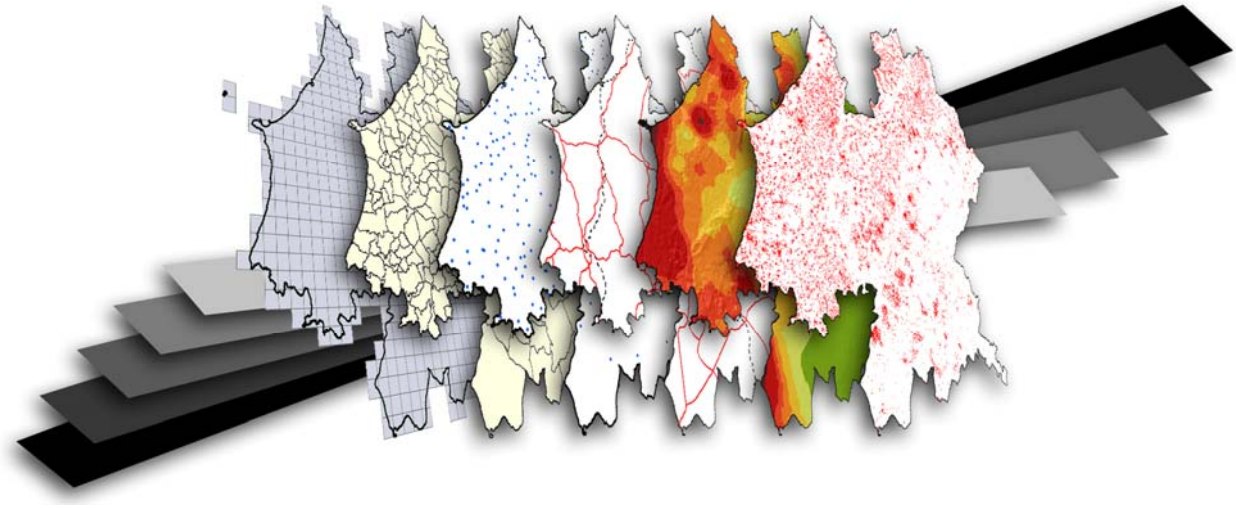
MODELAÇÃO CARTOGRÁFICA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO

UM ENSAIO METODOLÓGICO DE CARTOGRAFIA DASIMÉTRICA

APLICADO À REGIÃO OESTE E VALE DO TEJO



Filipe Batista e Silva

U.PORTO

2009

Dissertação apresentada à Faculdade de Letras da Universidade do Porto para a obtenção do grau de mestre em ***Sistemas de Informação Geográfica e Ordenamento do Território***.

Autor:

Filipe Batista e Silva

Orientação:

Profª Doutora Teresa Sá Marques

Júri:

Prof. Doutor Mário Caetano

Prof. Doutor Mário Gonçalves Fernandes

Prof. Doutor Carlos Bateira

Profª Doutora Teresa Sá Marques

Data de defesa pública: 20 de Fevereiro de 2009.

Versão revista.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, pelo apoio inesgotável de sempre, em todas as áreas da minha vida, por me terem facultado as ferramentas, condições e estímulos necessários à minha capacitação e desenvolvimento pessoal. Aos meus pais e irmão dedico esta dissertação.

À Prof. Doutora Teresa Sá Marques, pela orientação, estímulo, apoio, confiança no meu trabalho, abertura de horizontes e oportunidades. Também pela liberdade de investigação e de trabalho que sempre permitiu e encorajou.

À minha querida Manu, que compreendeu a minha ausência nos momentos mais intensos de trabalho, e que deu também uma preciosa ajuda na revisão do texto.

Ao Departamento de Geografia da Universidade do Porto, que, através dos seus professores, amigos e colegas, me permitiu evoluir enquanto pessoa, estudante e geógrafo, desenvolver a minha curiosidade e estimular o meu gosto pela investigação.

À CCDR-LVT, pela disponibilização de informação, sem a qual os resultados aqui apresentados não seriam possíveis de atingir e, em especial, ao Dr. Vital Rosário e toda a equipa.

Ao Prof. Doutor Alberto Gomes, pelos conselhos e sugestões que teve a amabilidade de prestar.

RESUMO

A representação cartográfica da distribuição do povoamento humano é um problema que ocupa geógrafos e cartógrafos desde há alguns séculos. A primeira metade do século XX conheceu desenvolvimentos importantes nas técnicas e nas formas de representação, não apenas do povoamento, mas de toda a cartografia temática em geral. Mais recentemente, com o advento e a vulgarização das Tecnologias de Informação Geográfica e sucessiva produção e disponibilização de informação geográfica em formato digital, foi possível reinventar as formas de produção da cartografia temática, aperfeiçoar as técnicas e os métodos e gerar produtos inovadores e de grande utilidade, designadamente, para o Planeamento e Ordenamento do Território, em todas as suas vertentes.

As necessidades são, hoje em dia, novas e mais exigentes. Ter uma imagem global da distribuição populacional por meio de cartografia, por mais expressiva que seja, e conhecer o número de habitantes existentes numa dada área, num dado momento, não é suficiente. Para as aplicações mais exigentes e actuais, é necessário que essa informação seja cartografada com maior conformidade relativamente à realidade do terreno, possua um adequado nível de desagregação geográfica, seja suficientemente detalhada e o formato de dados permita uma fácil integração com outras bases de informação geográfica.

As superfícies populacionais matriciais de grande resolução espacial, produzidas através do método dasimétrico em ambiente de Sistemas de Informação Geográfica, respondem aos requisitos enumerados. Tendo como área de teste a região portuguesa Oeste e Vale do Tejo, o trabalho apresentado nesta dissertação pretende demonstrar e exemplificar isso mesmo.

Número de residentes e número de edifícios foram as duas variáveis usadas para testar diferentes técnicas de modelação cartográfica, com o objectivo de desagregar a informação censitária em superfícies matriciais de 30 metros de resolução. As diferentes técnicas de modelação testadas foram avaliadas e comparadas usando instrumentos estatísticos conhecidos. O método de mapeamento dasimétrico foi, então, utilizado para elaborar, como produtos finais, Modelos Digitais da População (MDP) e do Edificado residencial (MDEr). Como etapa final deste trabalho, foram feitos três diferentes exercícios de aplicação dos modelos, ficando assim demonstrada a utilidade e a mais valia da cartografia digital produzida.

Palavras-chave: Cartografia temática, interpolação zonal, cartografia dasimétrica, SIG, distribuição populacional, ordenamento do território, Oeste e Vale do Tejo, Portugal.

ABSTRACT

Cartographic representation of the distribution of human settlement is a problem geographers and cartographers have dealt with for centuries. The first half of the 20th century witnessed important developments in techniques and forms of representation, not only of settlements, but in all areas of thematic cartography in general. More recently, with the advent and spread of Geographical Information Technologies and the successive production and availability of geographical information in digital format, it was possible to reinvent ways in which to produce thematic cartography, to improve techniques and methods, and generate innovative and more useful products, particularly for Spatial Planning and Management, in all its dimensions.

There are new and more demanding needs today. To have a global image of population distribution through cartography, no matter how expressive it may be, and to know how many inhabitants there are in a given area at a given moment, is not enough. For more demanding, updated applications, this information has to be mapped with greater conformity to the reality of the territory, has to have an appropriate level of geographical disaggregation, has to be sufficiently detailed, and its data format has to be easily compatible with other geographical information datasets.

Raster population surfaces with high spatial resolution, using the dasymetric mapping method in Geographical Information Systems, correspond to the requirements mentioned above. Taking as its test area the West and Tagus Valley regions of Portugal (*Oeste e Vale do Tejo*), this dissertation intends to demonstrate and illustrate this claim.

Number of residents and number of buildings were the two variables used to test different techniques of cartographic modelling, aimed at disaggregating census data into raster surfaces with 30 metres resolution. The different modelling techniques tested were evaluated and compared using known statistical tools. The dasymetric mapping method was then applied to prepare, as final products, Digital Population Models (DPM) and Digital Residential Building Models (DRBM). As the final stage in this study, three different exercises were conducted applying the models, thus demonstrating the usefulness and effectiveness of the digital cartography produced.

Key words: Thematic cartography, areal interpolation, dasymetric mapping, GIS, population distribution, spatial planning, Oeste e Vale do Tejo, Portugal.

