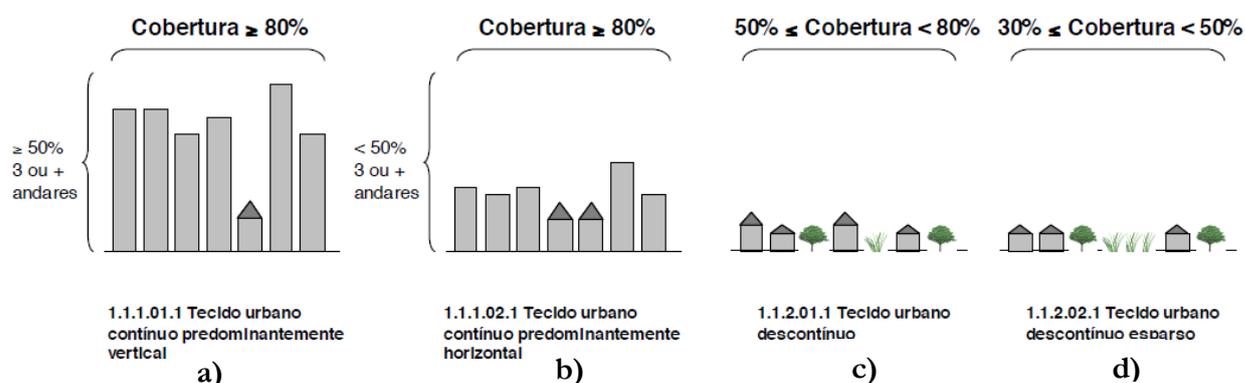


Figura 15 – Tecido urbano contínuo e descontínuo (DGT, 2010).

Como na nomenclatura proposta não existem estas classes de tecido urbano contínuo e descontínuo, foi necessário recorrer à memória descritiva da COS para saber a que tipo de cobertura se referia. Neste sentido, a Figura 15 a) e Figura 15 b) dizem respeito à classe 1.1.1 (nível 3 – Tecido urbano contínuo) em que: “Áreas de tecido urbano com superfície total impermeabilizada superior ou igual a 80%. Inclui centros urbanos e subúrbios em que os edifícios formem um tecido contínuo e homogéneo, bem como áreas de estacionamento, logradouros, áreas cobertas de betão ou asfalto, etc. A determinação do limiar de impermeabilização requer particular atenção para evitar confusão com a vegetação aparente (copa de árvores) sob a qual a superfície está impermeabilizada.” (DGT, 2010). A Figura 15 c) e Figura 15 d) dizem respeito à classe 1.1.2 que corresponde ao tecido urbano descontínuo. Segundo a memória descritiva, esta classe está descrita como sendo “áreas de tecido urbano na sua maior parte ocupadas por construções do tipo residencial. Nas áreas classificadas como urbano descontínuo os edifícios e outras superfícies artificializadas estão associados a áreas com vegetação e solo nu, as quais ocupam uma superfície significativa, embora descontínua. A superfície impermeabilizada ocupa uma área superior ou igual a 30% e inferior a 80% da superfície total. Esta classe inclui mosaicos de áreas cultivadas com áreas construídas.” (DGT, 2010). A diferença entre a Figura 15 c) e Figura 15 d) é que cada uma corresponde a um 4º nível diferente, sendo que para a Figura 15 c) (1.1.2.01 – Tecido urbano descontínuo) são consideradas áreas de tecido urbano nas quais a superfície impermeabilizada ocupa uma área superior ou igual a 50% e inferior a 80% da superfície total, enquanto para a Figura 15 d) (1.1.2.02 – Tecido urbano descontínuo esparso) são consideradas áreas de tecido urbano nas quais a superfície impermeabilizada ocupa uma área superior ou igual a 30% e inferior a 50% da superfície total.

Com base nas descrições anteriores e como as classes de cobertura do solo deste trabalho são orientadas a objectos de cobertura e não a áreas, foi necessário fazer um ajustamento entre ambas.

Tabela 7 – Extracto com as nomenclaturas CLC, COS e classes de impermeabilidade (DGT, 2010)

| CORINE Land Cover | | | COS | | | Classe de impermeabilidade |
|-------------------|---------|---------------------------|----------|------------|--|----------------------------|
| Nível 2 | Nível 3 | Descrição | Nível 4 | Nível 5 | Descrição | |
| 1.1 | 1.1.1 | Tecido urbano contínuo | 1.1.1.01 | 1.1.1.01.1 | Tecido urbano contínuo predominante vertical | 8 |
| | | | 1.1.1.02 | 1.1.1.02.1 | Tecido urbano contínuo predominante horizontal | 9 |
| | | | 1.1.1.03 | 1.1.1.03.1 | Áreas de estacionamento e logradouros | 7 |
| | 1.1.2 | Tecido urbano descontínuo | 1.1.2.01 | 1.1.2.01.1 | Tecido urbano descontínuo | 7 |
| | | | 1.1.2.02 | 1.1.2.02.1 | Tecido urbano descontínuo esparso | 6 |

Para os níveis das COS 1.1.1.01 e 1.1.1.02 (Tabela 7) como se tratam de tecidos urbanos contínuos em que a percentagem de cobertura impermeável é superior a 80% considera-se que existe contributo para o escoamento superficial, sendo por isso equipados às classes “Terraço” e “Telha e Zinco” respectivamente.

Para o nível 1.1.1.03 (Tabela 7) pode-se fazer uma relação directa com a classe existente de “pavimentos artificiais”, já que neste caso as zonas verdes (parques, áreas relvadas, etc.) ocupam menos de 20% da superfície cartografada. Apesar de se tratar de áreas predominantemente impermeáveis, existem pequenas áreas onde há permeabilidade (zonas verdes) e que podem justificar a atribuição de uma classe mais intermédia, como por exemplo a classe empedrados, que apresenta uma pequena percentagem de permeabilidade.

A Classe de impermeabilidade atribuída ao nível 1.1.2.01 (Tabela 7) foi o valor de 7, fazendo uma relação quase directa com a classe “Telha e Zinco” já que, como já foi referido anteriormente, a superfície impermeabilizada ocupa uma área entre os 50% e os 80%. Como acontece com a classe descrita anteriormente, podem existir áreas que justifiquem a atribuição de uma classe de impermeabilidade mais intermédia, já que o comportamento de escoamento pode variar.

No caso do nível 1.1.2.02 (Tabela 7), “tecido urbano descontínuo esparso” em que a área impermeabilizada situa-se entre os 30 e os 50% da superfície total, não foi possível fazer a relação directa com nenhuma classe existente. Optou-se por atribuir o valor de 6 que corresponde a pavimentos poroso, i.e., apesar de existir áreas artificializadas existe uma grande percentagem de áreas não artificializadas, fazendo com que a contribuição para o escoamento superficial seja muito menor nestes casos e portanto o valor a atribuir de impermeabilidade seja intermédio.

- **Nível 1.2 – Industria, comércio e transportes:**

Tabela 8 – Extracto com as nomenclaturas CLC, COS e classes de impermeabilidade (DGT, 2010).

| CORINE Land Cover | | | COS | | | Classes de impermeabilidade |
|-------------------|----------|---|--|------------|--|-----------------------------|
| Nível 2 | Nível 3 | Descrição | Nível 4 | Nível 5 | Descrição | |
| 1.2 | 1.2.1 | Industria, comercio e equipamentos gerais | 1.2.1.01 | 1.2.1.01.1 | Industria | 9 |
| | | | 1.2.1.02 | 1.2.1.02.1 | Comércio | 9 |
| | | | 1.2.1.03 | 1.2.1.03.1 | Instalações agrícolas | 9 |
| | | | 1.2.1.04 | 1.2.1.04.1 | Equipamentos públicos e privados | 9 |
| | | | 1.2.1.05 | 1.2.1.05.1 | Infra-estruturas de produção de energia renovável | 6 |
| | | | | 1.2.1.05.2 | Infra-estruturas de produção de energia não renovável | 9 |
| | | | 1.2.1.06 | 1.2.1.06.1 | Infra-estruturas de captação, tratamento e abastecimento de águas para consumo | 9 |
| | 1.2.1.07 | 1.2.1.07.1 | Infra-estruturas de tratamento de resíduos e águas residuais | 6 | | |
| | 1.2.2 | Redes viárias e ferroviárias e espaços associados | 1.2.2.01 | 1.2.2.01.1 | Rede viária e espaços associados | 10 |
| | | | 1.2.2.02 | 1.2.2.02.1 | Rede ferroviária e espaços associados | 6 |
| | 1.2.3 | Áreas portuárias | 1.2.3.01 | 1.2.3.01.1 | Terminais portuários de mar e de rio | 10 |
| | | | 1.2.3.02 | 1.2.3.02.1 | Estaleiros navais e docas secas | 10 |
| | | | 1.2.3.03 | 1.2.3.03.1 | Marinas e docas pesca | 12 |
| | 1.2.4 | Aeroportos e aeródromos | 1.2.4.01 | 1.2.4.01.1 | Aeroportos | 10 |
| | | | 1.2.4.02 | 1.2.4.02.1 | Aeródromos | 10 |

O documento relativo à memória descritiva da COS considera que o nível 1.2 diz respeito a áreas ocupadas principalmente por estruturas relativas à actividade industrial, comercial e de transportes, incluindo áreas associadas e também zonas de exploração agro-industrial, ou seja, para o nível 1.2.1, estas áreas são ocupadas sobretudo por construções, asfalto, alcatrão, cimento na superfície ou terra compactada. No caso de existirem zonas verdes, estes ocupam pequenos espaços sobrantes e zonas ajardinadas. Neste nível são incluídos hospitais, universidades, infra-estruturas de produção de energia, instalações de apoio à exploração agro-pecuária, etc., como pode ser visualizado na Tabela 8.

O nível 1.2 descreve sobretudo equipamentos ou infra-estruturas, por norma, há a tendência de corresponderem a construções ou edificações. Nestes casos pode-se classificar tendo em conta as classes “Telha e Zinco” ou “pavimentos impermeáveis”. No entanto existem excepções ou situações mais dúbias, como é o caso dos níveis 1.2.1.05.1 (parques eólicos, parques solares, instalações de aproveitamento da energia das mares, paredões de barragens produtoras de energia, etc.), 1.2.1.07 (estações de compostagem, aterros sanitários, estações de transferência, estações de triagem, incineradoras, Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETAR), etc.) e o nível 1.2.3.03 (estruturas portuárias destinadas ao abrigo de pequenas e médias embarcações de recreio, desporto e pesca). Para estas classes foi atribuída uma classe de impermeabilidade que represente o comportamento de escoamento mais adequado para as áreas em causa.

- **Nível 1.3 – Áreas de extracção de inertes, áreas de deposição de resíduos e estaleiros de construção**

Segundo a memória descritiva, este nível considera as áreas artificializadas principalmente ocupadas por actividades extractivas, estaleiros de construção, zonas de deposição de resíduos e áreas associadas a todas estas actividades. Inclui pedreiras, extracção mineira, aterros, lixeiras, etc. (DGT, 2010) descritos na Tabela 9.

Tabela 9 – Extracto com as nomenclaturas CLC, COS e classes de impermeabilidade (DGT, 2010).

| Nível 2 | Nível 3 | Descrição | Nível 4 | Nível 5 | Descrição | Classes de impermeabilidade |
|---------|---------|--------------------------------|----------|------------|---|-----------------------------|
| 1.3 | 1.3.1 | Áreas de extracção de inertes | 1.3.1.01 | 1.3.1.01.1 | Minas a céu aberto | 2 |
| | | | 1.3.1.02 | 1.3.1.02.1 | Pedreiras | 4 |
| | 1.3.2 | Áreas de deposição de resíduos | 1.3.2.01 | 1.3.2.01.1 | Aterros | 1 |
| | | | 1.3.2.02 | 1.3.2.02.1 | Lixeiras e Sucatas | 5 |
| | 1.3.3 | Áreas em construção | 1.3.3.01 | 1.3.3.01.1 | Áreas em construção | 6 |
| | | | 1.3.3.02 | 1.3.3.02.1 | Áreas abandonadas em territórios artificializados | 6 |

No caso do nível 1.3.1 trata-se de áreas de extracção de minerais a céu aberto (areeiros, pedreiras, carvão, ferro, etc.), incluindo áreas de extracção inundadas temporariamente e saibreiras inundadas, excepto nos casos em que se trate de extracção por drenagem de fundos fluviais. Inclui também áreas de extracção de sal-gema e de areias em dunas costeiras interiores (DGT, 2010). Neste caso podemos tratar associar à classe de “corpos de água naturais” em termos de lagos temporários ou “Superfície arenosa”.

No caso do nível 1.3.2 (áreas de deposição de resíduos), a atribuição de graus de permeabilidade pode ser associada a classe “solo terroso” pressupondo-se que nestes casos haja, na sua maioria, ausência de vegetação.

As áreas em construção, são por norma, áreas de modificação rápida, o que pressupõe ainda assim que num determinado período de tempo tenham que ser classificadas. Por sua vez encontram-se as áreas abandonadas sem edificações, inseridas no tecido urbano, onde se verifica inclusive o desenvolvimento de alguma vegetação, fazendo com que haja permeabilidade e fraco escoamento.

- **Nível 1.4 – Espaços verdes urbanos, equipamentos desportivos, culturais e de lazer, e zonas históricas**

Tabela 10 – Extracto com as nomenclaturas CLC, COS e classes de impermeabilidade (DGT, 2010).

| Nível 2 | Nível 3 | Descrição | Nível 4 | Nível 5 | Descrição | Classes de impermeabilidade |
|---------|---------|-----------|---------|---------|-----------|-----------------------------|
|---------|---------|-----------|---------|---------|-----------|-----------------------------|

| | | | | | | |
|----------|------------|---|----------|------------|--------------------------------|---|
| 1.4 | 1.4.1 | Espaços verdes urbanos | 1.4.1.01 | 1.4.1.01.1 | Parques e jardins | 3 |
| | | | 1.4.1.02 | 1.4.1.02.1 | Cemitérios | 8 |
| | 1.4.2 | Equipamentos desportivos, culturais e de lazer e zonas históricas | 1.4.2.01 | 1.4.2.01.1 | Campos de golfe | 3 |
| | | | | 1.4.2.01.2 | Outras instalações desportivas | 5 |
| | | | 1.4.2.02 | 1.4.2.02.1 | Parques de campismo | 5 |
| | | | | 1.4.2.02.2 | Outros equipamentos de lazer | 3 |
| 1.4.2.03 | 1.4.2.03.1 | Equipamentos culturais e zonas históricas | 9 | | | |

Este nível inclui espaços verdes urbanos, que segundo a DGT, são áreas verdes inclusas ou adjacentes ao tecido urbano, de uso predominantemente público e com funções de recreio e de enquadramento da estrutura urbana, incluindo parques, zonas de áreas residenciais, cemitérios com vegetação, jardins botânicos, jardins zoológicos, etc.

O nível 1.4 inclui também equipamentos desportivos, culturais e de lazer e zonas históricas, que na prática corresponde a espaços e estruturas desportivas, culturais e de lazer, incluindo parques de campismo, campos de golfe, hipódromos e complexos arqueológicos a céu aberto, bem como cemitérios com vegetação, jardins zoológicos e jardins botânicos não inclusos em tecido urbano, conforme descritos na Tabela 10.

O nível 1.4.2.01.2 é um nível de difícil atribuição de grau de permeabilidade uma vez que inclui muitos tipos de cobertura, nomeadamente estádios de futebol e infra-estruturas anexas, estádios de hóquei, piscinas e campos de ténis, pistas de ciclismo, hipódromos, pistas de atletismo, etc.. Neste sentido optou-se por atribuir um grau intermédio de maneira a contemplar áreas mistas de permeabilidade (impermeáveis e permeáveis).

- **Nível 2.1 – Culturas temporárias**

Tabela 11 – Extracto com as nomenclaturas CLC, COS e classes de impermeabilidade (DGT, 2010).

| Nível 2 | Nível 3 | Descrição | Nível 4 | Nível 5 | Descrição | Classes de impermeabilidade |
|---------|---------|----------------------------------|----------|------------|----------------------------------|-----------------------------|
| 2.1 | 2.1.1 | Culturas temporárias de sequeiro | 2.1.1.01 | 2.1.1.01.1 | Culturas temporárias de sequeiro | 3 |
| | | | 2.1.1.02 | 2.1.1.02.1 | Estufas e viveiros | 9 |
| | 2.1.2 | Culturas temporárias de regadio | 2.1.2.01 | 2.1.2.01.1 | Culturas temporárias de regadio | 3 |
| | 2.1.3 | Arrozais | 2.1.3.01 | 2.1.3.01.1 | Arrozais | 2 |

Este nível pretende englobar culturas cujos ciclos vegetativos não excedem um ano e as que não sendo anuais são ressemeadas com intervalos que não excedem os 5 anos (e.g. morangos, espargos). Estas culturas encontram-se normalmente sob regime de rotação anual ou plurianual. Inclui culturas regadas, culturas em campos inundados (e.g. arrozais – 2.1.3.01) e pastagens temporárias. Inclui também terrenos em regime de pousio agrícola até um máximo de 5 anos (DGT, 2010), e que podem ser consultados na Tabela 11.

As estufas e viveiros podem ser de plástico ou de vidro, entre outros materiais e são incluídos nesta classe os viveiros florestais desde que não se encontram em áreas de floresta e se destinem às necessidades da exploração (DGT, 2010). A atribuição do grau de impermeabilidade, uma vez que existem construções que contribuem para o escoamento, foi feita tendo em conta a classe “Telha e Zinco”, com o valor de 9. Considera-se que há escoamento apenas nas áreas onde se encontram as estufas.

No caso das culturas temporárias de regadio, “*são culturas irrigadas de forma artificial permanentemente ou não, utilizando com frequência infra-estruturas permanentes de rega*”, tais como: canais de irrigação, redes de drenagem, pivôs de rega, entre outros. Este tipo de culturas pode também recorrer a estruturas de rega tradicionais, como por exemplo sulcos para rega por gravidade (DGT, 2010).