ÍNDICE GERAL

Agradecimentos 2

Resumo 3

Abstract 4

Índice geral 5

Índice de figuras 9

Índice de quadros 11

Acrónimos 13

1. Introdução 15

1.1 A Cartografia Temática ao serviço do Ordenamento do Território e os novos paradigmas .. 15

1.2 Enquadramento, tema e objectivos da dissertação 17

1.2.1 Cartografia dasimétrica: esclarecer o significado de um conceito com pouca tradição em Portugal 18

1.2.2 Objectivos 19

1.3 Organização da dissertação 21

2. A Cartografia Temática e as representações da distribuição populacional 23

2.1 Cartografia: aspectos fundamentais 23

2.1.1 Carta e Cartografia: definições 23

2.1.2 Cartografia de base e cartografia temática 24

2.2 O caso particular da representação de distribuições populacionais 29

2.2.1 Representações portuguesas da distribuição populacional (até 1991): predomínio dos mapas de pontos 29

2.2.2 Representações recentes da distribuição populacional (após 1991): predomínio dos mapas coropletos 39

2.3 Problemas e limitações do uso de zonamentos normativos como base gráfica para a representação de indicadores socioeconómicos 44

2.3.1 Problema das Unidades de Área Modificáveis (MAUP) 47

2.3.2 O Problema de Alteração de Suporte Espacial (COSP) 49

3. Métodos de modelação cartográfica aplicados ao mapeamento de distribuições populacionais 51

3.1 Interpolação zonal: revisão de métodos 51

3.1.1 A interpolação zonal e o mapeamento de distribuições populacionais. Enquadramento preliminar 51

3.1.2 A interpolação zonal e a transformação de dados 53

3.2 Modelos globais da população 60

3.2.1 LandScan Global Population Database 61

3.2.2 Gridded Population of the World / Global Rural – Urban Mapping Project 63

3.2.3. Modelo europeu da densidade populacional 64

3.3 Outros estudos e aplicações 65

3.3.1 Exemplos da aplicação de modelos dasimétricos 66

3.3.2 The Rise of the Mega Region: técnicas dasimétricas aplicadas a um estudo de geografia económica 69

3.4 Desenvolvimentos recentes da cartografia dasimétrica em Portugal 74

3.4.1 Modelo da distribuição espacial da população residente em Portugal Continental com a resolução de 1 km^2 74

3.4.2 O projecto Democarto 75

4. Modelação cartográfica da distribuição populacional e do edificado da Região Oeste e Vale do Tejo segundo o método dasimétrico. Caso de estudo 79

4.1 A área de estudo 79

4.1.1 Motivação da escolha 79

4.1.2 Enquadramento geográfico 80

4.1.3 Diagnóstico dos problemas das unidades de enumeração estatística e administrativa no OVT 87

4.2 Produção de modelos cartográficos matriciais da população e do edificado 90

4.2.1 Esquema metodológico de trabalho 90

4.2.2 Informação geográfica utilizada 99

4.2.3 Algoritmos utilizados 106

4.2.4 Implementação 110

4.2.5 Densidades amostradas 111

4.3 Avaliação dos resultados obtidos 115

4.3.1 Análise de variância 118

4.4 Superfícies finais da população e do edificado 123

5. Aplicação dos modelos em diferentes domínios temáticos 125

5.1 Enquadramento e objectivos do capítulo 125

5.2 População e edifícios em risco 126

5.2.1 Enquadramento 126

5.2.2 Aplicação e resultados 127

5.2.3 Conclusões 129

5.3 Acessibilidade e população servida por serviços de Urgência Hospitalar 130

5.3.1 Enquadramento 130

5.3.2 Aplicação e resultados 131

5.3.3 Conclusões 134

5.4 Urbanismo e Ordenamento do Território 134

5.4.1 Enquadramento 134

5.4.2 Aplicação e resultados 137

5.4.3 Conclusões 140

6. Considerações finais e desenvolvimentos futuros 141

Referências bibliográficas 145

Anexo 1: Diagramas de dispersão dos modelos digitais da população (1 a 6) 154

Anexo 2: Histogramas de erros dos modelos digitais da população (1 a 6) 157

Anexo 3: Diagramas de dispersão dos modelos digitais do edificado residencial (1 a 3) 160

Anexo 4: Histogramas de erros dos modelos digitais do edificado residencial (1 a 3) 162

Anexo 5: Cartografia produzida 164

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo dasimétrico 19

Figura 2. Conceitos de mapa e Cartografia 25

Figura 3. Extracto da Carta Militar de Portugal Série M888 de escala 1:25.000 26

Figura 4. Extracto da Carta Militar Itinerária de Portugal Continental de escala 1:500.000 26

Figura 5. Carta da povoação concelhia de Portugal em 1876 (B. Barros Gomes (1878)) 32

Figura 6. Distribuição da população em 1950 (Amorim Girão (1958)) 37

Figura 7. Densidade populacional em 1950 (Amorim Girão (1958)) 38

Figura 8. Número de habitantes em 1991 por quadrícula quilométrica 39

Figura 9. Densidade populacional no Algarve, por freguesia, 2001 41

Figura 10. Densidade populacional em Portugal, por freguesia, 2001 43

Figura 11. Distribuição da população em Portugal, 2001 44

Figura 12. Efeito escala e efeito zonal do MAUP 48

Figura 13. Variação da população por NUT5 entre os censos de 1981 e 1991 na fronteira franco-belga 49

Figura 14. Problema de Alteração do Suporte Espacial e seu enquadramento..... 50

Figura 15. Modelo genérico de transformações espaciais 52

Figura 16. Classificação de métodos de interpolação zonal 54

Figura 17. Modelo dasimétrico inteligente matricial 59

Figura 18. Distribuição do coeficiente de probabilidade populacional no Mediterrâneo Oriental 62

Figura 19. Densidade Populacional em Portugal, 2000 (CIESIN (2005)) 64

Figura 20. Densidade populacional na Europa, 2001 (Gallego (2006)) 65

Figura 21. Distribuição diurna e nocturna da população em Astoria, EUA 67

Figura 22. Mega-regiões identificadas para a Europa 73

Figura 23. Modelo para cartografar a distribuição espacial e temporal da população 77

Figura 24. Enquadramento geográfico da região Oeste e Vale do Tejo 82

Figura 25. Densidade populacional no OVT, 2001 85

Figura 26. Inconsistências espaciais entre o zonamento das subsecções da BGRI e as áreas edificadas identificadas na carta POS-OVT 89

Figura 27. Inconsistências espaciais entre o zonamento das subsecções da BGRI e a realidade do território edificado 89

Figura 28. Esquema metodológico de trabalho 93

Figura 29. Tipos de Mapeamento Dasimétrico 106

Figura 30. Desempenho dos modelos da distribuição da população 1 a 6 117

Figura 31. Desempenho dos modelos da distribuição do edificado residencial 1 a 3 118

Figura 32. Representações coropleta e dasimétrica da densidade populacional na área de Peniche, 2001. 124

Figura 33. Mapas de perigo sísmico, de inundação por maremoto, de cheias progressivas e de movimentos de vertente 128

Figura 34. Mapas de acessibilidade rodoviária à rede de urgências de Portugal continental, antes e após a reforma 132

Figura 35. Tabela de atributos das áreas de contiguidade edificada do OVT. 139

Figura 36. Densidade e número de edifícios residenciais por área de contiguidade para a área de Peniche, 2001 139

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1. Síntese dos principais tipos de mapas temáticos segundo a técnica cartográfica utilizada. 28

Quadro 2. Principais tipos de zonamento em Cartografia 45

Quadro 3. Dez principais mega-regiões mundiais identificadas 73

Quadro 4. Estatísticas básicas sobre a área das unidades de colecta de dados na área de trabalho. 88

Quadro 5. Diferenças técnicas para a produção dos modelos digitais da população e do edificado 97

Quadro 6. Objectos extraídos do Modelo Numérico Topográfico da Série Cartográfica Nacional 1:10.000 do IGP 104

Quadro 7. Demonstração prática do algoritmo MDB 108

Quadro 8. Demonstração prática do algoritmo MDI 109

Quadro 9. Densidade populacional amostrada e fracção de densidade para cada classe de ocupação do solo da CLC 2000. Seccionamento da amostragem: NUTS3. Fracções de densidade utilizadas no MDP1 112

Quadro 10. Densidade populacional amostrada e fracção de densidade para cada classe de ocupação do solo da carta POS-OVT modificada. Seccionamento da amostragem: NUTS3. Fracções de densidade utilizadas no MDP4 113

Quadro 11. Densidade populacional amostrada e fracção de densidade para cada classe de ocupação do solo da carta POS-OVT modificada. Seccionamento da amostragem: freguesias de baixa densidade / freguesias de média e alta densidade populacional. Fracções de densidade utilizadas no MDP5 113

Quadro 12. Densidade populacional amostrada e fracção de densidade para cada classe de ocupação do solo da carta POS-OVT original. Seccionamento da amostragem: NUTS3. Fracções de densidade utilizadas no MDP6 114

Quadro 13. Densidade populacional amostrada e fracção de densidade para cada classe de ocupação do solo da carta POS-OVT original. Seccionamento da amostragem: NUTS3. Fracções de densidade utilizadas no MDEr3 115

Quadro 14. Síntese dos indicadores de qualidade para os Modelos Digitais da População 1 a 6. 116

Quadro 15. Síntese dos indicadores de qualidade para os Modelos Digitais do Edificado Residencial 1 a 3 117

Quadro 16. Estatísticas descritivas dos coeficientes de variação para os modelos digitais da população 119

Quadro 17. Estatísticas descritivas dos coeficientes de variação para os modelos digitais do edificado 119

Quadro 18. Resultados da ANOVA dos CV dos seis MDP. 120

Quadro 19. Resultados da ANOVA dos CV dos três MDEr. 120

Quadro 20. Resultados do teste de Tamhanes, de existência de diferença significativa entre cada par de MDP. 121

Quadro 21. Resultados do teste de Tamhanes, de existência de diferença significativa entre cada par de MDEr. 122

Quadro 22. Semelhança e dissemelhança entre os modelos populacionais 122

Quadro 23. Semelhança e dissemelhança entre os modelos do edificado residencial 122

Quadro 24. População e edifícios em risco, por tipo de perigo natural, por concelho. 129

Quadro 25. População servida por intervalos de acessibilidade (em minutos) à rede de urgências, antes e após a reforma, por concelho. 133

Quadro 26. População e percentagem de população servida por intervalos de acessibilidade à rede de urgências, antes e após a reforma. Síntese para o OVT 133

ACRÓNIMOS

AML – Área Metropolitana de Lisboa

ANOVA – Análise de variância

BGRI – Base Geográfica de Referenciação de Informação

CAD – *Computer-Aided Design*

CAOP – Carta Administrativa Oficial de Portugal

CCDR – Comissão de Coordenação Regional

CCDR-LVT – Comissão de Coordenação Regional de Lisboa e Vale do Tejo

CLC – Corine Land Cover

CNIG – Centro Nacional de Informação Geográfica

COS 90 – Carta de Ocupação do solo de 1990

COSP – *Change of Support Problem*

E10k – Edifícios de cartografia topográfica à escala 1:10.000 do IGP

ER10k – Edifícios residenciais de cartografia topográfica à escala 1:10.000 do IGP

EUA – Estados Unidos da América

GPS – Global Positioning System, Sistema de Posicionamento Global

IGEOE – Instituto Geográfico Português do Exército

IGP – Instituto Geográfico Português

INE – Instituto Nacional de Estatística

LBPOTU – Lei de Bases da Política de Ordenamento do Território e de Urbanismo

MAUP – *Modifiable Areal Unit Problem*

MDE – Modelo Digital de Elevação

MDEr – Modelo Digital do Edificado residencial

MDP – Modelo Digital da População

MGP – Modelo Global da População

NUTS – Nomenclatura de Unidades Territoriais para fins Estatísticos

OT – Ordenamento do Território

OVT – Oeste e Vale do Tejo

PDM – Plano Director Municipal

PIB – Produto Interno Bruto

PIOT – Plano Intermunicipal de Ordenamento do Território

PMOT – Plano Municipal de Ordenamento do Território

PNPOT – Plano Nacional da Política de Ordenamento do Território

POS – Padrões de Ocupação do Solo

PP – Plano de Pormenor

PROT – Plano Regional de Ordenamento do Território

PROT-OVT – Plano Regional de Ordenamento do Território da região Oeste e Vale do Tejo

PU – Plano de Urbanização

RMSE – *Root Mean Square Error* (Erro Quadrático Médio)

SGIG – Sistema Gestor de Informação Geográfica

SIG – Sistema(s) de Informação Geográfica

SNIG – Sistema Nacional de Informação Geográfica

TIG – Tecnologias de Informação Geográfica

USGS – United States Geological Survey

1. INTRODUÇÃO

1.1 A Cartografia Temática ao serviço do Ordenamento do Território e os novos paradigmas

O advento das Tecnologias de Informação Geográfica (TIG), o aumento da produção e da oferta de informação geográfica digital e o crescimento do número de utilizadores com acesso quer às ferramentas tecnológicas quer à informação, são três realidades que possibilitaram uma conjuntura favorável à facilitação dos processos produtivos da cartografia temática e, portanto, à sua rápida vulgarização. Por outro lado, numa Europa e num Mundo cada vez mais conscientes das fragilidades ambientais, sociais e económicas e cada vez mais empenhados em sistemas de regulação, o ordenamento do território surge em força num contexto de resposta aos desafios da sustentabilidade. A cartografia temática, e a de base, são instrumentos essenciais àquela disciplina, conjugando-se, assim, o aumento tanto da procura como da oferta de cartografia. Esta tendência, associada ao permanente desenvolvimento tecnológico, tem permitido o rápido surgimento de novos produtos cartográficos, novas formas de representação e armazenamento da informação geográfica e, muito importante, novas formas da sua disponibilização. Slocum *et al*. (2009: 30), no seu recente manual de cartografia e geovisualização, enfatiza que o surgimento dos SIG transformou o universo da cartografia: "The intellectual landscape of cartography has changed significantly over the paste 10 to 15 years, in large part due to the rapid growth of GIS and GIScience".

A cartografia temática continua, na actualidade, a ser um produto físico, quando impresso, mas não se cinge a isso. A cada mapa impresso está associado um sistema de ficheiros informáticos que reúne e integra a informação geográfica e alfanumérica. Através de modernos Sistemas Gestores de Informação Geográfica (SGIG)[1], cujos primórdios datam da década de 1960, os diferentes níveis de informação (*layers* ou camadas) podem ser sujeitos a operações geométricas (de sobreposição, generalização, extracção, proximidade), operações algébricas, operações de conversão, operações de análise, das quais pode resultar nova informação e/ou novo conhecimento. Informação georreferenciada (ou passível de georreferenciação) oriunda das mais diversas fontes – cartografia de base e temática, censos, estatísticas, inquéritos, sondas, imagens de satélite, fotografias aéreas e ortofotomapas, GPS e

[1] Para uma breve resenha histórica dos SIG e SGIG, ver Matos (2001: 1-9).

outras – pode ser reunida, organizada e trabalhada em simultâneo num SIG. Também a divulgação e a publicação da cartografia conhece novos formatos, dos quais se ressalta a publicação *on-line* – em Internet ou Intranet –, tendo como interface produtor-consumidor um *browser*, podendo o produto revestir-se ainda de funcionalidades interactivas, em que o consumidor pode interagir, navegando pelo mapa, modificando a escala de visualização, efectuando consultas e, até mesmo, em produtos mais sofisticados, com análises espaciais mais ou menos complexas (Slocum *et al*. 2009: 441-459). O exemplo de longe mais ilustrativo e popularizado entre os cidadãos com acesso à Internet é o dos produtos *Google Maps* e *Google Earth*, criados, disponibilizados e mantidos pela Google[2].

A publicação da Lei de Bases da Política de Ordenamento do Território e de Urbanismo (LBPOTU)[3] dotou o nosso país de um quadro que define e integra um conjunto de instrumentos de ordenamento do território, que vão desde os mais vocacionados para o desenvolvimento territorial nacional, regional ou intermunicipal (PNPOT, PROT e PIOT), aos mais vocacionados para o planeamento territorial municipal (PMOT, com as figuras PDM, PP e PU), e ainda os planos sectoriais e os especiais, destinados ao ordenamento de áreas sensíveis, como a orla costeira, áreas protegidas e albufeiras. A LBPOTU, volvida agora mais de uma década desde a sua entrada em vigor, tem sido implementada faseadamente, sendo os PROT das regiões Algarve, Oeste e Vale do Tejo, Norte, Centro e Alentejo os instrumentos de ordenamento territorial mais recentemente produzidos em Portugal à escala regional[4]. Os instrumentos de OT, como planos cujo objecto de interesse e a base de implementação é o território, têm na cartografia temática uma das suas principais ferramentas e um dos seus principais veículos de comunicação. Também a avaliação, a monitorização e o acompanhamento dos planos é facilitada, hoje em dia, pelas aplicações de WebSIG, permitindo o acesso simultâneo de um vasto espectro de utilizadores – das instituições públicas e privadas até aos cidadãos interessados – a conteúdos em permanente actualização.

---

[2] Os produtos referidos foram a vanguarda de uma mudança de paradigma relativamente à disponibilização e ao consumo de informação geográfica. Esta deixou de ser apenas para o consumo de técnicos e cientistas da Terra, para passar a ser de todos. A sensibilidade e a cultura geográfica de todos os cidadãos podem sofrer melhorias significativas com a vulgarização e a massificação, não apenas da informação geográfica, mas também de ferramentas de análise espacial acessíveis a qualquer utilizador destes produtos globais e globalizados.

[3] Lei n.º 48/98, de 11 de Agosto.

[4] À data da elaboração desta dissertação, os PROT das regiões Norte, Centro e Alentejo estavam em fases finais de elaboração ou de discussão pública. Depois de terminado o período de discussão pública do PROT da região OVT, este foi entregue ao Governo, para aprovação, no dia 15 de Outubro de 2008.

Cartografia temática e ordenamento do território, duas disciplinas práticas que convivem intimamente uma com a outra e que acompanham a evolução dos tempos, das exigências da sociedade e do avanço tecnológico.