Aos arrozais foi atribuído a classe de impermeabilidade 2 uma vez que se tratam de áreas próximas a planos de água e estão periodicamente inundadas.

- **Nível 2.2 – Culturas permanentes**

Tabela 12 – Extracto com as nomenclaturas CLC, COS e classes de impermeabilidade (DGT, 2010).

| Nível 2 | Nível 3 | Descrição | Nível 4 | Nível 5 | Descrição | Classes de impermeabilidade | |
|---------|---------|-----------|------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------|---|
| 2.2 | 2.2.1 | Vinhas | 2.2.1.01 | 2.2.1.01.1 | Vinhas | 3 | |
| | | | 2.2.1.02 | 2.2.1.02.1 | Vinhas com pomar | 3 | |
| | | | 2.2.1.03 | 2.2.1.03.1 | Vinhas com olival | 3 | |
| | 2.2.2 | Pomares | 2.2.2.01 | 2.2.2.01.1 | 2.2.2.01.1 | Pomares de frutos frescos | 2 |
| | | | | 2.2.2.01.2 | 2.2.2.01.2 | Pomares de amendoeira | 2 |
| | | | | 2.2.2.01.3 | 2.2.2.01.3 | Pomares de castanheiro | 2 |
| | | | | 2.2.2.01.4 | 2.2.2.01.4 | Pomares de alfarrobeira | 2 |
| | | | | 2.2.2.01.5 | 2.2.2.01.5 | Pomares de citrinos | 2 |
| | | | | 2.2.2.01.6 | 2.2.2.01.6 | Outros pomares | 2 |
| | | | 2.2.2.02 | 2.2.2.02.1 | 2.2.2.02.1 | Pomares de frutos frescos com vinha | 2 |
| | | | | 2.2.2.02.2 | 2.2.2.02.2 | Pomares de amendoeira com vinha | 2 |
| | | | | 2.2.2.02.3 | 2.2.2.02.3 | Pomares de castanheiro com vinha | 2 |
| | | | | 2.2.2.02.4 | 2.2.2.02.4 | Pomares de alfarrobeira com vinha | 2 |
| | | | | 2.2.2.02.5 | 2.2.2.02.5 | Pomares de citrinos com vinha | 2 |
| | | | | 2.2.2.02.6 | 2.2.2.02.6 | Outros pomares com vinha | 2 |
| | | | 2.2.2.03 | 2.2.2.03.1 | 2.2.2.03.1 | Pomares de frutos frescos com olival | 2 |
| | | | | 2.2.2.03.2 | 2.2.2.03.2 | Pomares de amendoeira com olival | 2 |
| | | | | 2.2.2.03.3 | 2.2.2.03.3 | Pomares de castanheiro com olival | 2 |
| | | | | 2.2.2.03.4 | 2.2.2.03.4 | Pomares de alfarrobeira com olival | 2 |
| | | | | 2.2.2.03.5 | 2.2.2.03.5 | Pomares de citrinos com olival | 2 |
| | | | | 2.2.2.03.6 | 2.2.2.03.6 | Outros pomares com olival | 2 |
| 2.2.3 | Olivais | 2.2.3.01 | 2.2.3.01.1 | Olivais | 2 | | |
| | | 2.2.3.02 | 2.2.3.02.1 | Olivais com vinha | 2 | | |
| | | 2.2.3.03 | 2.2.3.03.1 | Olivais com pomar | 2 | | |

Segundo a memória descritiva disponibilizada pela DGT em 2010, neste nível (Tabela 12) são consideradas áreas de culturas que ocupam a terra durante um longo período e fornecem repetidas colheitas, não incluindo prados e pastagens permanentes. No caso das árvores de fruto só são considerados os povoamentos com densidade mínima de 100 árvores /ha ou de 45 árvores /ha no caso de oliveiras, figueiras e árvores de frutos secos. Fazem parte desta classe os pomares, olivais e vinhas para produção.

No caso da classe vinhas (2.2.1), inclui todas as áreas de vinha cuja superfície ocupada por videiras seja superior ou igual a 50%, bem como áreas em que a vinha constitui a exploração dominante sobre outros tipos de culturas permanentes como pomares e olivais.

A atribuição do grau de permeabilidade para a classe “vinhas” foi feita tendo em consideração a associação com a classe “Zonas verdes – baixo e médio porte”. Para as classes restantes foi feita a associação com a classe “Zonas verdes – vegetação alto porte”.

- **Nível 2.3 – Pastagens permanentes**

Tabela 13 – Extracto com as nomenclaturas CLC, COS e classes de impermeabilidade (DGT, 2010).

| Nível 2 | Nível 3 | Descrição | Nível 4 | Nível 5 | Descrição | Classes de impermeabilidade |
|---------|---------|-----------------------|----------|------------|-----------------------|-----------------------------|
| 2.3 | 2.3.1 | Pastagens permanentes | 2.3.1.01 | 2.3.1.01.1 | Pastagens permanentes | 3 |

Este tipo de culturas (Tabela 13) ocupa áreas de forma permanente por um período superior ou igual a 5 anos com vegetação essencialmente do tipo herbácea, quer cultivada (semeada) quer natural (espontânea), que não estejam incluídas no sistema de rotação de exploração. Pode verificar-se a presença de árvores florestais desde que com grau de coberto inferior a 10% e também podem ser encontradas estruturas agrícolas tais como cercados ou sebes, abrigos, comedouros e bebedouros. Estas estruturas são consideradas irrisórias no que diz respeito à aplicação do grau de permeabilidade desta classe uma vez que se encontram em quantidades muito pequenas, neste sentido foi feita a associação com a classe “Zonas verdes – baixo e médio porte”.

- **Nível 2.4 – Áreas agrícolas heterogéneas**

Tabela 14 – Extracto com as nomenclaturas CLC, COS e classes de impermeabilidade (DGT, 2010).

| Nível 2 | Nível 3 | Descrição | Nível 4 | Nível 5 | Descrição | Classes de impermeabilidade |
|---------|---------|---|----------|------------|--|-----------------------------|
| 2.4 | 2.4.1 | Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes | 2.4.1.01 | 2.4.1.01.1 | Culturas temporárias de sequeiro associadas a vinha | 3 |
| | | | | 2.4.1.01.2 | Culturas temporárias de sequeiro associadas a pomar | 3 |
| | | | | 2.4.1.01.3 | Culturas temporárias de sequeiro associadas a olival | 3 |
| | | | 2.4.1.02 | 2.4.1.02.1 | Culturas temporárias de regadio associadas a vinha | 3 |

| | | | | | |
|----------|--|--|------------|--|---|
| | | | 2.4.1.02.2 | Culturas temporárias de regadio associadas a pomar | 3 |
| | | | 2.4.1.02.3 | Culturas temporárias de regadio associadas a olival | 3 |
| | | 2.4.1.03 | 2.4.1.03.1 | Pastagens associadas a vinha | 3 |
| | | | 2.4.1.03.2 | Pastagens associadas a pomar | 3 |
| | | | 2.4.1.03.3 | Pastagens associadas a olival | 3 |
| 2.4.2 | Sistemas culturais e parcelares complexos | 2.4.2.01 | 2.4.2.01.1 | Sistemas culturais e parcelares complexos | 5 |
| 2.4.3 | Agricultura com espaços naturais e semi-naturais | 2.4.3.01 | 2.4.3.01.1 | Agricultura com espaços naturais e semi-naturais | 3 |
| 2.4.4 | Sistemas agro-florestais (SAF) | 2.4.4.01 | 2.4.4.01.1 | SAF de sobreiro com culturas temporárias de sequeiro | 3 |
| | | | 2.4.4.01.2 | SAF de azinheira com culturas temporárias de sequeiro | 3 |
| | | | 2.4.4.01.3 | SAF de outros carvalhos com culturas temporárias de sequeiro | 3 |
| | | | 2.4.4.01.4 | SAF de pinheiro manso com culturas temporárias de sequeiro | 3 |
| | | | 2.4.4.01.5 | SAF de outras espécies com culturas temporárias de sequeiro | 3 |
| | | | 2.4.4.01.6 | SAF de sobreiro com azinheira e com culturas temporárias de sequeiro | 3 |
| | | | 2.4.4.01.7 | SAF de outras misturas com culturas temporárias de sequeiro | 3 |
| | | 2.4.4.02 | 2.4.4.02.1 | SAF de sobreiro com culturas temporárias de regadio | 3 |
| | | | 2.4.4.02.2 | SAF de azinheira com culturas temporárias de regadio | 3 |
| | | | 2.4.4.02.3 | SAF de outros carvalhos com culturas temporárias de regadio | 3 |
| | | | 2.4.4.02.4 | SAF de pinheiro manso com culturas temporárias de regadio | 3 |
| | | | 2.4.4.02.5 | SAF de outras espécies com culturas temporárias de regadio | 3 |
| | | | 2.4.4.02.6 | SAF de sobreiro com azinheira e com culturas temporárias de regadio | 3 |
| | | | 2.4.4.02.7 | SAF de outras misturas com culturas temporárias de sequeiro | 3 |
| | | 2.4.4.03 | 2.4.4.03.1 | SAF de sobreiro com pastagens | 3 |
| | | | 2.4.4.03.2 | SAF de azinheira com pastagens | 3 |
| | | | 2.4.4.03.3 | SAF de outros carvalhos com pastagens | 3 |
| | | | 2.4.4.03.4 | SAF de pinheiro manso com pastagens | 3 |
| | | | 2.4.4.03.5 | SAF de outras espécies com pastagens | 3 |
| | | | 2.4.4.03.6 | SAF de sobreiro com azinheira com pastagens | 3 |
| | | | 2.4.4.03.7 | SAF de outras misturas com pastagens | 3 |
| 2.4.4.04 | 2.4.4.04.1 | SAF de sobreiro com culturas permanentes | 3 | | |
| | 2.4.4.04.2 | SAF de azinheira com culturas permanentes | 3 | | |
| | 2.4.4.04.3 | SAF de outros carvalhos com culturas permanentes | 3 | | |
| | 2.4.4.04.4 | SAF de pinheiro manso com culturas permanentes | 3 | | |
| | 2.4.4.04.5 | SAF de outras espécies com culturas permanentes | 3 | | |
| | 2.4.4.04.6 | SAF de sobreiro com azinheira com culturas permanentes | 3 | | |
| | 2.4.4.04.7 | SAF de outras misturas com culturas permanentes | 3 | | |

Esta classe (Tabela 14), como o nome indica, inclui culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes, culturas temporárias ou permanentes cultivadas sob coberto florestal, áreas de mosaicos de culturas temporárias, pastagens e culturas permanentes e paisagens em que as culturas e pastagens se encontram misturadas com áreas naturais ou semi – naturais (DGT, 2010). No seguimento desta descrição, embora exista coberto florestal, a sua área quando comparada com a área ocupada por culturas temporárias e/ou pastagens é muito menor, o que leva a que a que este tipo de cobertura seja classificado como “Zonas verdes – baixo e médio porte”.

Relativamente aos sistemas culturais e parcelares complexos houve alguma dificuldade de enquadramento no sistema de classes proposto, uma vez que existe uma grande variedade de coberturas do solo, ou seja, segundo a memória descritiva da COS do IGP (actualmente DGT), esta classe é descrita como áreas de uso agrícola onde podem ocorrer mosaicos de parcelas inferiores à unidade mínima cartográfica (UMC) e que correspondem a combinações diversificadas entre culturas temporárias de regadio, culturas temporárias de sequeiro, pastagens permanentes e culturas permanentes. “Este tipo de coberturas pode estar muitas vezes situado na proximidade de aglomerados urbanos ou rurais em resultado da produção agrícola de frutos ou legumes para consumo próprio, como é o caso de hortas particulares. Inclui também jardins urbanos com dimensões inferiores à UMC e edifícios dispersos correspondentes a uma impermeabilização inferior a 30%.” Neste sentido optou-se por atribuir uma classe de impermeabilidade de 5, o que equivale à classe “solo terroso”. Como pode existir, esporadicamente, situações de impermeabilidade (exemplo: construções/edifícios), entendeu-se que atribuir o mesmo valor de impermeabilidade nesta situação não seria muito apropriado, fazendo-se assim uma pequena distinção, mínima (apenas de um valor), apenas por causa das situações que podem ocorrer de impermeabilidade e que já foram anteriormente descritas.

- **Nível 3.1 – Florestas**

Tabela 15 – Extracto com as nomenclaturas CLC, COS e classes de impermeabilidade (DGT, 2010).

| Nível 2 | Nível 3 | Descrição | Nível 4 | Nível 5 | Descrição | Classes de impermeabilidade |
|------------|---------|-----------------------|----------|---|--|-----------------------------|
| 3.1 | 3.1.1 | Florestas de folhosas | 3.1.1.01 | 3.1.1.01.1 | Florestas de sobreiro | 2 |
| | | | | 3.1.1.01.2 | Florestas de azinheira | 2 |
| | | | | 3.1.1.01.3 | Florestas de outros carvalhos | 2 |
| | | | | 3.1.1.01.4 | Florestas de castanheiro | 2 |
| | | | | 3.1.1.01.5 | Florestas de eucalipto | 2 |
| | | | | 3.1.1.01.6 | Florestas de espécies invasoras | 2 |
| | | | | 3.1.1.01.7 | Florestas de outras folhosas | 2 |
| | | | 3.1.1.02 | 3.1.1.02.1 | Florestas de sobreiro com folhosas | 2 |
| | | | | 3.1.1.02.2 | Florestas de azinheira com folhosas | 2 |
| | | | | 3.1.1.02.3 | Florestas de outros carvalhos com folhosas | 2 |
| | | | | 3.1.1.02.4 | Florestas de castanheiro com folhosas | 2 |
| | | | | 3.1.1.02.5 | Florestas de eucalipto com folhosas | 2 |
| | | | | 3.1.1.02.6 | Florestas de espécies invasoras com folhosas | 2 |
| | | | | 3.1.1.02.7 | Florestas de outra folhosa com folhosas | 2 |
| | 3.1.2 | Florestas resinosas | 3.1.2.01 | 3.1.2.01.1 | Florestas de pinheiro bravo | 2 |
| | | | | 3.1.2.01.2 | Florestas de pinheiro manso | 2 |
| | | | | 3.1.2.01.3 | Florestas de outras resinosas | 2 |
| | | | 3.1.2.02 | 3.1.2.02.1 | Florestas de pinheiro bravo com resinosas | 2 |
| | | | | 3.1.2.02.2 | Florestas de pinheiro manso com resinosas | 2 |
| | | | | 3.1.2.02.3 | Florestas de outra resinosa com resinosas | 2 |
| | 3.1.3 | Florestas mistas | 3.1.3.01 | 3.1.3.01.1 | Florestas de sobreiro com resinosas | 2 |
| 3.1.3.01.2 | | | | Florestas de azinheira com resinosas | 2 | |
| 3.1.3.01.3 | | | | Florestas de outros carvalhos com resinosas | 2 | |
| 3.1.3.01.4 | | | | Florestas de castanheiro com resinosas | 2 | |
| 3.1.3.01.5 | | | | Florestas de eucalipto com resinosas | 2 | |
| 3.1.3.01.6 | | | | Florestas de espécies invasoras com resinosas | 2 | |
| 3.1.3.01.7 | | | | Florestas de outra folhosa com resinosas | 2 | |

| | | | | | |
|--|--|----------|------------|---|---|
| | | | 3.1.3.01.8 | Florestas de misturas de folhosas com resinosas | 2 |
| | | 3.1.3.02 | 3.1.3.02.1 | Florestas de pinheiro bravo com folhosas | 2 |
| | | | 3.1.3.02.2 | Florestas de pinheiro manso com folhosas | 2 |
| | | | 3.1.3.02.3 | Florestas de outra resinosas com folhosas | 2 |
| | | | 3.1.3.02.4 | Florestas de misturas de resinosas com folhosas | 2 |

Nesta classe, descrita na Tabela 15, incluíram-se áreas ocupadas por conjuntos de árvores florestais resultantes de regeneração natural, sementeira ou plantação, cuja altura das árvores deve ser igual ou superior a 5 m e no seu conjunto deve constituir uma área com grau de coberto superior ou igual a 30%. O sob coberto não é dedicado à agricultura nem a actividades recreativas quando inseridas em contexto urbano. Estão contemplados nesta classe florestas folhosas, resinosas e mistas. Neste sentido pode-se fazer a analogia com a classe “Zonas verdes – Vegetação alto porte” com o valor 2.