1.2 Enquadramento, tema e objectivos da dissertação

Esta é uma dissertação sobre métodos cartográficos e sua utilidade para o ordenamento do território. Concretamente, o trabalho será inteiramente dedicado ao problema da representação cartográfica da distribuição da população o que, na realidade, é um sub-problema de um mais abrangente: a representação das distribuições espaciais.

Como se verá mais adiante, foi a partir da década de 1920 que, em Portugal, esforços conduzidos essencialmente por geógrafos foram feitos no sentido de mapear com rigor a distribuição da população portuguesa. As soluções técnicas e metodológicas nessa altura disponíveis[5] permitiam solucionar o problema e responder razoavelmente aos fins em vista que, no entanto, como já referira Dias (1991: 7), se cingiam praticamente a fornecer ao utilizador "uma imagem sugestiva do conjunto da repartição da população".

Freire (2007b), ao mesmo tempo que constatava que "o número de habitantes existentes numa dada área é certamente o indicador demográfico mais básico e transversal que existe" reconhecia, citando Deichmann (1996), que "a espacialização de variáveis socioeconómicas (…) encontra-se menos desenvolvida que a geração de dados espaciais sobre factores físicos". Com efeito, o mapeamento de variáveis socioeconómicas e demográficas tem sido feito com recurso a unidades geográficas estanques, geralmente as político-administrativas, que são simultaneamente unidades de colecta de dados e unidades básicas da sua representação cartográfica.

Cartografar o número de residentes, ou a sua densidade por unidade de área, pode ser uma forma de cartografar (e também de identificar no espaço) o urbano e o não urbano. Esta questão é particularmente complexa numa época e num território onde, entre o espaço claramente urbano e o espaço indiscutivelmente não urbano, há uma matiz infinda de situações intermédias, e onde as divisões administrativas quase não interferem no processo de evolução da mancha edificada. Por este motivo, há a necessidade de recorrer a unidades

[5] Mapas de pontos referenciados à localização de aglomerados populacionais, como sedes de freguesia, combinando, eventualmente, círculos proporcionais à população para as localidades mais populosas.

geográficas de base mais flexíveis, de modo a permitir agregações e desagregações da informação convenientes para diferentes escalas de análise e abordagens disciplinares e temáticas diversas (Bispo 2008: 13).

Na actualidade, as exigências são novas e, por conseguinte, as soluções encontradas para representar a distribuição da população têm de ser necessariamente distintas. Não basta produzir um mapa que forneça ao utilizador uma boa imagem de conjunto da distribuição populacional. É necessário, em primeiro lugar, que essa imagem seja mais conforme com a realidade do que os mapas temáticos de outrora, fazendo corresponder a simbologia e sua respectiva valoração aos locais onde realmente há alojamentos humanos, com o menor erro posicional possível. É também necessário que a informação possua características que lhe confiram um elevado grau de compatibilidade e possibilidade de integração com outras fontes de informação geográfica, assim como ser usada, em ambiente SIG para as mais diversas análises espaciais.

A técnica cartográfica denominada dasimetria (Wright 1936), utilizada, na "Era das TIG", para produzir saídas (*outputs*) cartográficas em formato digital matricial de elevada resolução espacial, tem sido uma solução cada vez mais utilizada para responder às necessidades actuais (Liu, Kyriakidis e Goodchild 2008: 431-432).

1.2.1 Cartografia dasimétrica: esclarecer o significado de um conceito com pouca tradição em Portugal

Embora já tenham sido encontradas breves referências, como por exemplo em Fernandes (2008: 89-90), o termo e o conceito de "cartografia dasimétrica"[6] têm muito pouca tradição teórica e prática na Geografia e na Cartografia portuguesas. No entanto, qualquer bom manual anglo-saxónico de cartografia temática permite um esclarecimento. Segundo Slocum (1999: 168), o mapa dasimétrico é uma evolução do mapa coropleto e distingue-se fundamentalmente deste por utilizar informação auxiliar para aperfeiçoar a representação de uma distribuição ou de uma densidade espacial. Por exemplo, se o objectivo for mapear a densidade de lobos na Península Ibérica, então, no lugar de usar a área de uma qualquer divisão administrativa para normalizar e representar os dados (número de lobos / área), deve usar-se a delimitação das áreas que constituem o habitat da espécie. Neste caso, a utilização

[6] Ou densimétrica.

de limites de áreas montanhosas e/ou protegidas poderia ser um tipo de informação auxiliar de apoio à produção do mapa, permitindo duas melhorias face ao mapa coropleto:

- Representar com maior rigor geográfico a localização do fenómeno (número de lobos);
- Adequar o índice de densidade em função da área potencialmente ocupada por lobos.

No caso de um mapa de densidade populacional (humana), o recurso a informação geográfica auxiliar que indique a localização de áreas não habitadas, como grandes superfícies de água, extensas áreas florestais e agrícolas, permite aprimorar razoavelmente a cartografia final, impedindo que estas áreas sejam utilizadas para representar a mancha habitada e que o seu valor de área seja utilizado para o cálculo da densidade.

Os exemplos enunciados referem-se a um tipo de cartografia dasimétrica elementar, do tipo binário, a que mais à frente se fará nova referência. No entanto, a cartografia dasimétrica conhece outros desenvolvimentos e variantes mais elaborados que serão, oportunamente, enquadrados nesta dissertação. Retenha-se, para já, o essencial. No processo produtivo de um mapa dasimétrico recorre-se a informação geográfica auxiliar, fortemente correlacionada com a variável a representar, de forma a melhorar a sua representação cartográfica, limitando a distribuição às áreas em que de facto ela ocorre (figura 1).

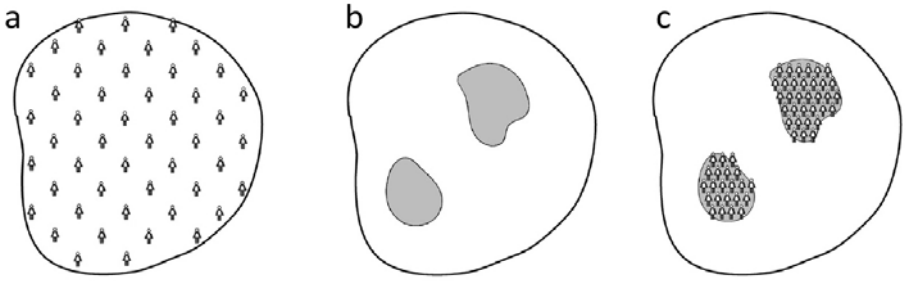


Figura 1. Modelo dasimétrico. (a) População igualmente distribuída pela unidade de enumeração (zona de origem); (b) Informação auxiliar, com áreas povoadas a cinzento (zonas de destino) e despovoadas a branco; (c) População redistribuída nas zonas de destino. Extraído de Langford (2007: 21).

1.2.2 Objectivos

O objectivo central desta dissertação é aplicar as mais reconhecidas e actuais técnicas de cartografia dasimétrica, com recurso a SGIG, de forma a produzir, para a região Oeste e Vale

do Tejo, dois modelos cartográficos que representem, com grande precisão e qualidade (completude e exactidão):

- A distribuição do número de residentes (modelo de distribuição da população);
- A distribuição do número de edifícios com função residencial (modelo de distribuição do edificado residencial)[7].

Por analogia aos Modelos Digitais de Elevação (MDE), serão daqui em diante usados os termos, para o primeiro caso, "Modelo Digital da População" (MDP) e, para o segundo, "Modelo Digital do Edificado residencial" (MDEr)[8].

Para se obter os dois modelos referidos, terão de ser previamente estudadas e testadas diferentes técnicas de interpolação zonal[9] para a área de estudo, resultando MDP e MDEr experimentais, destinados a uma aferição e comparação de qualidade por meio de estatísticas de erros. As principais técnicas testadas são variantes da técnica de cartografia dasimétrica, com diferenças ao nível da informação auxiliar utilizada, assim como no uso ou não de densidades diferenciadas para as zonas de destino. É objectivo deste trabalho determinar qual a melhor variante técnica e produzir os dois modelos finais com base nessa escolha.

Depois de comprovar a qualidade da metodologia proposta e a sua adequação à resolução do problema de partida[10], pretende-se também demonstrar a utilidade dos modelos produzidos, evidenciando a sua aplicação a diferentes vertentes do ordenamento do território.

Objectivo mais genérico deste trabalho, é contribuir para trazer para o discurso e, sobretudo, para a prática cartográfica portuguesa a(s) metodologia(s) do mapeamento dasimétrico, acrescentando algum conhecimento e experiência neste domínio, já que só muito insipidamente foi abordado no nosso país. Pretende-se, por outro lado, estimular quer a prática da cartografia dasimétrica na modelação de outras variáveis (socioeconómicas e não

---

[7] A variável utilizada corresponde ao somatório das variáveis "edifícios exclusivamente residenciais", "edifícios principalmente residenciais" e "edifícios principalmente não residenciais" do INE (INE, http://metaweb.ine.pt/sim/conceitos/ [consulta: Maio 2008]).