- **Nível 3.2 – Florestas abertas, vegetação arbustiva e herbácea**

Tabela 16 – Extracto com as nomenclaturas CLC, COS e classes de impermeabilidade (DGT, 2010).

| Nível 2 | Nível 3 | Descrição | Nível 4 | Nível 5 | Descrição | Classes de impermeabilidade | |
|------------|------------|--|--|------------|---|---|---|
| 3.2 | 3.2.1 | Vegetação herbácea natural | 3.2.1.01 | 3.2.1.01.1 | Vegetação herbácea natural | 3 | |
| | 3.2.2 | Matos | 3.2.2.01 | 3.2.2.01.1 | Matos densos | 3 | |
| | | | 3.2.2.02 | 3.2.2.02.1 | Matos pouco densos | 3 | |
| | 3.2.3 | Vegetação esclerófila | 3.2.3.01 | 3.2.3.01.1 | Vegetação esclerófila densa | 3 | |
| | | | 3.2.3.02 | 3.2.3.02.1 | Vegetação esclerófila pouco densa | 3 | |
| | 3.2.4 | Florestas abertas, cortes e novas plantações | 3.2.4.01 | 3.2.4.01.1 | 3.2.4.01.1 | Florestas abertas de sobreiro | 3 |
| | | | | | 3.2.4.01.2 | Florestas abertas de azinheira | 3 |
| | | | | | 3.2.4.01.3 | Florestas abertas de outros carvalhos | 3 |
| | | | | | 3.2.4.01.4 | Florestas abertas de castanheiro | 3 |
| | | | | | 3.2.4.01.5 | Florestas abertas de eucalipto | 3 |
| | | | | | 3.2.4.01.6 | Florestas abertas de espécies invasoras | 3 |
| | | | | | 3.2.4.01.7 | Florestas abertas de outras folhosas | 3 |
| | | | 3.2.4.02 | 3.2.4.02.1 | 3.2.4.02.1 | Florestas abertas de sobreiro com folhosas | 3 |
| | | | | | 3.2.4.02.2 | Florestas abertas de azinheira com folhosas | 3 |
| | | | | | 3.2.4.02.3 | Florestas abertas de outros carvalhos com folhosas | 3 |
| | | | | | 3.2.4.02.4 | Florestas abertas de castanheiro com folhosas | 3 |
| | | | | | 3.2.4.02.5 | Florestas abertas de eucalipto com folhosas | 3 |
| | | | | | 3.2.4.02.6 | Florestas abertas de espécies invasoras com folhosas | 3 |
| | | | | | 3.2.4.02.7 | Florestas abertas de outra folhosa com folhosas | 3 |
| | | | 3.2.4.03 | 3.2.4.03.1 | 3.2.4.03.1 | Florestas abertas de pinheiro bravo | 3 |
| | | | | | 3.2.4.03.2 | Florestas abertas de pinheiro manso | 3 |
| | | | | | 3.2.4.03.3 | Florestas abertas de outras resinosas | 3 |
| | | | 3.2.4.04 | 3.2.4.04.1 | 3.2.4.04.1 | Florestas abertas de pinheiro bravo com resinosas | 3 |
| | | | | | 3.2.4.04.2 | Florestas abertas de pinheiro manso com resinosas | 3 |
| | | | | | 3.2.4.04.3 | Florestas abertas de outra resinosas com resinosas | 3 |
| | | | 3.2.4.05 | 3.2.4.05.1 | 3.2.4.05.1 | Florestas abertas de sobreiro com resinosas | 3 |
| | | | | | 3.2.4.05.2 | Florestas abertas de azinheira com resinosas | 3 |
| | | | | | 3.2.4.05.3 | Florestas abertas de outros carvalhos com resinosas | 3 |
| | | | | | 3.2.4.05.4 | Florestas abertas de castanheiro com resinosas | 3 |
| | | | | | 3.2.4.05.5 | Florestas abertas de eucalipto com resinosas | 3 |
| | | | | | 3.2.4.05.6 | Florestas abertas de espécies invasoras com resinosas | 3 |
| | | | | | 3.2.4.05.7 | Florestas abertas de outra folhosa com resinosas | 3 |
| 3.2.4.05.8 | | | | | Florestas abertas de misturas de folhosas com resinosas | 3 | |
| 3.2.4.06 | 3.2.4.06.1 | 3.2.4.06.1 | Florestas abertas de pinheiro bravo com folhosas | 3 | | | |
| | | 3.2.4.06.2 | Florestas abertas de pinheiro manso com folhosas | 3 | | | |

| | | | | |
|--|----------|------------|---|---|
| | | 3.2.4.06.3 | Florestas abertas de outras resinosas com folhosas | 3 |
| | | 3.2.4.06.4 | Florestas abertas de misturas de resinosas com folhosas | 3 |
| | 3.2.4.07 | 3.2.4.07.1 | Outras formações lenhosas | 3 |
| | 3.2.4.08 | 3.2.4.08.1 | Cortes rasos de florestas de sobreiro | 3 |
| | | 3.2.4.08.2 | Cortes rasos de florestas de azinheira | 3 |
| | | 3.2.4.08.3 | Cortes rasos de florestas de outros carvalhos | 3 |
| | | 3.2.4.08.4 | Cortes rasos de florestas de castanheiro | 3 |
| | | 3.2.4.08.5 | Cortes rasos de florestas de eucalipto | 3 |
| | | 3.2.4.08.6 | Cortes rasos de florestas de espécies invasoras | 3 |
| | | 3.2.4.08.7 | Cortes rasos de florestas de outras folhosas | 3 |
| | 3.2.4.09 | 3.2.4.09.1 | Cortes rasos de florestas de pinheiro bravo | 3 |
| | | 3.2.4.09.2 | Cortes rasos de florestas de pinheiro manso | 3 |
| | | 3.2.4.09.3 | Cortes rasos de florestas de outras resinosas | 3 |
| | 3.2.4.10 | 3.2.4.10.1 | Novas plantações de florestas de sobreiro | 3 |
| | | 3.2.4.10.2 | Novas plantações de florestas de azinheira | 3 |
| | | 3.2.4.10.3 | Novas plantações de florestas de outros carvalhos | 3 |
| | | 3.2.4.10.4 | Novas plantações de florestas de castanheiro | 3 |
| | | 3.2.4.10.5 | Novas plantações de florestas de eucalipto | 3 |
| | | 3.2.4.10.6 | Novas plantações de florestas de espécies invasoras | 3 |
| | | 3.2.4.10.7 | Novas plantações de florestas de outras folhosas | 3 |
| | 3.2.4.11 | 3.2.4.11.1 | Novas plantações de florestas de pinheiro bravo | 3 |
| | | 3.2.4.11.2 | Novas plantações de florestas de pinheiro manso | 3 |
| | | 3.2.4.11.3 | Novas plantações de florestas de outras resinosas | 3 |
| | 3.2.4.12 | 3.2.4.12.1 | Viveiros florestais | 3 |
| | 3.2.4.13 | 3.2.4.13.1 | Aceiros e/ou corta-fogos | 5 |

O nível 3.2 que corresponde a “Florestas abertas e vegetação arbustiva e herbácea” compreende, segundo a memória descritiva da DGT e exposta na Tabela 16, “*áreas com coberto vegetal composto principalmente por arbustos e vegetação herbácea. Inclui comunidades de herbáceas, sebes, coníferas anãs, matos, vegetação esclerófila, prados e florestas abertas, degradadas ou em regeneração*”.

Neste nível são consideradas ainda “Florestas abertas, cortes e novas plantações” (nível 3.2.4) como sendo “*áreas de cortes rasos, novas plantações florestais, aceiros, e/ou corta-fogos, outras formações lenhosas e áreas recentemente afectadas por fogos florestais em processo de regeneração desde que as árvores tenham uma altura inferior a 5 m e/ou um grau de coberto de inferior a 30%. Esta classe inclui também áreas ocupadas por conjunto de árvores florestais com altura igual ou superior a 5 m, cujo grau de coberto é igual ou superior 10% e inferior a 30%.*”

Neste caso, apesar de haver a eventualidade de existir áreas em que haja árvores de grande porte (altura superior a 5 m), a sua percentagem de coberto é pequena o que não justifica que haja uma distinção neste tipo de atributo de permeabilidade sendo atribuído a classe 3 que corresponde à classe “Zonas verdes – vegetação baixa e médio porte”.

No caso da classe “3.2.4.13.1 - Aceiros e /ou corta – fogos” foi atribuída a classe 5 de impermeabilidade. Esta atribuição prende-se com o facto de se tratar de áreas de uso florestal mantidas sem vegetação para efeitos de corta – fogo, acesso de viaturas ou divisão de talhões florestais.

- **Nível 3.3 – Zonas descobertas e com pouca vegetação**

Tabela 17 - Extracto com as nomenclaturas CLC, COS e classes de impermeabilidade (DGT, 2010).

| Nível 2 | Nível 3 | Descrição | Nível 4 | Nível 5 | Descrição | Classes de impermeabilidade |
|---------|---------------------------|---|------------|------------|---|---|
| 3.3 | 3.3.1 | Praias, dunas e areais | 3.3.1.01 | 3.3.1.01.1 | Praias, dunas e areais interiores | 4 |
| | | | 3.3.1.02 | 3.3.1.02.1 | Praias, dunas e areais costeiros | 4 |
| | 3.3.2 | Rocha nua | 3.3.2.01 | 3.3.2.01.1 | Rocha nua | 7 |
| | 3.3.3 | Vegetação esparsa | 3.3.3.01 | 3.3.3.01.1 | Vegetação esparsa | 3 |
| | 3.3.4 | Áreas áridas | 3.3.4.01 | 3.3.4.01.1 | Áreas áridas não florestais | 5 |
| | | | | 3.3.4.02.1 | Áreas áridas em florestas de sobreiro | 5 |
| | | | 3.3.4.02 | 3.3.4.02.2 | Áreas áridas em florestas de azinheira | 5 |
| | | | | 3.3.4.02.3 | Áreas áridas em florestas de outros carvalhos | 5 |
| | | | | 3.3.4.02.4 | Áreas áridas em florestas de castanheiro | 5 |
| | | | | 3.3.4.02.5 | Áreas áridas em florestas de eucalipto | 5 |
| | | | | 3.3.4.02.6 | Áreas áridas em florestas de espécies invasoras | 5 |
| | | | | 3.3.4.02.7 | Áreas áridas em florestas de outras folhosas | 5 |
| | | | | 3.3.4.03 | 3.3.4.03.1 | Áreas áridas em florestas de pinheiro bravo |
| | | | 3.3.4.03.2 | | Áreas áridas em florestas de pinheiro manso | 5 |
| | 3.3.4.03.3 | Áreas áridas em florestas de outras resinosas | 5 | | | |
| 3.3.5 | Neves eternas e glaciares | | | | 1 | |

As zonas descobertas e com pouca vegetação englobam áreas naturais com pouca ou nenhuma vegetação. Nestas áreas estão incluídas áreas áridas recentemente, rocha nua, zonas pedregosas, praias e areais. Neste contexto, para cada classe de nível 5 (mais detalhado descrito na Tabela 17), tentou-se atribuir uma classe de impermeabilidade que mais se adequasse a cada uma.

No caso da classe “Neves eternas e glaciares” é uma classe muito especial que aparece somente na CORINE Land Cover. A atribuição de um grau de impermeabilidade em termos de comportamento de escoamento superficial pode ser muito subjectiva, já que, pode ter leituras diferentes. Em termos teóricos, a neve e os glaciares são compostos por água em estado sólido, atribuindo-se por isso o grau de impermeabilidade 1.

- **Nível 4.1 – Zonas húmidas interiores**

Tabela 18 – Extracto com as nomenclaturas CLC, COS e classes de impermeabilidade (DGT, 2010).

| Nível 2 | Nível 3 | Descrição | Nível 4 | Nível 5 | Descrição | Classes de impermeabilidade |
|---------|---------|-----------|----------|------------|-----------|-----------------------------|
| 4.1 | 4.1.1 | Paúis | 4.1.1.01 | 4.1.1.01.1 | Paúis | 2 |
| | 4.1.2 | Turfeiras | 4.1.2.01 | 4.1.2.01.1 | Turfeiras | 2 |

São consideradas zonas húmidas interiores “*áreas da margem de lagoas, rios e ribeiros ou de brejos e pântanos eutróficos, onde se verifique a predominância de solos húmidos alagados, permanentemente ou temporariamente, por água doce ou salobra. Inclui zonas de águas paradas com coberto vegetal particular, constituído por arbustos baixos e espécies lenhosas ou semi-lenhosas.*” (DGT, 2010). Os graus de impermeabilidade

foram atribuídos de acordo com as classes de cobertura do solo que mais se adaptavam à realidade (Tabela 18).

- **Nível 4.2 – Zonas húmidas litorais**

Tabela 19 – Extracto com as nomenclaturas CLC, COS e classes de impermeabilidade (DGT, 2010).

| Nível 2 | Nível 3 | Descrição | Nível 4 | Nível 5 | Descrição | Classes de impermeabilidade |
|---------|---------|-------------------------------|----------|------------|---------------------|-----------------------------|
| 4.2 | 4.2.1 | Sapais | 4.1.2.01 | 4.1.2.01.1 | Sapais | 1 |
| | 4.2.2 | Salinas e aquicultura litoral | 4.2.2.01 | 4.2.2.01.1 | Salinas | 1 |
| | | | 4.2.2.02 | 4.2.2.02.1 | Aquicultura litoral | 1 |
| | 4.2.3 | Zonas entre-marés | 4.2.3.01 | 4.2.3.01.1 | Zonas entre-marés | 1 |

As zonas húmidas litorais (Tabela 19) compreendem as áreas submersas durante a preia-mar em algum momento do ciclo anual de marés, incluindo sapais, vegetação que ocupe áreas de salinidade e humidade variáveis, areias e lodos sem plantas vasculares, e salinas activas ou recentemente abandonadas (DGT, 2010). Como se tratam de zonas que estão quase sempre inundadas, considerou-se um grau de impermeabilidade baixo no valor de 1.

- **Nível 5.1 – Águas interiores**

Tabela 20 – Extracto com as nomenclaturas CLC, COS e classes de impermeabilidade (DGT, 2010).

| Nível 2 | Nível 3 | Descrição | Nível 4 | Nível 5 | Descrição | Classes de impermeabilidade |
|---------|---------|----------------|----------|------------|--|-----------------------------|
| 5.1 | 5.1.1 | Cursos de água | 5.1.1.01 | 5.1.1.01.1 | Cursos de água naturais | 12 |
| | | | 5.1.1.02 | 5.1.1.02.1 | Canais artificiais | 1 |
| | 5.1.2 | Planos de água | 5.1.2.01 | 5.1.2.01.1 | Lagos e lagoas interiores artificiais | 1 |
| | | | | 5.1.2.01.2 | Lagos e lagoas interiores naturais | 1 |
| | | | 5.1.2.02 | 5.1.2.02.1 | Reservatórios de barragens | 1 |
| | | | | 5.1.2.03.1 | Reservatórios de represas ou de açudes | 1 |
| | | | 5.1.2.03 | 5.1.2.03.2 | Charcas | 1 |
| | | | | 5.1.2.03.3 | Aquicultura interior | 1 |

No nível referente a “Águas interiores” (Tabela 20) encontram-se os níveis “Cursos de água” e “Planos de água” e são considerados, essencialmente, cursos de água e planos de água, naturais e artificiais, que incluem lagoas interiores naturais, charcas e reservatórios de barragens, represas e açudes.

Na classe “Cursos de água” houve uma distinção a nível de atribuição do grau de impermeabilidade entre os “Cursos de água naturais” e os “canais artificiais”, uma vez que se considerou que na primeira classe (5.1.1.01) faz referencia a linhas de água, como rios ou ribeiras e por isso a água segue o seu percurso normal de escoamento até ao mar.

No caso dos planos de água, como é o caso dos reservatórios de barragens, quando o paredão da barragem tem uma área superior à UMC, considera-se uma infra-estrutura de captação,

tratamento e abastecimento de águas para consumo (classe 1.2.1.06.1) ou infra-estrutura de produção de energia renovável (classe 1.2.1.05.1).

- **Nível 5.2 – Águas marinhas e costeiras**

Tabela 21 – Extracto com as nomenclaturas CLC, COS e classes de impermeabilidade (DGT, 2010).

| Nível 2 | Nível 3 | Descrição | Nível 4 | Nível 5 | Descrição | Classes de impermeabilidade |
|---------|---------|-------------------------|----------|------------|-------------------------|-----------------------------|
| 5.2 | 5.2.1 | Lagoas costeiras | 5.2.1.01 | 5.2.1.01.1 | Lagoas costeiras | 12 |
| | 5.2.2 | Desembocaduras fluviais | 5.2.2.01 | 5.2.2.01.1 | Desembocaduras fluviais | 12 |
| | 5.2.3 | Oceano | 5.2.3.01 | 5.2.3.01.1 | Oceano | 12 |

Por último encontra-se a classe referente a “Águas marinhas e costeiras”, descrita na Tabela 21, na qual se encontram oceanos e outros planos de água salgada, incluindo águas costeiras salobras separadas do mar por cordões arenosos ou lodosos, estuários, entre outros. Neste contexto, foram aplicados os graus de impermeabilidade referentes à classe “Corpos de água naturais” com o valor de 12.

4.2 Metodologia proposta de atribuição automática de graus de impermeabilidade a Cartografia Vectorial

No ponto anterior deste documento foram atribuídas classes de impermeabilidade de acordo com o grau de escoamento a cada classe da CLC e da COS. A Figura 16 pretende esquematizar todo o processo a partir de um determinado tipo de dados de origem até ao resultado final.

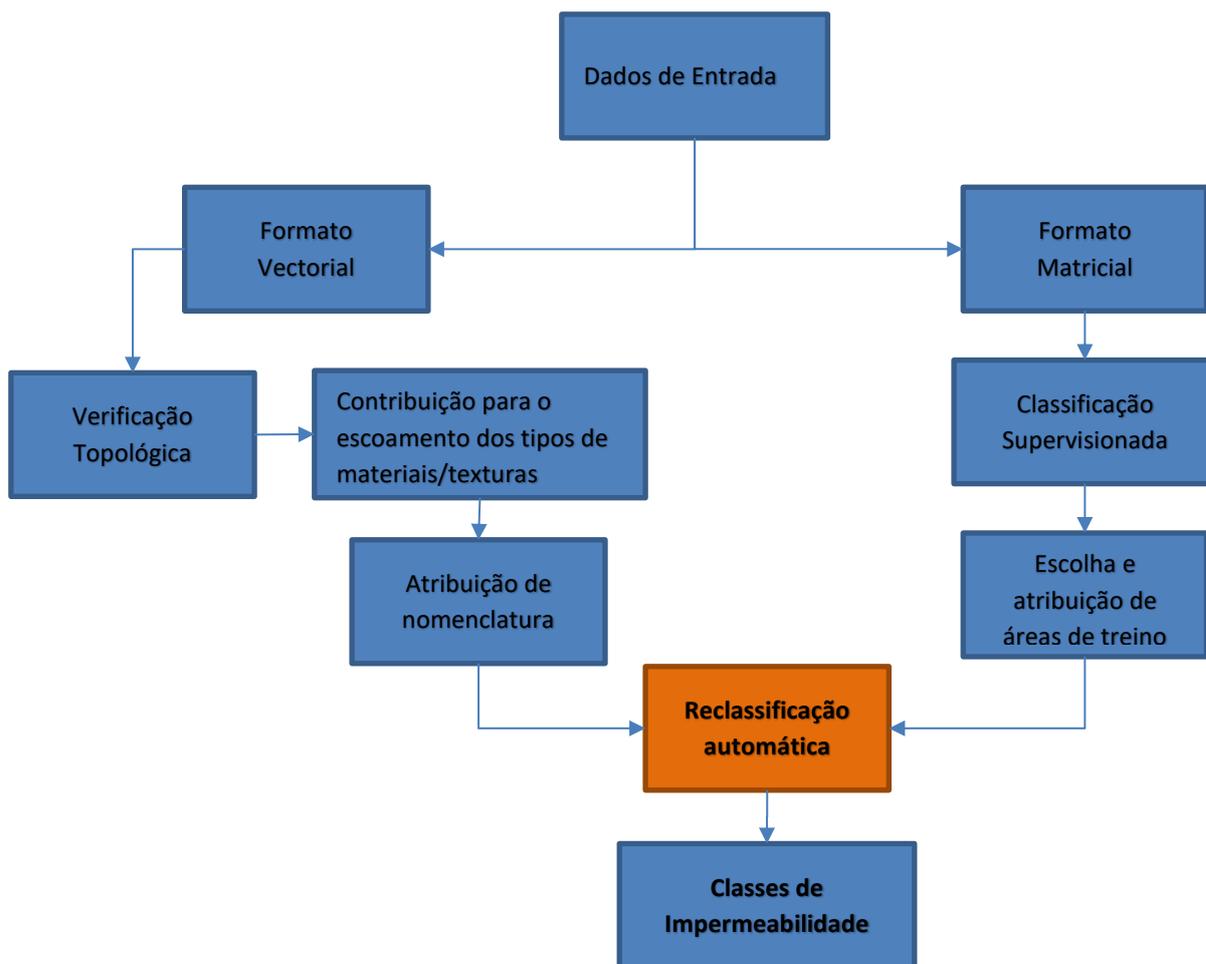


Figura 16 – Esquema geral do procedimento de obtenção de cartografia de impermeabilidade do solo.

Independentemente da natureza dos dados a usar (vectorial ou matricial) pretende-se demonstrar no esquema que a metodologia desenvolvida permite obter cartografia de impermeabilidade do solo tendo em conta o seu grau de escoamento de acordo com a nomenclatura desenvolvida. Neste sentido, consegue-se cartografia de impermeabilidade independente da sua natureza e escala consideradas.

Como foi explicado anteriormente no ponto 2.5 a detecção remota, por si só, está longe de garantir resultados desejáveis para grandes escalas e com o rigor geográfico pretendido. Ainda assim, a título de comparação, foi feita uma classificação supervisionada de um ortofotomapa que será demonstrada no ponto 4.2.3.

4.2.1 Modelo de dados usados – Cartografia de Base

A Figura 17 pretende demonstrar esquematicamente os procedimentos desenvolvidos para levar a cabo a reclassificação automática da cartografia em formato vectorial.

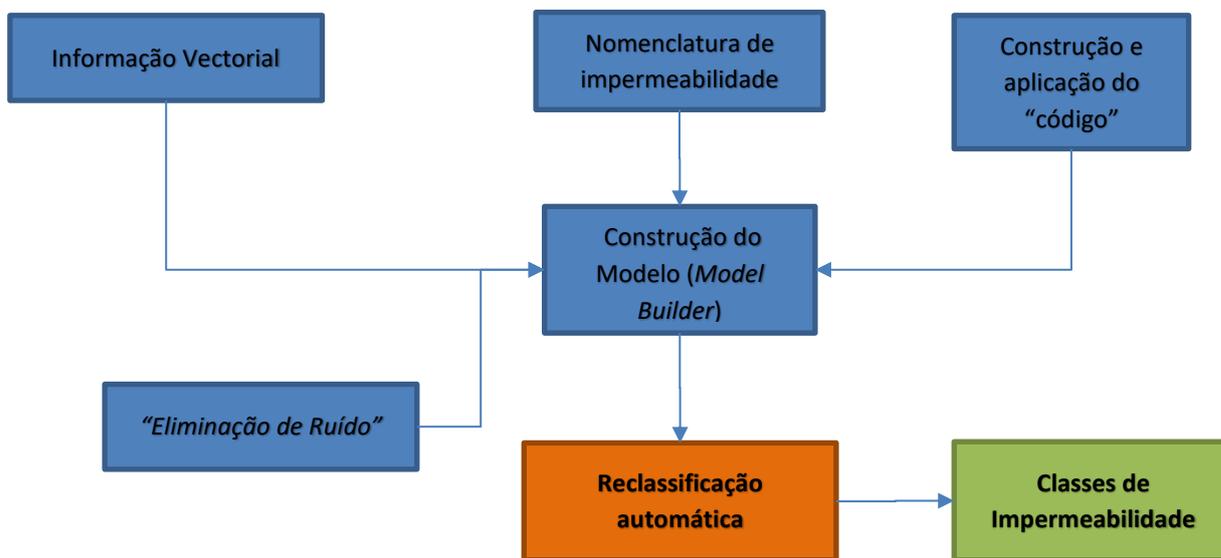


Figura 17 – Diagrama de obtenção da cartografia de impermeabilidade do solo.

Considerando que a informação vectorial está no formato ESRI (shapefile), num ficheiro único, foi desenvolvido um modelo de dados no programa ArcGIS 10.4 (Model Builder). Desta forma é possível automatizar o procedimento de reclassificação da cartografia obtendo assim classes de impermeabilidade. Para o efeito, foi necessário proceder à separação de camadas por tipo de informação (nome da camada), e proceder à conversão de geometria para polígonos, já que esta informação estava representada unicamente por linhas. Deste processo de conversão surge “ruído”, i.e. quando a informação é transformada de linhas para polígonos, o programa não consegue identificar, dentro de uma camada, quais os polígonos que realmente interessam transformando tudo em polígonos. Neste sentido é necessário editar a informação vectorial para que fique conforme, eliminando os polígonos sobrepostos entre camadas, considerando apenas aqueles que realmente fazem parte de uma determinada camada. Este procedimento foi designado por “Eliminação de Ruído”.

Para contornar esta situação, pode aplicar-se a ferramenta “Erase” que permite eliminar polígonos que se encontram sobrepostos em camadas diferentes, como ilustra a Figura 18.



Figura 18 – Funcionamento da ferramenta Erase.

Após este procedimento são criados dois campos do tipo texto (*string*). Um para a designação da camada, uma vez que, com a conversão de linhas para polígonos, este atributo é perdido e outro onde será atribuído o valor correspondente ao grau de impermeabilidade de acordo com a classe considerada inicialmente.

Com estes dois campos é feita uma reclassificação por comparação de valores do tipo texto (*string*), tendo como base a tabela 3.1. Este método foi desenvolvido através de um algoritmo que se encontra representado na Figura 19 através de um fluxograma.

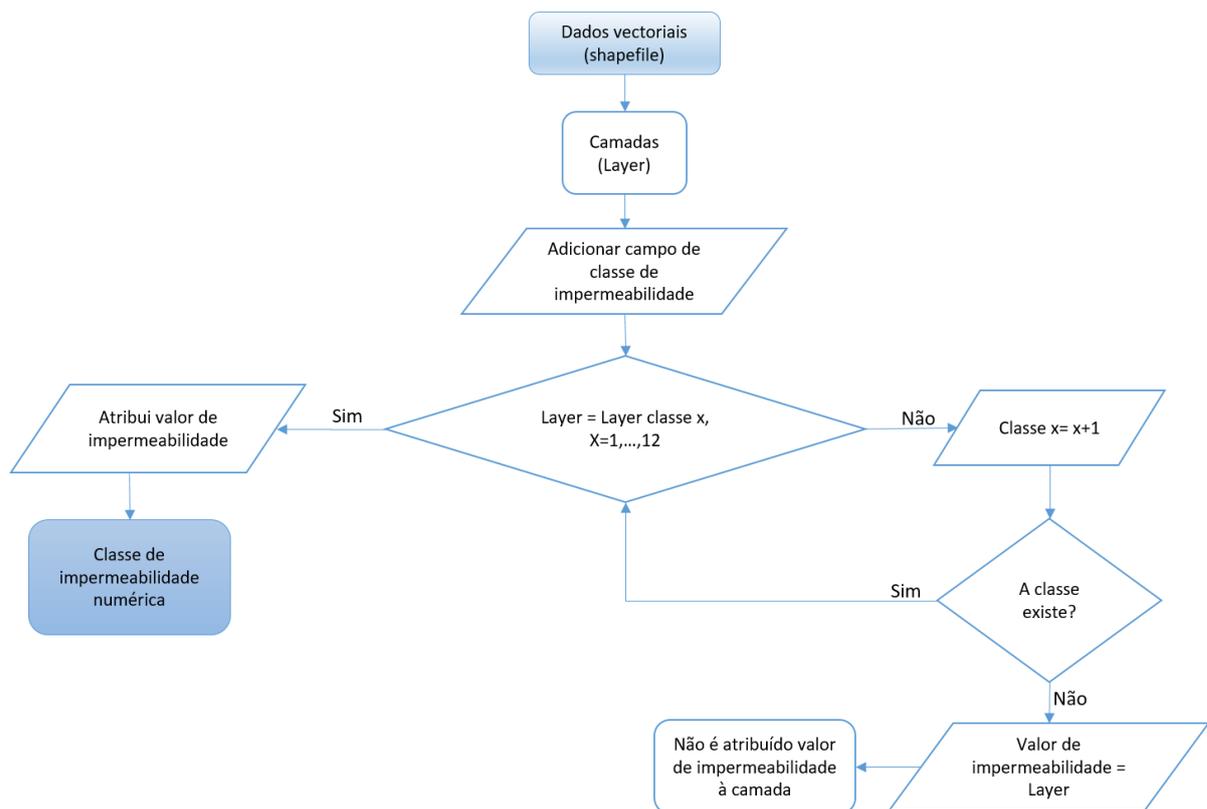


Figura 19 – Fluxograma do algoritmo de reclassificação de classes de impermeabilidade do solo.

4.2.2 Modelo de dados – CLC e COS

Analogamente ao que foi descrito no ponto anterior, foi aplicada a mesma metodologia para o caso da cartografia COS no nível de maior detalhe (nível 5). A Figura 20 ilustra o procedimento de automatismo da reclassificação.

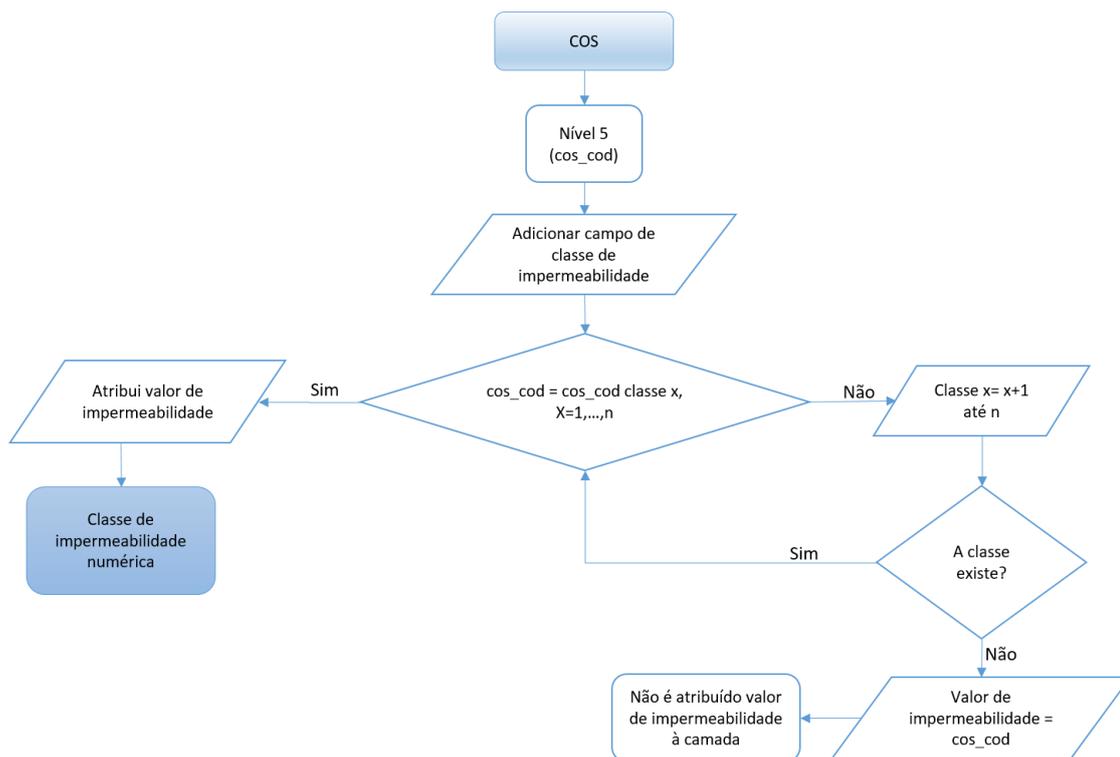


Figura 20 – Fluxograma do algoritmo de reclassificação de classes de impermeabilidade do solo da COS.

4.2.3 Classificação supervisionada de ortofotomapa

Com a finalidade de validar o pressuposto de que o uso da Detecção Remota ainda esta longe de garantir bons resultados para grandes escalas, nomeadamente para o objectivo desta dissertação, foi elaborada uma classificação supervisionada, a título de curiosidade, da mesma área de estudo, de um ortofotomapa da cidade de Coimbra.

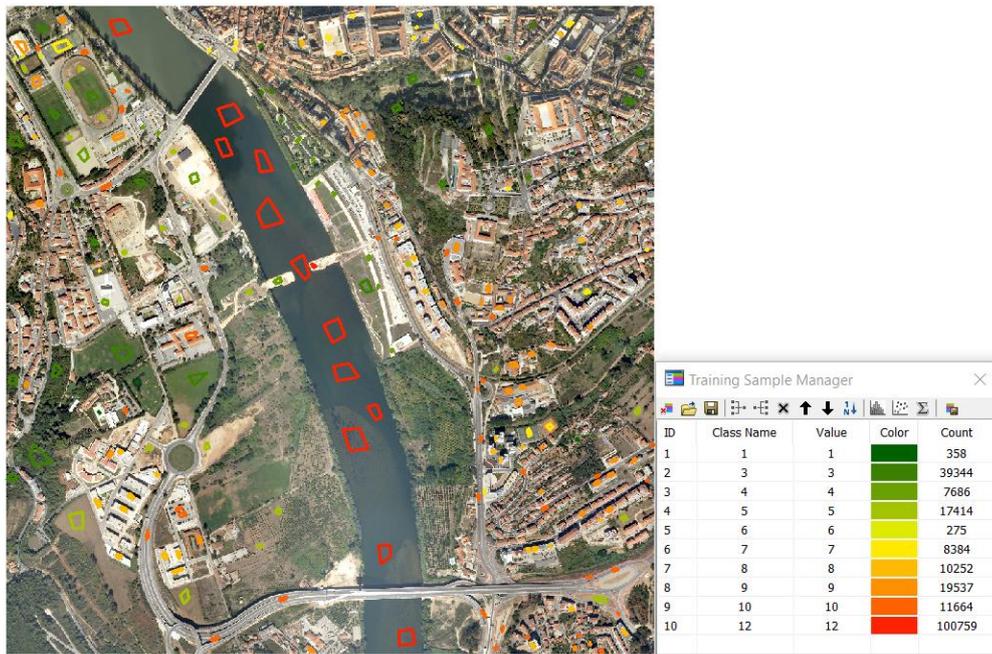


Figura 21 – Áreas de treino

Das 12 classes definidas foram identificadas 10 classes de cobertura do solo na imagem para as quais foram criadas 220 áreas de treino distribuídas pela imagem. Não foi possível identificar as classes referentes a “Sarjetas/sumidouros” e “Zonas verdes – vegetação alto porte”. A classe referente a sarjetas e sumidouros pretende incorporar nas classificações vectoriais de grande escala este tipo de objectos quando visualizados na imagem ou quando existe informação sobre eles. Neste caso, em detecção remota, é muito difícil identificar estes elementos por imagem, mesmo que esta esteja numa grande escala, que não é o caso, não só pela dimensão reduzida dos objectos em causa, mas também porque podem estar ocultos por outros objectos, nomeadamente edifícios, árvores ou outras coberturas.

Para este tipo de classificação estar completa seria necessário implementar filtros para eliminar os pixéis que ficaram erradamente classificados e que pertencem a outra classe. Seria necessário fazer também a elaboração de uma matriz de confusão que permite obter parâmetros para calcular o grau de precisão global da classificação em geral e o grau de precisão de cada classe em particular. Como o objectivo desta dissertação não é a aplicação deste tipo de classificação à área de estudo, os passos anteriormente descritos não foram elaborados, embora pudesse eventualmente ter interesse em saber quais os resultados obtidos na matriz de confusão.

4.3 Resultados obtidos

Aplicando a metodologia proposta no ponto 4.2 para cartografia de base, foram obtidos os resultados, que pretendem traduzir um mapa de cartografia de impermeabilidade urbana a grande escala tendo em conta o comportamento de escoamento superficial, conforme ilustra a Figura 22.