[8] Com efeito, os modelos propostos têm características semelhantes aos MDE: armazenam-se em formato matricial, possuem uma resolução espacial uniforme, são modelos contínuos (ou semi-contínuos) para a área de estudo e são dados com características tridimensionais (possuem x, y e z).

[9] Conjunto de técnicas geralmente utilizadas em ambiente SIG para resolver problemas de transformação de dados agregados a um conjunto de zonas (de origem) em zonas (de destino) com geometria diferente. Adoptado de Mennis (2006: 180). A cartografia dasimétrica é considerada um tipo de interpolação zonal.

[10] A modelação cartográfica da distribuição populacional e do edificado residencial.

só), quer o debate e o aprimoramento metodológico que necessita continuamente de ser aprofundado.

1.3 Organização da dissertação

A dissertação estrutura-se em seis capítulos, organizados numa sequência lógica e crescente quanto ao grau explicativo: introdução e enquadramento temático (capítulo 1), revisão teórica e metodológica (capítulos 2 e 3), caso de estudo (capítulo 4), aplicação dos modelos produzidos (capítulo 5) e conclusões (capítulo 6).

Fez-se já, no primeiro capítulo, um enquadramento genérico ao tema e enunciaram-se os principais objectivos. O capítulo 2, por sua vez, aborda as questões da cartografia numa perspectiva mais teórica. É feita uma reflexão que parte dos conceitos fundamentais da cartografia temática para a descrição e crítica das soluções mais "convencionais" utilizadas para representar a distribuição populacional. Não serão esquecidas as experiências mais antigas e mais recentes da cartografia portuguesa de abordagem ao problema das distribuições populacionais.

No terceiro capítulo far-se-á a revisão dos principais métodos de interpolação zonal, realçando, de entre eles, o método dasimétrico e distinguindo diferentes abordagens consagradas na literatura da especialidade. Será ainda feita uma revisão a modelos globais de população (MGP) disponíveis *on-line*, assim como referência a outros estudos e aplicações dos modelos e das técnicas de cartografia dasimétrica.

O quarto capítulo é inteiramente dedicado ao desenvolvimento do caso de estudo. Depois de um brevíssimo enquadramento da área em estudo e da formulação do problema, será descrito o esquema metodológico de trabalho. Cada variante ao método dasimétrico para a produção dos MDP e MDEr experimentais é explicada, quer em termos da informação geográfica utilizada, quer em termos dos pressupostos técnicos. A validação dos modelos produzidos é feita mediante a apresentação de estatísticas de erros, sendo ainda determinada a diferença significativa entre os modelos através de uma análise de variância (ANOVA). O melhor método será então proposto e utilizado para a produção dos MDP e MDEr finais.

Com base nos dois modelos resultantes, serão descritos, no capítulo 5, três exercícios que foram levados a cabo com o objectivo de demonstrar e exemplificar a aplicação deste produto ao ordenamento do território em três diferentes áreas: perigos naturais (cálculo de pessoas e

edifícios em risco); população servida por Serviços de Urgência Hospitalar com base em níveis de acessibilidade; aplicação às políticas regionais e municipais de ordenamento do território e urbanismo[11].

No último capítulo, serão tecidas as considerações finais sobre a globalidade do trabalho realizado, assim como apontadas perspectivas de desenvolvimento futuro.

[11] Concretamente no que respeita ao regime do uso do solo.

2. A CARTOGRAFIA TEMÁTICA E AS REPRESENTAÇÕES DA DISTRIBUIÇÃO POPULACIONAL

2.1 Cartografia: aspectos fundamentais

2.1.1 Carta e Cartografia: definições

Sendo a cartografia temática a disciplina de base desta dissertação, importa começar por fazer uma muito breve referência a alguns conceitos de partida[12].

Cartografia é a "ciência que trata da criação e manipulação de representações do espaço geográfico, visuais ou virtuais, para permitir a exploração, análise, compreensão e comunicação de informação acerca desse espaço". Carta e mapa podem ser considerados sinónimos e referem-se globalmente à "representação simbólica da realidade geográfica, mostrando aspectos e características seleccionados, concebida para ser utilizada sempre que as relações espaciais sejam de primordial importância".[13] No entanto, Gaspar (2008: 57) notou que, na terminologia portuguesa, a distinção entre estes dois termos não está ainda consolidada: enquanto mapa é um termo "aplicável à generalidade das representações cartográficas", carta tem uma conotação de orientação ou navegação, já que este termo é "especialmente usado no âmbito da cartografia topográfica e naútica".

A produção de mapas ou cartas, enquanto representações da superfície terrestre, implica a *transformação* geométrica dessa superfície (projecção cartográfica), a sua *redução* (escala), *selecção* e *simplificação* (generalização) e o recurso à *simbolização* dos objectos ou fenómenos da realidade a representar (Dias 2007: 28).

---

[12] Os aspectos aqui abordados podem ser vastamente explorados em manuais e bibliografia da especialidade, como por exemplo: Robinson, A. *et al.* (1995) – *Elements of Cartography*. 6ª ed. John Wiley & Sons; Slocum, T. *et al.* (2009) – Thematic *Chartography and geovisualization*. 3ª ed. Pearson Prentice Hall; Dias, M. H. (coord.) (1995) – *Os mapas em Portugal – da tradição aos novos rumos*. Edições Cosmos; Gaspar, J. A. (2005) – *Cartas e Projecções Cartográficas*. Lidel Edições Técnicas.

[13] Definições propostas pela Associação Cartográfica Internacional (2003), adaptadas por Dias (2007: 27).

2.1.2 Cartografia de base e cartografia temática

A cartografia temática é um dos três principais ramos da Cartografia, juntamente com a cartografia topográfica e a hidrográfica, estas últimas também designadas de base. Slocum (1999: 2) refere que a cartografia de base enfatiza a localização dos fenómenos espaciais, sendo utilizada para determinar localizações com exactidão, ao passo que a cartografia temática é utilizada para representar a distribuição espacial de uma ou mais variáveis estatísticas ou não. Gaspar (2007: 9) faz também a distinção entre cartografia de base e temática, referindo-se, relativamente à primeira, como aquela "cujo objectivo é a representação da superfície da Terra, das entidades que a ocupam, e de outra informação geográfica de carácter genérico com interesse para a grande generalidade dos utilizadores" e propósitos. Relativamente à cartografia temática, o mesmo autor salienta o objectivo em representar informação sobre temas específicos, razão pela qual existe um número quase ilimitado de mapas temáticos. Refere ainda o facto destes mapas se servirem geralmente de informação obtida em cartografia de base, à qual se sobrepõe, para o efeito da sua referenciação espacial. A cartografia temática é frequentemente usada para evidenciar distribuições ou padrões espaciais, mas também, no âmbito do ordenamento do território, para expressar políticas, acções ou intenções.

Outro aspecto que distingue as cartas temáticas das cartas de base está relacionado com as entidades que as produzem. A cartografia de base de grande escala é produzida ou certificada por organismos oficiais do Estado[14] ou reconhecidos por este, dado o seu interesse geral e sua importância estratégica. Na sua elaboração, estão envolvidos sobretudo os engenheiros geógrafos. A cartografia temática está ao alcance de quase todas as áreas do saber com incidência espacial/territorial, e cientistas ou técnicos que dominem e tenham acesso às técnicas e ferramentas cartográficas podem produzi-la e divulgá-la livremente.

[14] No caso português, o IGEOE e o IGP para as cartas topográficas (1:25.000 e 1:50.000, respectivamente) e o Instituto Hidrográfico para as hidrográficas.

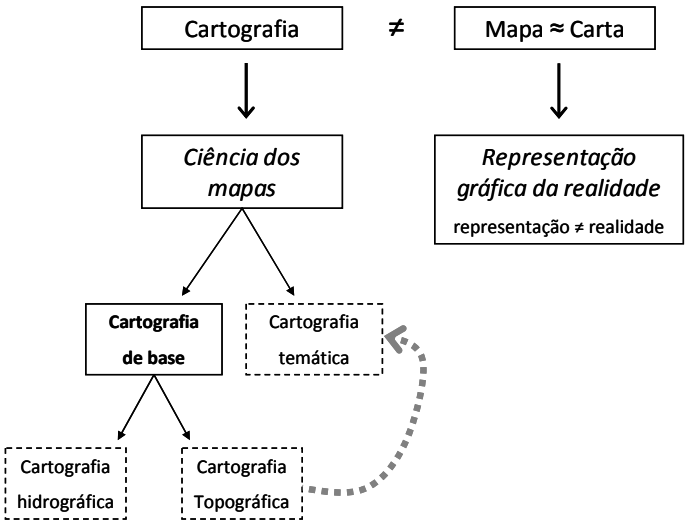


Figura 2. Conceitos de mapa e Cartografia. Adaptado de Dias (2007)[15].