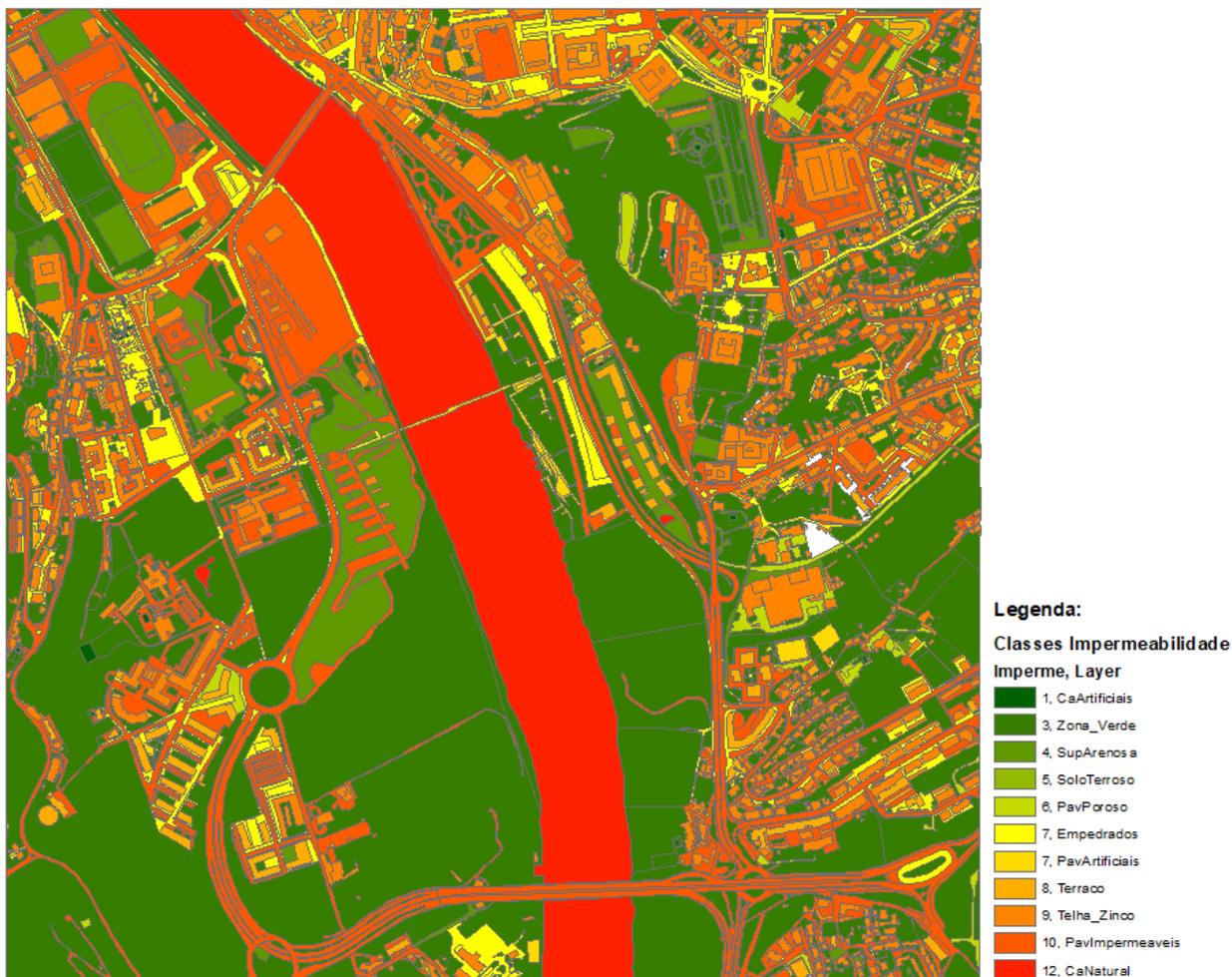


Figura 22 – Classificação de Impermeabilidade obtida pela metodologia proposta.

Analogamente foi aplicada a metodologia à cartografia COS2010 e ortofotomapa para comparação de resultados (Figura 23 e Figura 24). A Figura 23 apresenta apenas resultados para a área de estudo que estamos a considerar. Posteriormente foi feita a classificação para o distrito de Coimbra cujo resultado pode ser visualizado no Anexo III.



Figura 23 – Classificação de Impermeabilidade para a COS 2010.

No caso da cartografia da COS2010, a implementação da metodologia para classificação de impermeabilidade do solo foi quase imediata, com duração do processamento de apenas alguns segundos. Como já foi referido, a implementação da metodologia neste caso, foi necessário apenas proceder à adaptação da descrição das classes introduzidas no algoritmo (Figura 20).

Como se trata de cartografia oficial, i.e., cartografia desenvolvida e cedida por organismos públicos, apenas foi implementada a metodologia desenvolvida, não havendo por isso necessidade de edição dos dados.

Salienta-se que esta metodologia pode ser usada para cartografia de qualquer parte do mundo, como se pode verificar com a sua implementação para a COS2010.

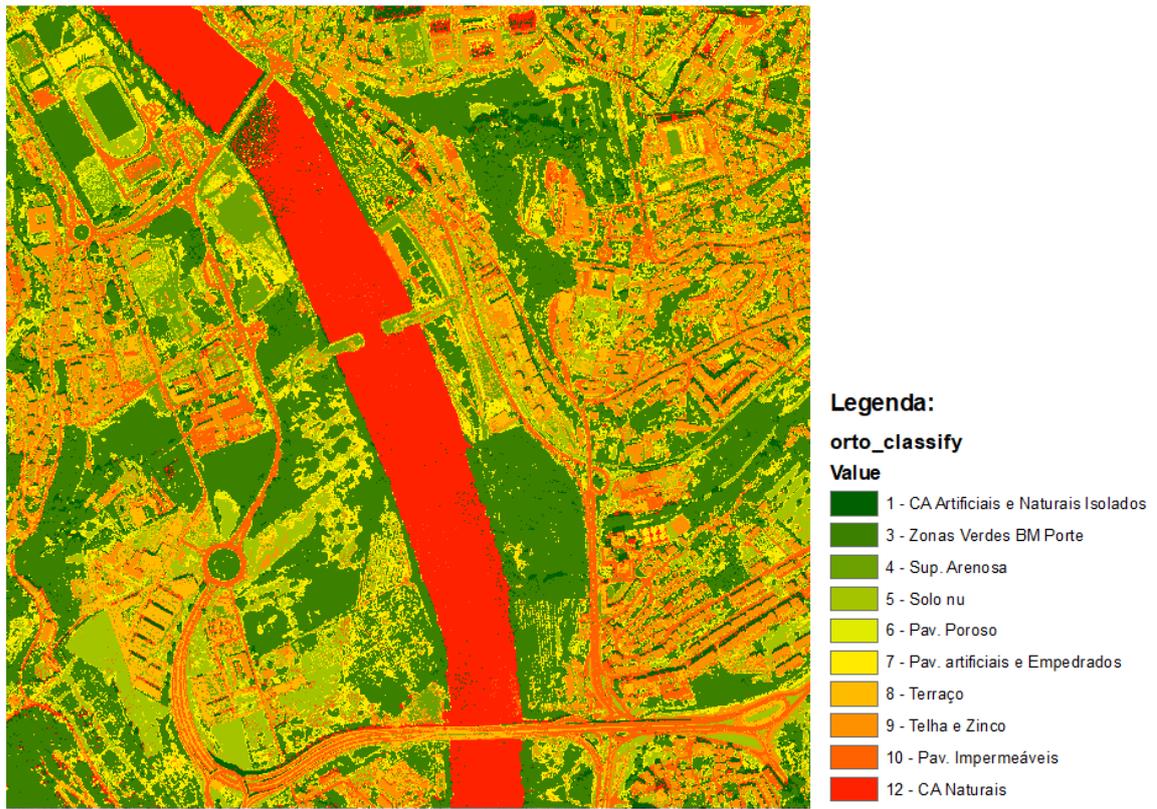


Figura 24 - Classificação Supervisionada com a atribuição das classes de Impermeabilidade

5 PROVA DO CONCEITO

Neste capítulo são feitas as comparações dos resultados obtidos para a Classificação de Impermeabilidade e Classificação Matricial de Impermeabilidade com a Classificação Modelo, bem como a avaliação dos resultados obtidos por comparação visual.

5.1 Classificação Modelo versus Classificação de Impermeabilidade

Tendo em conta que a cartografia vectorial usada se encontrava na sua totalidade em formato *.dwg (CAD) cujos elementos estavam representados na sua totalidade por linhas, foi necessário implementar uma série de tarefas já descritas.

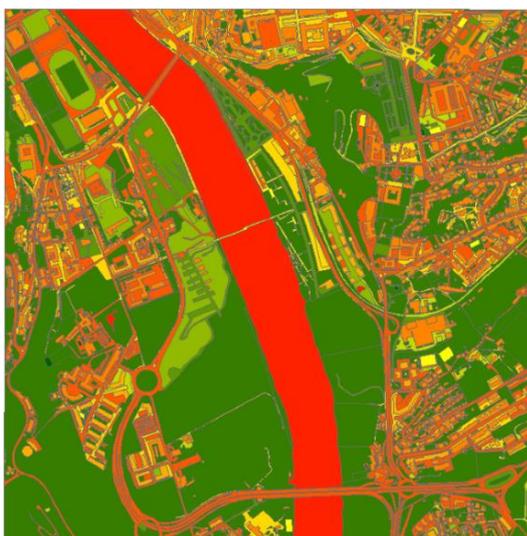


Figura 25 – Classificação Modelo

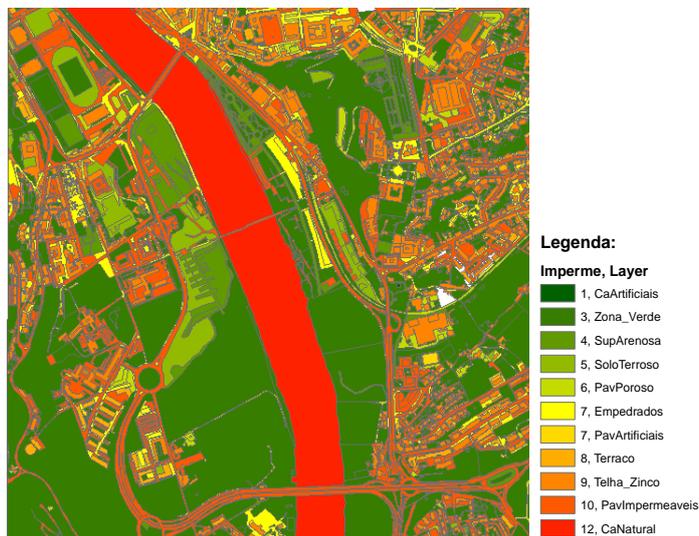


Figura 26 - Classificação de Impermeabilidade

Analisando visualmente os resultados obtidos entre as Figura 25 e Figura 26, consegue perceber-se que existem algumas diferenças na classificação em termos de atribuição de classes de impermeabilidade para algumas áreas, bem como áreas não classificadas, i.e, ausência de polígonos de cobertura do solo. Este facto pode ser justificado por erros ocorridos aquando da transformação de linhas para polígonos e pela falta da implementação da ferramenta “erase” em algumas situações onde existe sobreposição de áreas e que não foram tidas em consideração, o que resulta num resultado diferente do esperado.

Avaliando quantitativamente os resultados, foi necessário sobrepor os dois resultados. Em termos práticos, foi necessário sobrepor os dois mapas com recurso da ferramenta “Union” e tratar

a informação resultante da tabela de atributos (Tabela 22). Foram seleccionados todos os elementos cujos valores dos campos da classificação de Impermeabilidade fossem iguais. Esses elementos foram exportados para um ficheiro Excel no qual forma eliminados os duplicados para garantir que apenas havia uma relação de 1 para 1, uma vez que a ferramenta usada para este efeito junta numa mesma tabela todos os elementos das duas tabelas de origem.

Tabela 22 – Tabela de atributos da União das duas classificações: Modelo e automática

| FID | Shape | FID TesteM | FID Cart M | Id | Layer | Imperme | Id 1 | Layer 1 | Classe Imp | Shape Leng | Shape Area | Area Ha | area teste |
|------|---------|------------|------------|----|---------------|---------|------|------------------|------------|-------------|--------------|-----------|------------|
| 262 | Polygon | 1849 | 4906 | 0 | CaArtificiais | 1 | 0 | CaArtificiais | 1 | 19.406319 | 22.881072 | 0.002288 | 0.002288 |
| 1948 | Polygon | 1850 | 4907 | 0 | CaArtificiais | 1 | 0 | CaArtificiais | 1 | 29.399965 | 42.497303 | 0.00425 | 0.00425 |
| 1950 | Polygon | 1852 | 4909 | 0 | CaArtificiais | 1 | 0 | CaArtificiais | 1 | 28.120723 | 41.80775 | 0.004181 | 0.004181 |
| 1952 | Polygon | 1854 | 3001 | 0 | CaArtificiais | 1 | 0 | Pav impermeáveis | 10 | 68.999748 | 98.458751 | -0.009846 | 0.004333 |
| 1953 | Polygon | 1854 | 4911 | 0 | CaArtificiais | 1 | 0 | CaArtificiais | 1 | 24.235346 | 43.327003 | 0.004333 | 0.004333 |
| 1954 | Polygon | 1855 | 4912 | 0 | CaArtificiais | 1 | 0 | CaArtificiais | 1 | 109.3488 | 698.732908 | 0.069873 | 0.069873 |
| 1956 | Polygon | 1858 | 3703 | 0 | CaArtificiais | 1 | 0 | Pav impermeáveis | 10 | 5541.473493 | 32270.147402 | 3.227015 | 0.017682 |
| 1957 | Polygon | 1858 | 4915 | 0 | CaArtificiais | 1 | 0 | CaArtificiais | 1 | 53.338986 | 176.821798 | 0.017682 | 0.017682 |
| 4958 | Polygon | 1860 | 3701 | 0 | CaArtificiais | 1 | 0 | Pav impermeáveis | 10 | 1718.440743 | 22019.350048 | 2.201935 | 0.008294 |
| 4959 | Polygon | 1860 | 4917 | 0 | CaArtificiais | 1 | 0 | CaArtificiais | 1 | 39.072312 | 82.940587 | 0.008294 | 0.008294 |
| 4962 | Polygon | 1861 | 3691 | 0 | CaArtificiais | 1 | 0 | Pav impermeáveis | 10 | 2539.235666 | 35082.82696 | 3.508283 | 0.020702 |
| 4963 | Polygon | 1861 | 4918 | 0 | CaArtificiais | 1 | 0 | CaArtificiais | 1 | 116.254245 | 207.019433 | 0.020702 | 0.020702 |
| 4966 | Polygon | 1862 | 3691 | 0 | CaArtificiais | 1 | 0 | Pav impermeáveis | 10 | 2539.235666 | 35082.82696 | 3.508283 | 0.016085 |
| 4967 | Polygon | 1862 | 4919 | 0 | CaArtificiais | 1 | 0 | CaArtificiais | 1 | 129.258001 | 160.847482 | 0.016085 | 0.016085 |
| 4970 | Polygon | 1863 | 3701 | 0 | CaArtificiais | 1 | 0 | Pav impermeáveis | 10 | 1718.440743 | 22019.350048 | 2.201935 | 0.002456 |
| 4971 | Polygon | 1863 | 4920 | 0 | CaArtificiais | 1 | 0 | CaArtificiais | 1 | 20.804094 | 24.563095 | 0.002456 | 0.002456 |
| 4974 | Polygon | 1864 | 3701 | 0 | CaArtificiais | 1 | 0 | Pav impermeáveis | 10 | 1718.440743 | 22019.350048 | 2.201935 | 0.00457 |
| 4975 | Polygon | 1864 | 3729 | 0 | CaArtificiais | 1 | 0 | Pav impermeáveis | 10 | 3961.490219 | 24279.347965 | 2.427935 | 0.00457 |
| 4976 | Polygon | 1864 | 4921 | 0 | CaArtificiais | 1 | 0 | CaArtificiais | 1 | 28.117993 | 45.704458 | 0.00457 | 0.00457 |
| 4977 | Polygon | 1866 | 3701 | 0 | CaArtificiais | 1 | 0 | Pav impermeáveis | 10 | 1718.440743 | 22019.350048 | 2.201935 | 0.004004 |
| 4978 | Polygon | 1866 | 3729 | 0 | CaArtificiais | 1 | 0 | Pav impermeáveis | 10 | 3961.490219 | 24279.347965 | 2.427935 | 0.004004 |
| 4979 | Polygon | 1866 | 4923 | 0 | CaArtificiais | 1 | 0 | CaArtificiais | 1 | 25.574888 | 40.03921 | 0.004004 | 0.004004 |
| 4980 | Polygon | 1867 | 3701 | 0 | CaArtificiais | 1 | 0 | Pav impermeáveis | 10 | 1718.440743 | 22019.350048 | 2.201935 | 0.02292 |
| 4981 | Polygon | 1867 | 4924 | 0 | CaArtificiais | 1 | 0 | CaArtificiais | 1 | 64.089877 | 229.195676 | 0.02292 | 0.02292 |
| 4984 | Polygon | 1871 | 2618 | 0 | CaArtificiais | 1 | 0 | Pav impermeáveis | 10 | 447.418522 | 2519.835269 | 0.251984 | 0.002221 |
| 4985 | Polygon | 1871 | 3701 | 0 | CaArtificiais | 1 | 0 | Pav impermeáveis | 10 | 1718.440743 | 22019.350048 | 2.201935 | 0.002221 |
| 4986 | Polygon | 1871 | 4928 | 0 | CaArtificiais | 1 | 0 | CaArtificiais | 1 | 20.176658 | 22.211987 | 0.002221 | 0.002221 |
| 8957 | Polygon | 1853 | 3346 | 0 | CaArtificiais | 1 | 0 | Pav impermeáveis | 10 | 538.658393 | 1973.654627 | -0.197365 | 0.007627 |
| 8958 | Polygon | 1853 | 3703 | 0 | CaArtificiais | 1 | 0 | Pav impermeáveis | 10 | 5541.473493 | 32270.147402 | 3.227015 | 0.007627 |
| 8959 | Polygon | 1853 | 3718 | 0 | CaArtificiais | 1 | 0 | Pav impermeáveis | 10 | 1484.511521 | 11356.66065 | 1.135689 | 0.007627 |
| 8960 | Polygon | 1853 | 4910 | 0 | CaArtificiais | 1 | 0 | CaArtificiais | 1 | 37.59713 | 76.27235 | 0.007627 | 0.007627 |
| 8961 | Polygon | 1856 | 3290 | 0 | CaArtificiais | 1 | 0 | Pav impermeáveis | 10 | 316.856112 | 1684.614931 | 0.168461 | 0.015544 |
| 8962 | Polygon | 1856 | 3294 | 0 | CaArtificiais | 1 | 0 | Pav impermeáveis | 10 | 316.856112 | 1684.614931 | 0.168461 | 0.015544 |

Tendo apenas os dados que realmente interessam, foi feita a soma das áreas comuns/coincidentes entre as duas classificações. A área restante corresponde à área mal classificada, como pode ser consultado na Tabela 23 e Figura 27.

Tabela 23 – Resultados obtidos da classificação automática

| | Área (HA) | Percentagem de Classificação |
|--------------------------------|-----------------|------------------------------|
| Área Bem Classificada | 354.2241 | 90.4% |
| Área Mal Classificada | 37.8035 | 9.6% |
| Área Classificada Total | 392.0276 | 100.0% |

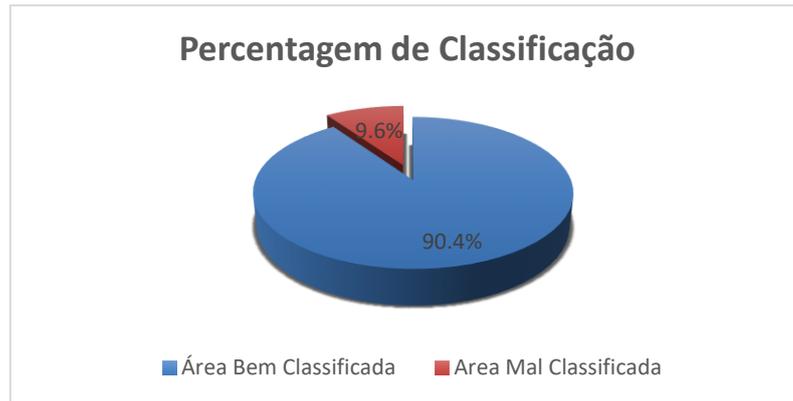


Figura 27 – Gráfico dos resultados obtidos da classificação automática

Os resultados apresentados indicam que 90.4% da área classificada automaticamente encontra-se bem classificada. A área restante de 9.6% refere-se a áreas não classificadas (espaços em branco) ou a áreas que foram classificadas incorrectamente, como já foi descrito anteriormente na análise visual.

No caso da cartografia COS esta situação não se verifica uma vez que a informação encontra-se devidamente tratada e em formato *shapefile*.

Analisando globalmente a Figura 26 e tendo em conta que a ferramenta “*Erase*” não foi implementada para todas as camadas e em todas as situações possíveis, pode afirmar-se que o resultado obtido esteve muito aproximado da classificação Modelo.

5.2 Classificação Modelo e Classificação Matricial de Impermeabilidade

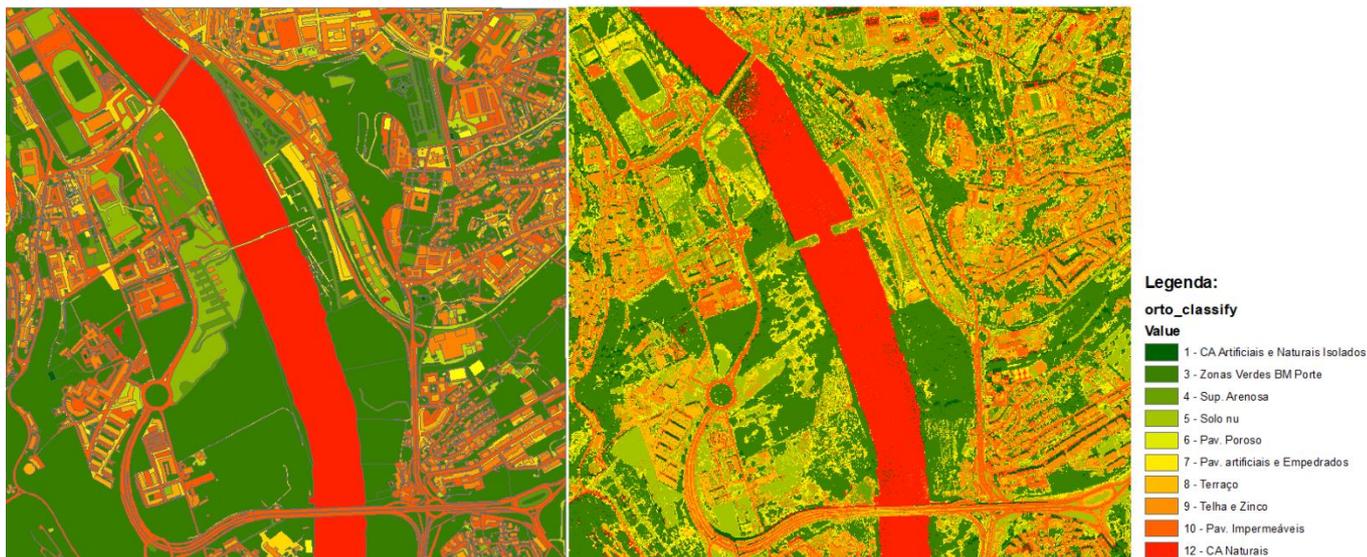


Figura 28 – Classificação Modelo

Figura 29 – Classificação Matricial

A comparação destes dois resultados é meramente indicativo e não é o objectivo desta dissertação comparar metodologias diferentes. No entanto, a título de curiosidade, já que existem diversos estudos que aplicam a Detecção Remota como ferramenta de estudo na classificação assistida de imagens de satélite (Paulo, et al.) ou na cartografia de Ocupação do solo com imagens de satélite (Caetano, et al., 2002) foi feita uma breve comparação visual entre as duas imagens.

Ao comparar os resultados das figuras anteriores (Figura 28 e Figura 29), temos que ter em conta que estamos a comparar imagens obtidas de diferentes fontes de dados e com diferentes formatos (vectorial e raster). O ortofotomapa que foi usado para a classificação tem uma resolução espacial de 0.5 m. Para fazer a conversão para a escala usou-se a seguinte fórmula:

$$1) \textit{escala} = \frac{\textit{resolução}}{0.0002}$$

Efectuando o cálculo estaremos a considerar uma escala 1/2500 relativamente ao ortofotomapa e 1/5000 para a cartografia Modelo, ou seja, a classificação matricial está no dobro da escala da classificação modelo o que em termos teóricos deveria obter melhores resultados.

No entanto, este facto não se verifica por diversos factores nomeadamente:

- Delimitação descontínua do objecto;

- O facto de se tratar de uma imagem aérea pressupõe que existam factores que influenciam no resultado. Entre muitos, salienta-se o factor de sombra e o deslocamento do relevo.

Atendendo ao objectivo desta dissertação e como já foi referido anteriormente, o resultado da imagem matricial apresenta diferenças significativas sobretudo na classificação das classes referentes às classes: “*Zonas verdes BM porte*”, “*Superfície Arenosa*”, “*Terraço*” e “*Solo nu*”.

Para uma comparação mais fidedigna, o ideal seria comparar os dois modelos e para isso, o ideal seria aplicar a mesma metodologia do ponto 5.1 deste trabalho, sobreposição dos dois modelos e comparar os valores comuns. Neste caso, como a classificação a comparar está no formato matricial implica que a classificação Modelo também estivesse neste formato.

A conversão entre os formatos vectorial e matricial nem sempre é amigável e por vezes pode ser difícil obter resultados satisfatórios desta conversão. Contudo, foram efectuadas várias tentativas de conversão da classificação Modelo (formato vectorial) para formato matricial das quais resultaram imagens com lacunas e falhas de informação conforme ilustra a Figura 30.

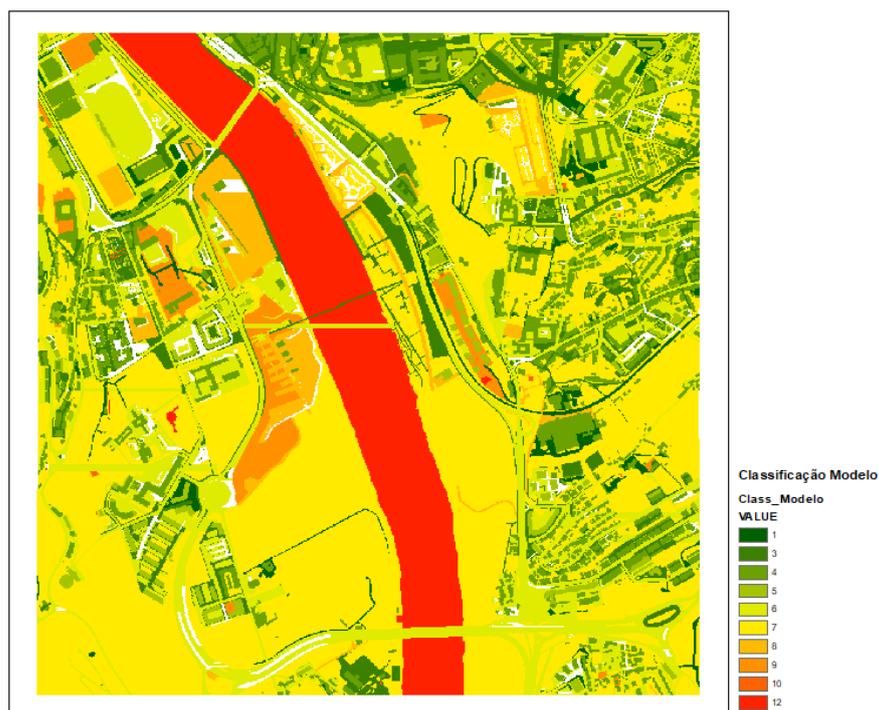


Figura 30 – Conversão da Classificação Modelo para o formato Matricial

Na tentativa de obter valores indicativos da qualidade da classificação matricial foi elaborada uma matriz de confusão. Desta forma não se consegue obter uma comparação efectiva com a Classificação Modelo, mas consegue-se ter uma ideia da qualidade da classificação face à ortofotomapa que lhe deu origem (Figura 31 e Figura 32).

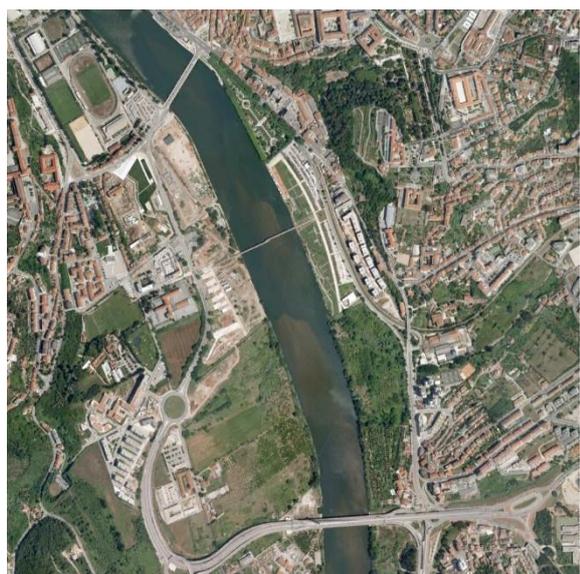


Figura 32 - Extracto do ortofotomapa de Coimbra



Figura 32 – Classificação Matricial

Os valores obtidos da classificação supervisionada encontram-se nas Tabela 24 e Tabela 25.

Tabela 24 – Matriz de confusão da Classificação Supervisionada

| Classes | Referência | | | | | | | | | | | Total | Comissão | Exactidão do Produtor | | |
|--|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|----------|-----------------------|--|--|
| | 1 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 12 | | | | | | |
| CA Artificiais e Naturais | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 Isolados | 7 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 10 | 30.0% | 77.78% | | |
| 3 Zonas Verdes BM Porte | 0 | 44 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 47 | 6.4% | 95.65% | | |
| 4 Sup. Arenosa | 0 | 0 | 17 | 3 | 0 | 15 | 5 | 1 | 1 | 1 | 0 | 42 | 59.5% | 77.27% | | |
| 5 Solo nu | 0 | 0 | 0 | 22 | 1 | 0 | 1 | 2 | 1 | 0 | 0 | 27 | 18.5% | 59.46% | | |
| 6 Pav. Poroso | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 0 | 1 | 0 | 2 | 0 | 0 | 8 | 37.5% | 45.45% | | |
| 7 Pav. Artificiais e Empedrados | 0 | 2 | 1 | 8 | 3 | 7 | 0 | 3 | 3 | 0 | 0 | 27 | 74.1% | 15.91% | | |
| 8 Terraço | 0 | 0 | 4 | 2 | 0 | 14 | 26 | 1 | 5 | 0 | 0 | 52 | 50.0% | 55.32% | | |
| 9 Telha e Zinco | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 2 | 2 | 55 | 5 | 0 | 0 | 66 | 16.7% | 82.09% | | |
| 10 Pav. Impermeáveis | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 4 | 12 | 5 | 46 | 0 | 0 | 68 | 32.4% | 73.02% | | |
| 12 CA Naturais | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 12 | 13 | 13 | 7.7% | 85.71% | | |
| Total | 9 | 46 | 22 | 37 | 11 | 44 | 47 | 67 | 63 | 14 | 360 | | | | | |
| Omissão | 22.2% | 4.3% | 22.7% | 40.5% | 54.5% | 84.1% | 44.7% | 17.9% | 27.0% | 14.3% | | | | | | |
| Exactidão do utilizador | 70.0% | 93.6% | 40.5% | 81.5% | 62.5% | 25.9% | 50.0% | 83.3% | 67.6% | 92.3% | | | | | | |

Tabela 25 – Valores de exactidão e índice Kappa

| | |
|-------------------------|--------------|
| Exactidão Global | 66.9% |
| Índice Kappa | 47.9% |

Para a classificação supervisionada, obteve-se uma exactidão global de 66.9% e um índice Kappa de 47.9% que indica que obteve-se um nível moderado de concordância entre a imagem classificada e o ortofotomapa.

5.3 Discussão dos resultados

Dos resultados apresentados anteriormente e quando comparados com a “Classificação Modelo”, denota-se que o resultado que melhores resultados apresenta, é o da classificação vectorial. Este facto deve-se a vários factores, nomeadamente:

- Escala a cartografia ser de 1/5000 em que o erro de graficismo admitido para este tipo de cartografia é de 1m. Portanto os elementos com dimensão menor ou igual a 1 metro não são representados.
- Precisão dos dados levantados e respectivas metodologias associadas;
- Qualidade da representação gráfica influencia na qualidade dos resultados obtidos;
- Controlo da qualidade ao longo de todo o processo da elaboração da cartografia;
- Adaptação da cartografia para o fim a que se destina;
- Validação do resultado final.

No caso da elaboração da classificação usando ortofotomapa, para além dos erros que existem desde a aquisição da imagem aérea até à sua ortorrectificação e apesar do tamanho do pixel da imagem usada ser menor que o erro de graficismo associado à cartografia vectorial, o resultado apresentado deixa muito a desejar no que diz respeito ao grande objectivo desta dissertação, como já havia sido referido anteriormente. Este resultado pode ser sustentado por alguns estudos realizados com o uso da Detecção Remota na produção de cartografia que, na sua maioria, concluem que a *“interpretação de imagens é dispendiosa, demorada e subjectiva”* (Caetano, et al., 2002). Salienta-se que, dos estudos pesquisados, as metodologias apresentadas na Detecção Remota aplicam-se sobretudo para escalas menores da que se está a considerar nesta dissertação.

6 CONCLUSÕES

6.1 Considerações gerais

A qualidade dos resultados obtidos são o reflexo da qualidade dos dados de entrada. Quando os dados que servem de base a um determinado trabalho não correspondem ao grau de exigência é necessário que estes sejam editados e manipulados de forma a cumprir com os requisitos exigidos.

No caso deste trabalho foi necessário proceder a um trabalho de completagem⁶ e edição cartográficos tornando o processo de preparação dos dados de entrada muito moroso, devido à omissão de informação e erros de topologia.

A metodologia apresentada mostrou-se suficientemente flexível para ser expandida a uma nova nomenclatura para dados de entrada. Havendo uma nova nomenclatura o utilizador pode acrescentar ao script de entrada os novos valores da nomenclatura ou então faz uma reclassificação para uma das nomenclaturas implementadas (COS ou CLC). Trata-se de uma metodologia independente da escala e formato de dados pelo que, pode ser aplicada para dados em formato vectorial ou em formato matricial e que pode ser aplicada a informação cartográfica existente em qualquer parte do mundo.

Esta metodologia pode ainda ser uma mais-valia para as entidades com cartografia vectorial existente, nomeadamente câmaras municipais ou outras entidades públicas, sendo a sua aplicação quase imediata.

Contudo, a metodologia ainda está longe de garantir o objectivo máximo, que seria avaliação de áreas de inundação e do comportamento de escoamentos a nível superficial, deixando em aberto a sua continuidade com a implementação de novas variáveis.

Resumidamente, pode-se concluir que para a área de estudo considerada, relativamente pequena quando comparada com a prevista inicialmente, foram conseguidos resultados muito positivos, sendo por isso possível a aplicação desta metodologia em áreas críticas de inundação.

A metodologia desenhada permite a expansão de novas implementações e melhorias de forma a maximizar a potencialidade de previsão de cheias urbanas.

⁶ “*Completagem ou completamento de campo: Conjunto de operações executadas no terreno com o Objectivo de levantar, interpretar e classificar pormenores topográficos...*” (DGT, 2013)

Este método mostrou-se de fácil implementação e de processamento mais rápido quando comparado com a Detecção Remota, desde que os dados de entrada sejam de boa qualidade, podendo demorar apenas alguns segundos. Este teste foi feito para a cartografia COS no distrito de Coimbra.

6.2 Recomendações futuras

Nos atributos das classes de ocupação do solo seria pertinente associar o declive nomeadamente para as vias, o que não se fez para já pela complexidade associada, sugerindo-se esta implementação em trabalhos futuros considerando um DTM/DSM. Na nomenclatura proposta este conceito foi aplicado apenas para as classes: “Terraço” e “Zonas verdes de alto porte” de uma forma descritiva, não quantitativa.

Existem outras variáveis que podem ser introduzidas, nomeadamente informação geológica da cobertura do solo, permitindo inferir a capacidade de impermeabilização existente no caso de coberturas que não estejam totalmente impermeabilizadas.

Embora não se tenha aplicado a metodologia descrita neste trabalho a informação derivada da Detecção Remota, salienta-se que a evolução da ciência e de novas tecnologias pode permitir que haja uma concertação entre modelos (vectorial e matricial), conseguindo-se assim uma maior fiabilidade de resultados e metodologias.