Há inúmeras formas de classificar as cartas, podendo a classificação ser feita em função da escala, da temática, do suporte (analógico ou digital), do modelo de dados utilizado (vectorial ou matricial). Ainda de acordo com Gaspar (2007), a cartografia de base é classificada, em Portugal, segundo a escala, da seguinte forma[16]:

- Cartas geográficas: escala < 1/500.000 – representação dos traços gerais de vastas regiões do globo;
- Cartas corográficas: escala de 1/500.000 a 1/50.000 – representação adequada para países ou regiões;
- Cartas topográficas: escala > 1/50.000 – representação dos aspectos e entidades geográficas com tanto pormenor e precisão quanto a escala o permita;
- Planta topográfica: escala > 1/10.000 – representação de áreas suficientemente pequenas para que a curvatura da Terra seja desprezada e a escala se possa considerar constante.

Um exemplo de carta topográfica de grande interesse para inúmeras actividades humanas (científicas, económicas, militares, etc.) e, por isso, muito popularizada no nosso país, é a Carta Militar de Portugal à escala 1:25.000 do IGEOE (série M888), composta por informação tão fundamental como a altimetria, a rede hidrográfica, o edificado, as vias de comunicação, as linhas de alta tensão, a toponímia, entre outra.

[15] O esquema da figura 2 mostra os três ramos da cartografia com um limite tracejado, simbolizando a actual tendência para um relativo esbatimento de fronteiras fixas entre eles.

[16] Esta terminologia tem caído em desuso.

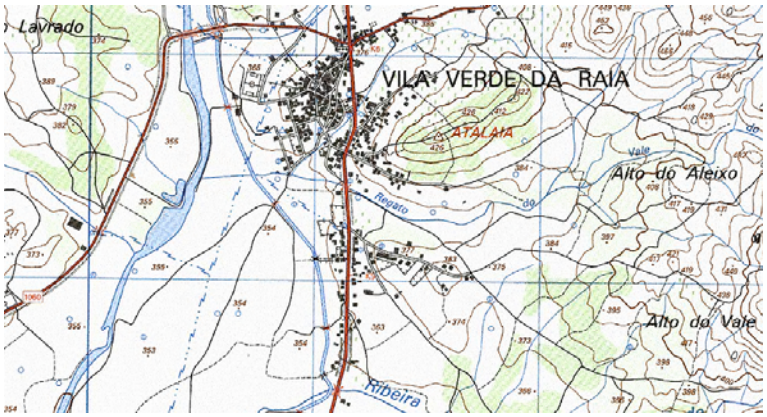


Figura 3. Extracto da Carta Militar de Portugal Série M888 de escala 1:25.000 – Folha 34. IGEOE, 1997.

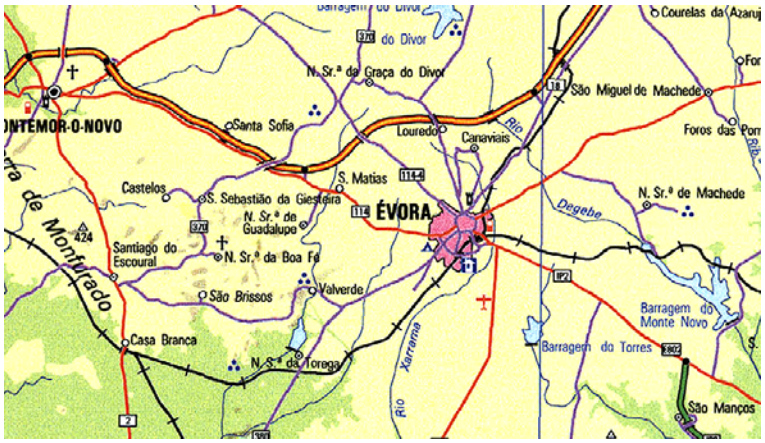


Figura 4. Extracto da Carta Militar Itinerária de Portugal Continental de escala 1:500.000. IGEOE, 1999.

Como já foi referido, a cartografia temática distingue-se da de base porque tem como objecto principal a representação, na maioria dos casos, de uma temática específica ou da distribuição espacial de uma variável. Em certos casos, os mapas temáticos podem também representar a distribuição de mais do que uma variável e até mesmo sintetizar informação de diferentes temas[17]. As cartas temáticas podem ser produzidas às mais variadas escalas e abordar uma imensa diversidade de temas, dos físicos aos humanos e socioeconómicos. As cartas geológicas, geomorfológicas, de ocupação do solo, assim como cartas climáticas ou meteorológicas (temperatura, precipitação, insolação, vento, etc.) são cartas de temas relacionados com a geografia física. Na geografia humana e nas ciências sociais são comuns as

[17] Cartas pluri-temáticas. Muito comuns como cartas de síntese em instrumentos de ordenamento do território.

cartas demográficas, socioeconómicas, de acessibilidade, entre muitíssimas outras. As cartas administrativas são, também, consideradas cartas temáticas[18].

Entre outras formas de classificação, os mapas temáticos podem ser classificados em função da natureza dos dados (mapas qualitativos e quantitativos), em função dos símbolos utilizados, "intimamente ligados à natureza dos dados" (mapas de símbolos pontuais, lineares ou em mancha) e em função das técnicas cartográficas utilizadas (Dias 2007: 92) (ver quadro 1).

[18] A CAOP é um exemplo de cartografia temática cuja produção é da responsabilidade de um organismo oficial do Estado (IGP), dada a importância do tema, uso generalizado e necessidade de uniformização.

Quadro 1. Tipos de mapas temáticos segundo as técnicas cartográficas mais convencionais. Elaboração e sistematização própria.

Classificação segundo a técnica cartográfica	Principais características	Exemplo de variável representada	Tipo de símbolo utilizado
Mapa coropleto	Tal como o próprio nome indica (do grego, *Choros* + *Plethos*), é um tipo de mapa em que unidades de área discretas têm associado um valor. Geralmente, as unidades espaciais são agrupadas num determinado número de classes (classificação) consoante os respectivos valores. A diferenciação gráfica entre classes é feita por meio de tramas ou da coloração das áreas em diferentes cores ou tons de uma cor. É ideal para expressar a distribuição de dados de natureza quantitativa, em particular valores relativos (ex.: a razão entre uma variável e a área, percentagens ou índices), e espacialmente descontínuos, quando associados, por exemplo, a limites administrativos.	Densidade populacional por freguesia.	Área ou mancha
Mapa de manchas	É semelhante ao mapa coropleto quanto à técnica de representação gráfica, mas distingue-se pelo facto das unidades de área representarem dados de natureza qualitativa, como por exemplo diferentes categorias de uma temática.	Mapa político; mapa de ocupação do solo.	Área ou mancha
Mapa de símbolos proporcionais	Símbolos de diferentes formas e cores variam o seu tamanho consoante o valor que representam. O símbolo mais comum é o círculo. O símbolo está geralmente associado a uma unidade de enumeração (unidade administrativa, parcela, quarteirão, etc.). É ideal para valores absolutos.	Número de escolas por distrito.	Símbolos pontuais
Mapa de diagramas	Consiste na implantação de diagramas no mapa, que revelam o comportamento de uma variável no local da sua implantação. Diagramas comuns são gráficos de barras, histogramas ou sectogramas.	Número de empregados por sector de actividade por concelho.	Símbolos pontuais em forma de diagrama
Mapa de isolinhas	Assume a continuidade da distribuição espacial do fenómeno representado. Cada linha liga pontos de igual valor no mapa. A construção destas linhas é deduzida a partir de valores associados a pontos recolhidos em campo, ou pontos que agregam valores relativos a áreas (ponto representativo de uma unidade de área poligonal, centróide).	Temperatura média anual em Portugal Continental	Área ou mancha / linhas
Mapa de pontos	Os dados absolutos de uma variável são representados por pontos, sendo que cada ponto assume um valor constante. Um ponto pode, assim, ser uma simples ocorrência ou uma quantidade de ocorrências (ex.: 1 ponto = 500 habitantes). São úteis para mostrar padrões de distribuição, concentração ou dispersão de uma variável num território.	Distribuição da população em Portugal Continental	Pontos
Mapa de pontos nominais	Os dados nominais são representados por símbolos figurativos, diferentes em forma, orientação ou cor, de forma identificar o objecto real. Por exemplo, um pequeno barco poderia representar um porto de recreio, ou um H maiúsculo um Hospital.	Localização das principais infra-estruturas de lazer e cultura do concelho A.	Símbolos pontuais
Mapa de fluxos	São usados para representar os fenómenos que ocorrem ao longo de linhas. Geralmente, a espessura da linha representa o valor do fluxo, ao passo que a cor pode ser utilizada para distinguir diferentes categorias de fluxo. A simbologia utilizada indica movimento, direcção e, se se utilizar setas, pode indicar sentido.	Número de imigrantes chegados a Portugal no ano X por país de origem.	Símbolos lineares