Referências

- Almeida, José Paulo Elvas Duarte. 2011.** Cartografia Digital. *Apontamentos de Cartografia Digital*. FCTUC : s.n., 2011.
- Bandeira, Pedro M. 2007.** *Cartografia de Ocupação do solo com Imagens MERIS*. Universidade Nova de Lisboa : s.n., 2007.
- Bossard, M., J. Feranec e J. Otahel. 2000.** *CORINE land cover technical guide – Addendum 2000*. Copenhagen : European Environment Agency, 2000.
- Butler, David e Davies, John. 2000.** *Urban Drainage*. London : CRC Press, 2000.
- Cabral, Pedro e Zamyatin, Alexander. 2009.** [ed.] Universidad Nacional de Colombia. *MARKOV PROCESSES IN MODELING LAND USE AND LAND COVER CHANGES IN SINTRA-CASCAIS*. Medellín, Colombia : Dyna , Junho de 2009. Vol. 76 (158), pp. 191-198.
- Caetano, M., Nunes, V. e Nunes, A. 2009.** *CORINE Land Cover 2006 for Continental Portugal, Technical Report, Instituto Geográfico Português*. 2009.
- Caetano, Mário e Santos, Teresa e Gonçalves, Luísa. 2002.** Cartografia de Ocupação do Solo com Imagens de Satélite: estado da arte. *Cartografia de Ocupação do Solo com Imagens de Satélite: estado da arte*. [Proceedings do VII Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica]. Lisboa : s.n., 2002. Proceedings do VII Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica, 189-200.
- Caetano, Mário, et al. 2008.** Cartografia temática de Ocupação/Usos do solo do Instituto Geográfico Português. *Mapping - Revista Internacional de Ciencias de la Tierra*. 126, 2008, pp. 78-87.
- Caetano, Mário, Nunes, Vasco e Nunes, António. 2006.** *CORINE LAND COVER 2000 E 2006 – EVOLUÇÃO DAS ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS*. Lisboa : Instituto Geográfico Português.
- Coimbra, Câmara Municipal. 2005.** Carta Hidrográfica. Coimbra : s.n., 2005.
- Crisógono, Paulo Jorge. 2011.** *DETECÇÃO REMOTA EM MEIO URBANO: TESTE COM CLASSIFICADORES SUPERVISIONADOS A NÍVEL DO PIXEL SOBRE IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL APLICADOS NUMA LÓGICA HIERÁRQUICA DE CLASSES*. Universidade Nova de Lisboa : s.n., 2011.

DGT. 2013. *Cartografia e Ortofotocartografia à escala 1:2000 - Normas técnicas de produção e reprodução.* Lisboa : s.n., 2013.

— **2010.** *Memória descritiva - Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental para 2007 (COS2007).* s.l. : Direcção Geral do Território, 2010.

— **2018.** *Especificações técnicas da Carta de uso e ocupação do solo de Portugal Continental para 1995, 2007, 2010 e 2015.* Direcção-Geral do Território. Lisboa : Direcção-Geral do Território, 2018. Relatório Técnico.

— **2014.** Projecto LANDYN. *Uso e Ocupação do Solo em Portugal Continental: Avaliação e Cenários Futuros.* Lisboa : DGT, 2014.

Di Gregorio, Antonio. 2016. *Land Cover Classification System - FAO.* Rome : FAO, 2016.

Dias, Maria Helena. 2007. *Cartografia Temática: programa.* Lisboa: Centro de Estudos Geográficos (Geo-Ecologia, relatório n. ° 6). 2007. p. 27.

Gaspar, Joaquim. 2004. *Dicionário de Ciências Cartográficas.* s.l. : Lidel - Edições Técnicas, Lda., 2004.

Gonçalves, José Alberto. 2008. Transformação de coordenadas cartográficas e geográficas usando grelhas de transformação de datum. [Online] 2008. [Citação: 26 de Agosto de 2018.] <http://www.fc.up.pt/pessoas/jagoncal/coordenadas/index.htm>.

Heymann, Y., C. Steenmans, G. Croissile e M. Bossard. 1994. *CORINE Land Cover Technical Guide.* Luxembourg (Office for Official Publications of the European Communities : s.n., 1994.

Liguori, Sara e Rico-Ramirez, Miguel Angel . 2014. A review of current approaches to radar-based quantitative precipitation forecasts. *A review of current approaches to radar-based quantitative precipitation forecasts.* 2014. pp. 391-402.

Paulo, Susana, Crecente Maseda, Rafael e Aranha, José. Classificação assistida de imagens de satélite de Landsat.

Rocha, Jorge. 2005. *Deteção Remota e Sistemas de Informação Geográfica para produção de Cartografia de uso e ocupação do solo.* s.l. : Finisterra, 2005. pp. 23-39. Vol. 40.

Simões, Nuno Eduardo da Cruz. 2012. *Urban Pluvial Flood Forecasting.* Doctoral dissertation, Imperial College London : s.n., 2012.

Anexo I: Nomenclatura CLC

Nomenclatura CORINE Land Cover

| Nível 1 | Nível 2 | Nível 3 |
|---|--|---|
| 1 Territórios artificializados | 1.1 Tecido urbano | 1.1.1 Tecido urbano contínuo |
| | | 1.1.2 Tecido urbano descontínuo |
| | 1.2 Indústria, comércio e transportes | 1.2.1 Indústria, comércio e equipamentos gerais |
| | | 1.2.2 Redes viárias e ferroviárias e espaços associados |
| | | 1.2.3 Áreas portuárias |
| | | 1.2.4 Aeroportos e aeródromos |
| | 1.3 Áreas de extracção de inertes, áreas de deposição de resíduos e estaleiros de construção | 1.3.1 Áreas de extracção de inertes |
| | | 1.3.2 Áreas de deposição de resíduos |
| | | 1.3.3 Áreas em construção |
| | 1.4 Espaços verdes urbanos, equipamentos desportivos, culturais e de lazer, e zonas históricas | 1.4.1 Espaços verdes urbanos |
| 1.4.2 Equipamentos desportivos, culturais e de lazer e zonas históricas | | |
| 2 Áreas agrícolas e agro-florestais | 2.1 Culturas temporárias | 2.1.1 Culturas temporárias de sequeiro |
| | | 2.1.2 Culturas temporárias de regadio |
| | | 2.1.3 Arrozais |
| | 2.2 Culturas permanentes | 2.2.1 Vinhas |
| | | 2.2.2 Pomares |
| | | 2.2.3 Olivais |
| | 2.3 Pastagens permanentes | 2.3.1 Pastagens permanentes |
| | 2.4 Áreas agrícolas heterogéneas | 2.4.1 Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes |
| | | 2.4.2 Sistemas culturais e parcelares complexos |
| | | 2.4.3 Agricultura com espaços naturais e semi-naturais |
| 2.4.4 Sistemas agro-florestais | | |
| 3 Florestas e meios naturais e semi-naturais | 3.1 Florestas | 3.1.1 Florestas de folhosas |
| | | 3.1.2 Florestas de resinosas |
| | | 3.1.3 Florestas mistas |
| | 3.2 Florestas abertas, vegetação arbustiva e herbácea | 3.2.1 Vegetação herbácea natural |
| | | 3.2.2 Matos |
| | | 3.2.3 Vegetação esclerófila |
| | | 3.2.4 Florestas abertas, cortes e novas plantações |
| | 3.3 Zonas descobertas e com pouca vegetação | 3.3.1 Praias, dunas e areais |
| | | 3.3.2 Rocha nua |
| | | 3.3.3 Vegetação esparsa |
| 3.3.4 Áreas ardidas | | |
| 3.3.5 Neves eternas e glaciares | | |
| 4 Zonas húmidas | 4.1 Zonas húmidas interiores | 4.1.1 Paúis |
| | | 4.1.2 Turfeiras |
| | 4.2 Zonas húmidas litorais | 4.2.1 Sapais |
| | | 4.2.2 Salinas e aquicultura litoral |
| | | 4.2.3 Zonas entre-marés |
| | | |
| 5 Corpos de água | 5.1 Águas interiores | 5.1.1 Cursos de água |
| | | 5.1.2 Planos de água |
| | 5.2 Águas marinhas e costeiras | 5.2.1 Lagoas costeiras |
| | | 5.2.2 Desembocaduras fluviais |
| 5.2.3 Oceano | | |

Data: Julho 2009, disponível em: <http://www.igeo.pt/gdr/projectos/clc2006/>

Traduzido e adaptado de: Caetano, M., V. Nunes e A. Nunes, 2009. CORINE Land Cover 2006 for Continental Portugal, Relatório técnico, Instituto Geográfico Português.

Anexo II: Nomenclatura CLC e COS

Nomenclaturas CORINE Land Cover e COS e respectivos atributos de permeabilidade

| CORINE Land Cover | | | | COS | | | Atributo de permeabilidade | | |
|-----------------------------------|------------|---|---|---|---|--|--|---|----|
| Nível 1 | Nível 2 | Nível 3 | Descrição | Nível 4 | Nível 5 | Descrição | | | |
| Territórios Artificializados | 1.1 | 1.1.1 | Tecido urbano contínuo | 1.1.1.01 | 1.1.1.01.1 | Tecido urbano contínuo predominante vertical | 8 | | |
| | | | | 1.1.1.02 | 1.1.1.02.1 | Tecido urbano contínuo predominante horizontal | 9 | | |
| | 1.1.1.03 | | | 1.1.1.03.1 | Áreas de estacionamento e logradouros | 7 | | | |
| | 1.1.2 | 1.1.2.01 | 1.1.2.01.1 | Tecido urbano descontínuo | 1.1.2.01 | 1.1.2.01.1 | Tecido urbano descontínuo | 7 | |
| | | | | | 1.1.2.02 | 1.1.2.02.1 | Tecido urbano descontínuo esparso | 6 | |
| | 1.2 | 1.2.1 | Indústria, comércio e equipamentos gerais | | 1.2.1.01 | 1.2.1.01.1 | Indústria | 9 | |
| | | | | | 1.2.1.02 | 1.2.1.02.1 | Comércio | 9 | |
| | | | | | 1.2.1.03 | 1.2.1.03.1 | Instalações agrícolas | 9 | |
| | | | | | 1.2.1.04 | 1.2.1.04.1 | Equipamentos públicos e privados | 9 | |
| | | | | | 1.2.1.05 | 1.2.1.05.1 | Infra-estruturas de produção de energia renovável | 6 | |
| | | | | | | 1.2.1.05.2 | Infra-estruturas de produção de energia não renovável | 9 | |
| | | | | | 1.2.1.06 | 1.2.1.06.1 | Infra-estruturas de captação, tratamento e abastecimento de águas para consumo | 9 | |
| | | | | | 1.2.1.07 | 1.2.1.07.1 | Infra-estruturas de tratamento de resíduos e águas residuais | 6 | |
| | | 1.2.2 | 1.2.2.01 | 1.2.2.01.1 | Redes viárias e ferroviárias e espaços associados | 1.2.2.01 | 1.2.2.01.1 | Rede viária e espaços associados | 10 |
| | | | | | | 1.2.2.02 | 1.2.2.02.1 | Rede ferroviária e espaços associados | 6 |
| | | 1.2.3 | 1.2.3.01 | 1.2.3.01.1 | Áreas portuárias | 1.2.3.01 | 1.2.3.01.1 | Terminais portuários de mar e de rio | 10 |
| | | | | | | 1.2.3.02 | 1.2.3.02.1 | Estaleiros navais e docas secas | 10 |
| | 1.2.3.03 | | | | | 1.2.3.03.1 | Marinas e docas pesca | 12 | |
| | 1.2.4 | 1.2.4.01 | 1.2.4.01.1 | Aerportos e aeródromos | 1.2.4.01 | 1.2.4.01.1 | Aerportos | 10 | |
| | | | | | 1.2.4.02 | 1.2.4.02.1 | Aeródromos | 10 | |
| | 1.3 | 1.3.1 | 1.3.1.01 | Áreas de extração de inertes | 1.3.1.01 | 1.3.1.01.1 | Minas a céu aberto | 2 | |
| | | | | | 1.3.1.02 | 1.3.1.02.1 | Pedreiras | 4 | |
| | | 1.3.2 | 1.3.2.01 | 1.3.2.01.1 | Áreas de deposição de resíduos | 1.3.2.01 | 1.3.2.01.1 | Aterros | 1 |
| | | | | | | 1.3.2.02 | 1.3.2.02.1 | Lixeiras e Sucatas | 5 |
| | | 1.3.3 | 1.3.3.01 | 1.3.3.01.1 | Áreas em construção | 1.3.3.01 | 1.3.3.01.1 | Áreas em construção | 6 |
| | | | | | | 1.3.3.02 | 1.3.3.02.1 | Áreas abandonadas em territórios artificializados | 6 |
| | 1.4 | 1.4.1 | 1.4.1.01 | Espaços verdes urbanos | 1.4.1.01 | 1.4.1.01.1 | Parques e jardins | 3 | |
| | | | | | 1.4.1.02 | 1.4.1.02.1 | Cemitérios | 8 | |
| 1.4.2 | | 1.4.2.01 | 1.4.2.01.1 | Equipamentos desportivos, culturais e de lazer e zonas históricas | 1.4.2.01 | 1.4.2.01.1 | Campos de golfe | 3 | |
| | | | | | 1.4.2.01.2 | 1.4.2.01.2 | Outras instalações desportivas | 5 | |
| | | | | | 1.4.2.02 | 1.4.2.02.1 | Parques de campismo | 5 | |
| | | | | | 1.4.2.02.2 | 1.4.2.02.2 | Outros equipamentos de lazer | 3 | |
| 1.4.2.03 | 1.4.2.03.1 | Equipamentos culturais e zonas históricas | 9 | | | | | | |
| Áreas agrícolas e agro-florestais | 2.1 | 2.1.1 | Culturas temporárias de sequeiro | 2.1.1.01 | 2.1.1.01.1 | Culturas temporárias de sequeiro | 3 | | |
| | | | | 2.1.1.02 | 2.1.1.02.1 | Estufas e Viveiros | 9 | | |
| | | 2.1.2 | 2.1.2.01 | 2.1.2.01.1 | Culturas temporárias de regadio | 3 | | | |
| | 2.1.3 | 2.1.3.01 | 2.1.3.01.1 | Arrozais | 2 | | | | |
| | 2.2 | 2.2.1 | Vinhas | | 2.2.1.01 | 2.2.1.01.1 | Vinhas | 3 | |
| | | | | | 2.2.1.02 | 2.2.1.02.1 | Vinhas com pomar | 3 | |
| | | | | | 2.2.1.03 | 2.2.1.03.1 | Vinhas com olival | 3 | |
| | | 2.2.2 | Pomares | | | 2.2.2.01.1 | 2.2.2.01.1 | Pomares de frutos frescos | 2 |
| | | | | | | 2.2.2.01.2 | 2.2.2.01.2 | Pomares de amendoeira | 2 |
| | | | | | | 2.2.2.01.3 | 2.2.2.01.3 | Pomares de castanheiro | 2 |
| 2.2.2.01.4 | | | | | | 2.2.2.01.4 | Pomares de alfarrobeira | 2 | |
| 2.2.2.01.5 | | | | | | 2.2.2.01.5 | Pomares de citrinos | 2 | |
| 2.2.2.01.6 | | | | | | 2.2.2.01.6 | Outros pomares | 2 | |
| 2.2.2.02.1 | | | | | | 2.2.2.02.1 | Pomares de frutos frescos com vinha | 2 | |
| 2.2.2.02.2 | 2.2.2.02.2 | Pomares de amendoeira com vinha | 2 | | | | | | |
| 2.2.2.02.3 | 2.2.2.02.3 | Pomares de castanheiro com vinha | 2 | | | | | | |
| 2.2.2.02.4 | 2.2.2.02.4 | Pomares de alfarrobeira com vinha | 2 | | | | | | |