2.2 O caso particular da representação de distribuições populacionais

Mapas coropletos, de símbolos proporcionais ou de pontos têm sido usados para representar distribuições populacionais. Os mapas de símbolos proporcionais e de pontos são vocacionados para representar valores absolutos, enquanto os coropletos são vocacionados para representar densidades populacionais. Uma questão preliminar: É discutível que os mapas de densidade populacional possam ser considerados verdadeiros mapas de distribuição populacional. Já Dias (1991: 32) o constatava quando afirmou:

> *Representar as densidades não constitui uma alternativa equivalente* [aos mapas de pontos]*, visto que os mapas assentam numa certa base espacial* [administrativa] *e as manchas gráficas correspondentes, no geral de dimensão muito desigual, mascaram forçosamente a verdadeira distribuição espacial dos habitantes.*
>
> *Exprimindo um valor médio por unidade de superfície*[19]*, e na maior parte dos casos diluídos num certo intervalo de variação (ou classe), os mapas da densidade não se podem considerar verdadeiros mapas de distribuição da população, mesmo com recurso a uma base espacial de malha suficientemente fina que permita mostrar as cambiantes dessa distribuição.*

Não se referindo a ele directamente, M. H. Dias acabava de exemplificar uma das vertentes do MAUP, de que se falará mais à frente, e tomava inequivocamente partido pela opção técnica de cartografar a distribuição da população através de pontos (de valor uniforme) e de círculos proporcionais.

2.2.1 Representações portuguesas da distribuição populacional (até 1991): predomínio dos mapas de pontos

A publicação *O mapa da distribuição da população portuguesa em 1981*, de Maria Helena Dias (1991), é uma espécie de notícia explicativa do mapa com o mesmo nome. Esta publicação, no entanto, apresenta uma revisão aos mapas da distribuição da população portuguesa precedentes, resultando uma interessante resenha histórica sobre a temática. A brevíssima

[19] Média espacial.

referência de carácter mais histórico, que se seguirá, baseou-se, sobretudo, nos factos e considerações contidas nessa publicação[20].

Existe uma firme tradição histórica dos geógrafos em Portugal usarem a técnica dos mapas de pontos para mapear a distribuição da população. Amorim Girão, Hermann Lautensach, Fernandes Martins, Orlando Ribeiro e, mais recentemente, Maria Helena Dias, todos eles recorreram à técnica dos pontos para mapear distribuições populacionais. "A prática cartográfica consagrou os mapas de pontos na representação das populações, quaisquer que estas sejam" (Dias 1991: 34).

Durante os anos 20 a 50 do séc. XX, vulgarizaram-se as representações da distribuição da população portuguesa através de simbologia pontual com valores absolutos. Em 1932 H. Lautensach publicou o primeiro mapa deste tipo reportado a todo o país, representando a população residente nas freguesias em 1920, à escala 1:1.500.000. No entanto, Amorim Girão tinha sido o precursor da técnica no nosso país, através do mapa da população da Bacia do Vouga, à escala de 1:750.000, produzido no âmbito da sua dissertação de doutoramento (1922). Este mesmo geógrafo, na primeira edição do *Atlas de Portugal* (1941) publica a distribuição da população para o ano de 1930 à escala 1:1.500.000, com base nos censos desse ano. Em 1951, Orlando Ribeiro publica o mapa da distribuição da população portuguesa em 1940 à escala 1:500.000. Posteriormente, os dados fornecidos pelo censo de 1950 foram cartografados por Amorim Girão, na segunda edição do *Atlas de Portugal* (1958), para o conjunto do país e à mesma escala do seu primeiro mapa nacional (figura 6). Foram ainda publicados, no âmbito de estudos regionais, mapas da distribuição populacional da Serra de Montemuro (Amorim Girão 1940), da Bacia do Mondego (Fernandes Martins 1940), da Serra da Estrela (Orlando Ribeiro 1941), da ilha da Madeira (Orlando Ribeiro 1949), da ilha de São Miguel (Soeiro de Brito 1955) e da ilha de São Tomé (Francisco Tenreiro 1961).

Apesar da predominância da técnica dos pontos no mapeamento da variável populacional, mapas coropletos de densidade populacional para os anos de 1940 e 1950 foram elaborados e publicados por Amorim Girão (1948 e 1958, respectivamente) (figura 7), partindo da determinação grosseira dos limites dos concelhos, não obstante a inexistência, nessa altura, de uma carta administrativa do oficial país, que só décadas mais tarde veio a ser publicada no

[20] Para um maior desenvolvimento das questões a seguir abordadas, ver a publicação referida, que discute com bastante pormenor o desenvolvimento técnico e metodológico que se assistiu, no âmbito da produção de mapas de distribuição da população através da técnica dos pontos, na prática cartográfica portuguesa ao longo do século XX até 1991.

âmbito do *Atlas do Ambiente*. Curiosamente, um dos primeiros esforços de representar a distribuição do povoamento em Portugal através de um mapa coropleto ocorreu quase um século antes e ficou a dever-se a Bernardino Barros Gomes. A "Carta da povoação concelhia de Portugal" foi publicada juntamente com uma colecção de mapas intitulada *Cartas elementares de Portugal para uso das escolas* (1878), e representa, para o ano de 1876, o índice *número de hectares por habitante*, que, apesar da sua singularidade, não deixa de ser um indicador de densidade do povoamento por concelho (figura 5)[21].

[21] Pela riqueza textual, visão e clarividência, vale a pena citar Barros Gomes que, na introdução à publicação, já aludia à importância da carta administrativa do país: "Conhecer os concelhos, a natureza política destes pequenos grupos sociais, mais velhos alguns que a mesma monarquia, a sua actual defrontação, o seu relevo, o seu clima, a sua vegetação, a qualidade das suas terras, a densidade da sua povoação, a sua capacidade tributária, como origem de recursos sociais; numa palavra o que melhor contribui para os caracterizar como elementos vitais da nação – será sem dúvida possuir noções elementares de verdadeiro valor, coordenas por forma prática. Por isso, a primeira destas cartas elementares teve de ser uma carta concelhia, e representa este género de divisão tal como existia em 1870 e se conserva por enquanto com pequenas variantes, apesar de bastantes esforços tentados nestes últimos anos para a modificar em escala maior".