| | | | | | | |
|-----|-------|---|----------|------------|--|---|
| | | | | 2.2.2.02.5 | Pomares de citrinos com vinha | 2 |
| | | | | 2.2.2.02.6 | Outros pomares com vinha | 2 |
| | | | 2.2.2.03 | 2.2.2.03.1 | Pomares de frutos frescos com olival | 2 |
| | | | | 2.2.2.03.2 | Pomares de amendoeira com olival | 2 |
| | | | | 2.2.2.03.3 | Pomares de castanheiro com olival | 2 |
| | | | | 2.2.2.03.4 | Pomares de alfarrobeira com olival | 2 |
| | | | | 2.2.2.03.5 | Pomares de citrinos com olival | 2 |
| | | | | 2.2.2.03.6 | Outros pomares com olival | 2 |
| | 2.2.3 | Olivais | 2.2.3.01 | 2.2.3.01.1 | Olivais | 2 |
| | | | 2.2.3.02 | 2.2.3.02.1 | Olivais com vinha | 2 |
| | | | 2.2.3.03 | 2.2.3.03.1 | Olivais com pomar | 2 |
| 2.3 | 2.3.1 | Pastagens permanentes | 2.3.1.01 | 2.3.1.01.1 | Pastagens permanentes | 3 |
| | 2.4.1 | Culturas temporárias e/ou pastagens associadas a culturas permanentes | 2.4.1.01 | 2.4.1.01.1 | Culturas temporárias de sequeiro associadas a vinha | 3 |
| | | | | 2.4.1.01.2 | Culturas temporárias de sequeiro associadas a pomar | 3 |
| | | | | 2.4.1.01.3 | Culturas temporárias de sequeiro associadas a olival | 3 |
| | | | 2.4.1.02 | 2.4.1.02.1 | Culturas temporárias de regadio associadas a vinha | 3 |
| | | | | 2.4.1.02.2 | Culturas temporárias de regadio associadas a pomar | 3 |
| | | | | 2.4.1.02.3 | Culturas temporárias de regadio associadas a olival | 3 |
| | | | 2.4.1.03 | 2.4.1.03.1 | Pastagens associadas a vinha | 3 |
| | | | | 2.4.1.03.2 | Pastagens associadas a pomar | 3 |
| | | | | 2.4.1.03.3 | Pastagens associadas a olival | 3 |
| | 2.4.2 | Sistemas culturais e parcelares complexos | 2.4.2.01 | 2.4.2.01.1 | Sistemas culturais e parcelares complexos | 5 |
| | 2.4.3 | Agricultura com espaços naturais e semi – naturais | 2.4.3.01 | 2.4.3.01.1 | Agricultura com espaços naturais e semi – naturais | 3 |
| | 2.4.4 | Sistemas agro-florestais (SAF) | 2.4.4.01 | 2.4.4.01.1 | SAF de sobreiro com culturas temporárias de sequeiro | 3 |
| | | | | 2.4.4.01.2 | SAF de azinheira com culturas temporárias de sequeiro | 3 |
| | | | | 2.4.4.01.3 | SAF de outros carvalhos com culturas temporárias de sequeiro | 3 |
| | | | | 2.4.4.01.4 | SAF de pinheiro manso com culturas temporárias de sequeiro | 3 |
| | | | | 2.4.4.01.5 | SAF de outras espécies com culturas temporárias de sequeiro | 3 |
| | | | | 2.4.4.01.6 | SAF de sobreiro com azinheira e com culturas temporárias de sequeiro | 3 |
| | | | | 2.4.4.01.7 | SAF de outras misturas com culturas temporárias de sequeiro | 3 |
| | | | 2.4.4.02 | 2.4.4.02.1 | SAF de sobreiro com culturas temporárias de regadio | 3 |
| | | | | 2.4.4.02.2 | SAF de azinheira com culturas temporárias de regadio | 3 |
| | | | | 2.4.4.02.3 | SAF de outros carvalhos com culturas temporárias de regadio | 3 |
| | | | | 2.4.4.02.4 | SAF de pinheiro manso com culturas temporárias de regadio | 3 |
| | | | | 2.4.4.02.5 | SAF de outras espécies com culturas temporárias de regadio | 3 |
| | | | | 2.4.4.02.6 | SAF de sobreiro com azinheira e com culturas temporárias de regadio | 3 |
| | | | | 2.4.4.02.7 | SAF de outras misturas com culturas temporárias de sequeiro | 3 |
| | | | 2.4.4.03 | 2.4.4.03.1 | SAF de sobreiro com pastagens | 3 |
| | | | | 2.4.4.03.2 | SAF de azinheira com pastagens | 3 |
| | | | | 2.4.4.03.3 | SAF de outros carvalhos com pastagens | 3 |
| | | | | 2.4.4.03.4 | SAF de pinheiro manso com pastagens | 3 |
| | | | | 2.4.4.03.5 | SAF de outras espécies com pastagens | 3 |
| | | | | 2.4.4.03.6 | SAF de sobreiro com azinheira com pastagens | 3 |
| | | | | 2.4.4.03.7 | SAF de outras misturas com pastagens | 3 |
| | | | 2.4.4.04 | 2.4.4.04.1 | SAF de sobreiro com culturas permanentes | 3 |
| | | | | 2.4.4.04.2 | SAF de azinheira com culturas permanentes | 3 |
| | | | | 2.4.4.04.3 | SAF de outros carvalhos com culturas permanentes | 3 |
| | | | | 2.4.4.04.4 | SAF de pinheiro manso com culturas permanentes | 3 |
| | | | | 2.4.4.04.5 | SAF de outras espécies com culturas permanentes | 3 |
| | | | | 2.4.4.04.6 | SAF de sobreiro com azinheira com culturas permanentes | 3 |

| | | | | | | | | | |
|--|------------|------------|--|---|---|--|----------|--------------------|---|
| Florestas e meios naturais e semi – naturais | 3.1 | 3.1.1 | Florestas de folhosas | 3.1.1.01 | 2.4.4.04.7 | SAF de outras misturas com culturas permanentes | 3 | | |
| | | | | | 3.1.1.01.1 | Florestas de sobreiro | 2 | | |
| | | | | | 3.1.1.01.2 | Florestas de azinheira | 2 | | |
| | | | | | 3.1.1.01.3 | Florestas de outros carvalhos | 2 | | |
| | | | | | 3.1.1.01.4 | Florestas de castanheiro | 2 | | |
| | | | | | 3.1.1.01.5 | Florestas de eucalipto | 2 | | |
| | | | | | 3.1.1.01.6 | Florestas de espécies invasoras | 2 | | |
| | | | | 3.1.1.01.7 | Florestas de outras folhosas | 2 | | | |
| | | | | 3.1.1.02 | 3.1.1.02.1 | Florestas de sobreiro com folhosas | 2 | | |
| | | | | | 3.1.1.02.2 | Florestas de azinheira com folhosas | 2 | | |
| | | | | | 3.1.1.02.3 | Florestas de outros carvalhos com folhosas | 2 | | |
| | | | | | 3.1.1.02.4 | Florestas de castanheiro com folhosas | 2 | | |
| | | | | | 3.1.1.02.5 | Florestas de eucalipto com folhosas | 2 | | |
| | | | | | 3.1.1.02.6 | Florestas de espécies invasoras com folhosas | 2 | | |
| | | 3.1.1.02.7 | Florestas de outra folhosa com folhosas | | 2 | | | | |
| | | 3.1.2 | 3.1.2.01 | 3.1.2.01.1 | Florestas de pinheiro bravo | 2 | | | |
| | | | | 3.1.2.01.2 | Florestas de pinheiro manso | 2 | | | |
| | | | | 3.1.2.01.3 | Florestas de outras resinosas | 2 | | | |
| | | | 3.1.2.02 | 3.1.2.02.1 | Florestas de pinheiro bravo com resinosas | 2 | | | |
| | | | | 3.1.2.02.2 | Florestas de pinheiro manso com resinosas | 2 | | | |
| | | | | 3.1.2.02.3 | Florestas de outra resinosa com resinosas | 2 | | | |
| | | 3.1.3 | 3.1.3.01 | 3.1.3.01.1 | Florestas de sobreiro com resinosas | 2 | | | |
| | | | | 3.1.3.01.2 | Florestas de azinheira com resinosas | 2 | | | |
| | | | | 3.1.3.01.3 | Florestas de outros carvalhos com resinosas | 2 | | | |
| | | | | 3.1.3.01.4 | Florestas de castanheiro com resinosas | 2 | | | |
| | | | | 3.1.3.01.5 | Florestas de eucalipto com resinosas | 2 | | | |
| | | | | 3.1.3.01.6 | Florestas de espécies invasoras com resinosas | 2 | | | |
| | 3.1.3.01.7 | | | Florestas de outra folhosa com resinosas | 2 | | | | |
| | 3.1.3.01.8 | | | Florestas de misturas de folhosas com resinosas | 2 | | | | |
| | 3.1.3.02 | | 3.1.3.02.1 | Florestas de pinheiro bravo com folhosas | 2 | | | | |
| | | | 3.1.3.02.2 | Florestas de pinheiro manso com folhosas | 2 | | | | |
| | | | 3.1.3.02.3 | Florestas de outra resinosa com folhosas | 2 | | | | |
| | | | 3.1.3.02.4 | Florestas de misturas de resinosas com folhosas | 2 | | | | |
| | 3.2 | 3.2.1 | Vegetação herbácea natural | 3.2.1.01 | 3.2.1.01.1 | Vegetação herbácea natural | 3 | | |
| | | | | | 3.2.2 | Matos | 3.2.2.01 | Matos densos | 3 |
| | | | | | | | 3.2.2.02 | Matos pouco densos | 3 |
| | | 3.2.3 | Vegetação esclerófila | 3.2.3.01 | Vegetação esclerófila densa | 3 | | | |
| | | | | 3.2.3.02 | Vegetação esclerófila pouco densa | 3 | | | |
| | | 3.2.4 | Florestas abertas, cortes e novas plantações | 3.2.4.01 | 3.2.4.01.1 | Florestas abertas de sobreiro | 3 | | |
| | | | | | 3.2.4.01.2 | Florestas abertas de azinheira | 3 | | |
| | | | | | 3.2.4.01.3 | Florestas abertas de outros carvalhos | 3 | | |
| | | | | | 3.2.4.01.4 | Florestas abertas de castanheiro | 3 | | |
| | | | | | 3.2.4.01.5 | Florestas abertas de eucalipto | 3 | | |
| | | | | | 3.2.4.01.6 | Florestas abertas de espécies invasoras | 3 | | |
| | | | | | 3.2.4.01.7 | Florestas abertas de outras folhosas | 3 | | |
| | | | | 3.2.4.02 | 3.2.4.02.1 | Florestas abertas de sobreiro com folhosas | 3 | | |
| | | | | | 3.2.4.02.2 | Florestas abertas de azinheira com folhosas | 3 | | |
| | | | | | 3.2.4.02.3 | Florestas abertas de outros carvalhos com folhosas | 3 | | |
| | | | | | 3.2.4.02.4 | Florestas abertas de castanheiro com folhosas | 3 | | |
| 3.2.4.02.5 | | | | | Florestas abertas de eucalipto com folhosas | 3 | | | |
| 3.2.4.02.6 | | | | | Florestas abertas de espécies invasoras com folhosas | 3 | | | |
| 3.2.4.02.7 | | | | | Florestas abertas de outra folhosa com folhosas | 3 | | | |
| 3.2.4.03 | | | | 3.2.4.03.1 | Florestas abertas de pinheiro bravo | 3 | | | |
| | | | | 3.2.4.03.2 | Florestas abertas de pinheiro manso | 3 | | | |
| | | | | 3.2.4.03.3 | Florestas abertas de outras resinosas | 3 | | | |
| 3.2.4.04 | | | | 3.2.4.04.1 | Florestas abertas de pinheiro bravo com resinosas | 3 | | | |
| | | | | 3.2.4.04.2 | Florestas abertas de pinheiro manso com resinosas | 3 | | | |
| | | | | 3.2.4.04.3 | Florestas abertas de outra resinosa com resinosas | 3 | | | |
| 3.2.4.05 | | | | 3.2.4.05.1 | Florestas abertas de sobreiro com resinosas | 3 | | | |
| | | | | 3.2.4.05.2 | Florestas abertas de azinheira com resinosas | 3 | | | |
| | | | | 3.2.4.05.3 | Florestas abertas de outros carvalhos com resinosas | 3 | | | |
| | | | | 3.2.4.05.4 | Florestas abertas de castanheiro com resinosas | 3 | | | |
| | | | | 3.2.4.05.5 | Florestas abertas de eucalipto com resinosas | 3 | | | |
| | | | | 3.2.4.05.6 | Florestas abertas de espécies invasoras com resinosas | 3 | | | |
| | | | | | 3.2.4.05.7 | Florestas abertas de outra folhosa com resinosas | 3 | | |

| | | | | | | | | | |
|----------------|------------|---------------------|-------------------------------|-------------------|---|--|----------------------------------|--|---|
| | | | | 3.2.4.05.8 | Florestas abertas de misturas de folhosas com resinosas | 3 | | | |
| | | | 3.2.4.06 | 3.2.4.06.1 | Florestas abertas de pinheiro bravo com folhosas | 3 | | | |
| | | | | 3.2.4.06.2 | Florestas abertas de pinheiro manso com folhosas | 3 | | | |
| | | | | 3.2.4.06.3 | Florestas abertas de outras resinosas com folhosas | 3 | | | |
| | | | | 3.2.4.06.4 | Florestas abertas de misturas de resinosas com folhosas | 3 | | | |
| | | | 3.2.4.07 | 3.2.4.07.1 | Outras formações lenhosas | 3 | | | |
| | | | 3.2.4.08 | 3.2.4.08.1 | Cortes rasos de florestas de sobreiro | 3 | | | |
| | | | | 3.2.4.08.2 | Cortes rasos de florestas de azinheira | 3 | | | |
| | | | | 3.2.4.08.3 | Cortes rasos de florestas de outros carvalhos | 3 | | | |
| | | | | 3.2.4.08.4 | Cortes rasos de florestas de castanheiro | 3 | | | |
| | | | | 3.2.4.08.5 | Cortes rasos de florestas de eucalipto | 3 | | | |
| | | | | 3.2.4.08.6 | Cortes rasos de florestas de espécies invasoras | 3 | | | |
| | | | 3.2.4.09 | 3.2.4.08.7 | Cortes rasos de florestas de outras folhosas | 3 | | | |
| | | | | 3.2.4.09.1 | Cortes rasos de florestas de pinheiro bravo | 3 | | | |
| | | | | 3.2.4.09.2 | Cortes rasos de florestas de pinheiro manso | 3 | | | |
| | | | 3.2.4.10 | 3.2.4.09.3 | Cortes rasos de florestas de outras resinosas | 3 | | | |
| | | | | 3.2.4.10.1 | Novas plantações de florestas de sobreiro | 3 | | | |
| | | | | 3.2.4.10.2 | Novas plantações de florestas de azinheira | 3 | | | |
| | | | | 3.2.4.10.3 | Novas plantações de florestas de outros carvalhos | 3 | | | |
| | | | | 3.2.4.10.4 | Novas plantações de florestas de castanheiro | 3 | | | |
| | | | | 3.2.4.10.5 | Novas plantações de florestas de eucalipto | 3 | | | |
| | | | | 3.2.4.10.6 | Novas plantações de florestas de espécies invasoras | 3 | | | |
| | | | 3.2.4.11 | 3.2.4.10.7 | Novas plantações de florestas de outras folhosas | 3 | | | |
| | | | | 3.2.4.11.1 | Novas plantações de florestas de pinheiro bravo | 3 | | | |
| | | | | 3.2.4.11.2 | Novas plantações de florestas de pinheiro manso | 3 | | | |
| | | | | 3.2.4.11.3 | Novas plantações de florestas de outras resinosas | 3 | | | |
| | | | 3.2.4.12 | 3.2.4.12.1 | Viveiros florestais | 3 | | | |
| | | | 3.2.4.13 | 3.2.4.13.1 | Aceiros e/ou corta-fogos | 5 | | | |
| | 3.3 | 3.3.1 | Praias, dunas e areais | 3.3.1.01 | 3.3.1.01.1 | Praias, dunas e areais interiores | 4 | | |
| | | | | | 3.3.1.02 | 3.3.1.02.1 | Praias, dunas e areais costeiros | 4 | |
| | | | 3.3.2 | Rocha nua | 3.3.2.01 | 3.3.2.01.1 | Rocha nua | 7 | |
| | | | 3.3.3 | Vegetação esparsa | 3.3.3.01 | 3.3.3.01.1 | Vegetação esparsa | 3 | |
| | | | 3.3.4 | Áreas ardidadas | 3.3.4.01 | 3.3.4.01.1 | Áreas ardidadas não florestais | 5 | |
| | | | | | | | 3.3.4.02.1 | Áreas ardidadas em florestas de sobreiro | 5 |
| | | | | | | | 3.3.4.02.2 | Áreas ardidadas em florestas de azinheira | 5 |
| | | | | | | | 3.3.4.02.3 | Áreas ardidadas em florestas de outros carvalhos | 5 |
| | | | | | | | 3.3.4.02.4 | Áreas ardidadas em florestas de castanheiro | 5 |
| | | | | | | | 3.3.4.02.5 | Áreas ardidadas em florestas de eucalipto | 5 |
| | | | | | | | 3.3.4.02.6 | Áreas ardidadas em florestas de espécies invasoras | 5 |
| | | | | | | | 3.3.4.02.7 | Áreas ardidadas em florestas de outras folhosas | 5 |
| | | | | | | | 3.3.4.03.1 | Áreas ardidadas em florestas de pinheiro bravo | 5 |
| | | | | | | | 3.3.4.03.2 | Áreas ardidadas em florestas de pinheiro manso | 5 |
| | | | | 3.3.4.03.3 | Áreas ardidadas em florestas de outras resinosas | 5 | | | |
| | | 3.3.5 | Neves eternas e glaciares | | | | 1 | | |
| Zonas húmidas | 4.1 | 4.1.1 | Paúis | 4.1.1.01 | 4.1.1.01.1 | Paúis | 2 | | |
| | | 4.1.2 | Turfeiras | 4.1.2.01 | 4.1.2.01.1 | Turfeiras | 2 | | |
| | 4.2 | 4.2.1 | Sapais | 4.2.1.01 | 4.2.1.01.1 | Sapais | 1 | | |
| | | 4.2.2 | Salinas e aquicultura litoral | 4.2.2.01 | 4.2.2.01.1 | Salinas | 1 | | |
| | | | | 4.2.2.02 | 4.2.2.02.1 | Aquicultura litoral | 1 | | |
| | 4.2.3 | Zonas entre – marés | 4.2.3.01 | 4.2.3.01.1 | Zonas entre – marés | 1 | | | |
| Corpos de água | 5.1 | 5.1.1 | Cursos de água | 5.1.1.01 | 5.1.1.01.1 | Cursos de água naturais | 12 | | |
| | | | | 5.1.1.02 | 5.1.1.02.1 | Canais artificiais | 1 | | |
| | | 5.1.2 | Planos de água | 5.1.2.01 | 5.1.2.01.1 | Lagos e lagoas interiores artificiais | 1 | | |
| | | | | 5.1.2.01.2 | 5.1.2.01.2 | Lagos e lagoas interiores naturais | 1 | | |
| | | | | 5.1.2.02 | 5.1.2.02.1 | Reservatórios de barragens | 1 | | |
| | | | | 5.1.2.03.1 | 5.1.2.03.1 | Reservatórios de represas ou de açudes | 1 | | |
| | | | | 5.1.2.03.2 | 5.1.2.03.2 | Charcas | 1 | | |
| | 5.1.2.03.3 | 5.1.2.03.3 | Aquicultura interior | 1 | | | | | |
| | 5.2 | 5.2.1 | Lagoas costeiras | 5.2.1.01 | 5.2.1.01.1 | Lagoas costeiras | 12 | | |
| | | 5.2.2 | Desembocaduras fluviais | 5.2.2.01 | 5.2.2.01.1 | Desembocaduras fluviais | 12 | | |
| 5.2.3 | | Oceano | 5.2.3.01 | 5.2.3.01.1 | Oceano | 12 | | | |

Anexo III: Classificação de Impermeabilidade COS2010