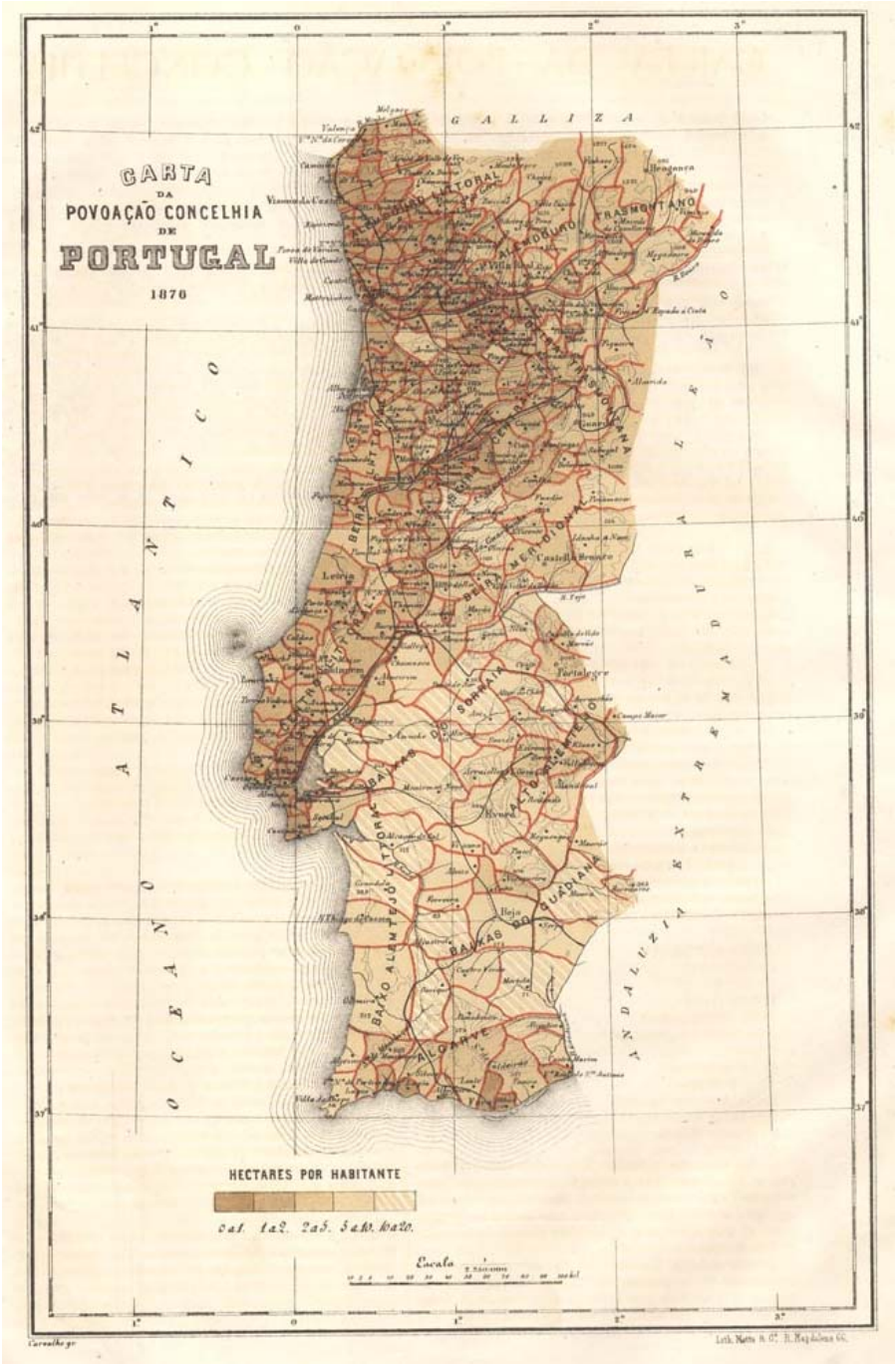


Figura 5. Carta da povoação concelhia de Portugal em 1876 (B. Barros Gomes (1878) – *Cartas elementares de Portugal para uso das escolas*. Lallement Fréres Typ. Lisboa). Extraído de Biblioteca Nacional Digital, http://purl.pt/760 [consulta: Fevereiro 2009].

Os mapas de pontos previamente referidos possuíam certamente muitas diferenças, quer de escala, quer de metodologia e de representação, mas tinham em comum a utilização de símbolos pontuais, de valor fixo (ex.: 1 ponto equivalente a 100 habitantes) ou de tamanho proporcional ao valor. Em alguns casos eram combinados os dois tipos de representação num mesmo mapa: pontos de valor fixo para lugares/freguesias/cidades de pequena ou média

dimensão populacional, e círculos de tamanho proporcional ao valor para localidades ou cidades de grande dimensão populacional. Nestes casos, o somatório do valor dos pontos/círculos permite reconstruir o volume populacional, parcial e total.

O mapa incluído na primeira edição do *Atlas de Portugal* (Amorim Girão 1941) distingue-se daquela tipologia mais comum, pois nele combinaram-se dez tamanhos de círculos sem relação de proporcionalidade com os dados representados e com uma variação da proporção preto/branco no interior dos mesmos, combinada com a opção de atribuir a cada símbolo uma classe de valores de amplitude variável. A opção por esta simbolização resultou talvez no mapa com a imagem final mais complexa e de difícil leitura (Dias 1991).

As principais dificuldades de elaboração destes mapas podem ser agrupadas em duas tipologias: problemas de simbolização e problemas de referenciação da informação.

No que respeita ao problema da simbolização, foi desde sempre relatada uma certa dificuldade em conciliar a escala dos mapas com o tamanho dos símbolos e seu respectivo valor. Escolhas adequadas devem ter em conta as situações mais extremas, desde as áreas mais densamente povoadas às menos densamente povoadas, de forma a ajustar as variáveis gráficas a uma leitura adequada e à obtenção de uma imagem globalmente eficaz na representação da distribuição. Assim, se por um lado se deve evitar a excessiva compactação e sobreposição de símbolos nas áreas densamente povoadas, por outro, deve igualmente acautelar-se a quase inexistência de símbolos em áreas parcamente povoadas: "Poucos pontos (correspondentes à atribuição de um valor demasiado elevado) diluem a repartição da população, enquanto se eles forem muito numerosos se fornece uma impressão de grande densidade de ocupação. Para que o mapa sugira a realidade o melhor possível, são necessárias várias tentativas em áreas bem escolhidas, sobretudo nas de população mais densa", podendo recorrer-se ao ábaco de Mackay "que estabelece a relação entre o tamanho e a densidade dos pontos". No entanto, "o valor unitário a atribuir ao ponto deve ser o menor possível para que sobressaiam as variações espaciais significativas" (Dias 1991: 36-37).

As duas principais fontes de informação para a elaboração destes mapas são os recenseamentos e a cartografia de base, que fornece a localização dos povoamentos e respectiva toponímia. Só desde 1864 existem, no nosso país, censos com regularidade temporal. Todavia, a informação ao lugar[22] só existe nos censos de 1911, 1940, 1960, e o censo de 1981 fornece informação apenas para os lugares com mais de 500 habitantes, "o que é

[22] Nível de desagregação inferior à freguesia.

manifestamente insuficiente para este tipo de representação" (Dias 1991: 32). Por outro lado, a inexistência, até finais dos anos 1970, de uma carta administrativa com os limites das freguesias, impõe que a referenciação das cifras populacionais seja feita na localização das sedes de freguesia, devendo recorrer-se à cartografia de base disponível. Mas nem sempre esta possuía o rigor e/ou a actualização desejáveis, pelo que a contemporaneidade entre a cartografia e os dados a representar era difícil de alcançar. Importa, portanto, referir sem ambiguidades que a opção pela técnica dos pontos – que predominou desde as décadas de 20 a 50 do século XX – tem muito que ver com a grande deficiência e lacuna de informação relativa aos limites administrativos. Com efeito, assim que se conhecem os limites aproximados das freguesias e sua respectiva área, pela divulgação (1979 e 1982) de cartas administrativas do país (ainda que não oficiais) surgidas no âmbito do *Atlas do Ambiente*, pela extinta Comissão Nacional do Ambiente, começam também a vulgarizar-se os mapas de densidade populacional:

> *Em suma, (…) após um período que poderemos situar entre os anos 20 e 40* [do séc. XX]*, os mapas de pontos da população portuguesa começaram a ganhar a sua expressão mais perfeita, sobretudo com as tentativas de Orlando Ribeiro que conduziram, já na década de 50, à publicação de um mapa de conjunto do País. Mas, neste período de apogeu, a técnica dos pontos deixa de ser utilizada, passando-se a representar as densidades da população, em mancha, e os maiores aglomerados urbanos, por círculos proporcionais ou figuras volumétricas* (Dias 1991: 25).

Apesar da mudança de rumo na prática cartográfica, Maria Helena Dias retoma a técnica dos pontos, elaborando e publicando, em 1991, o *Mapa da distribuição da população portuguesa em 1981*, adoptando igual escala (1:500.000) e seguindo princípios metodológicos idênticos aos utilizados por Orlando Ribeiro no seu mapa da população em 1940, tornando possível a comparação entre os dois momentos temporais.

Dias (1991) salienta, como principais vantagens destes mapas, a clareza e a expressividade da representação, a percepção dos traços gerais da distribuição e a sugestão das densidades relativas, a representação das principais povoações, assim como a facilidade de leitura, mesmo por pessoas com pouca preparação cartográfica. Em contrapartida, reconhece como principais limitações o facto de não poderem ser usados senão para apreciações qualitativas, bem como a morosidade e dificuldade de elaboração, sobretudo quando não era ainda comum, entre geógrafos portugueses, a utilização de meios informáticos e de cartografia automática para a sua execução.

Contudo, em países como os EUA, a "cartografia analítica", auxiliada por tecnologias informáticas, começava a dar os primeiros passos já nas décadas de 60 e 70 do séc. XX, com Waldo Tobler como um dos seus principais precursores.

> *Analytical cartography includes the topics of cartographic data models, digital cartographic data-collection methods and standards, coordinate transformations and map projections, geographic data interpolation, analytical generalization, and numerical map analysis and interpretation* (Slocum *et al.* 2009: 31).

O caso da representação da distribuição da população por quadrícula quilométrica

No período em análise é ainda conhecida uma experiência cartográfica muito distinta das acima referidas: a produção de mapas da população residente por quadrícula quilométrica regular (1 x 1 Km) para Portugal continental. Esta abordagem foi feita, pela primeira vez, para representar a população residente em 1970, com base no censo do mesmo ano, constituindo, assim, a primeira aplicação de meios informáticos e dos primórdios tecnológicos dos SIG (cartografia automática[23]) ao mapeamento da distribuição populacional. O produto, concebido em cooperação entre o INE e o CNIG (Machado 1998), foi impresso em forma de mapa à escala 1:500.000 (Grancho 2003). Os trabalhos conduzidos na década de 1970 foram continuados, tendo sido criada uma base geográfica com a georreferenciação a uma quadrícula quilométrica de 57 variáveis referentes ao censo de 1981 e de 80 para o censo de 1991, compilando informação socioeconómica sobre indivíduos, alojamentos e edifícios (Machado 1998).

A metodologia consistia em associar a cada lugar[24] dos censos um ponto no espaço, de coordenadas x,y, referente ao canto inferior esquerdo da respectiva quadrícula, e estabelecendo uma ligação entre a base gráfica e a base alfanumérica, permitindo que cada atributo do lugar fosse associado a uma quadrícula. "A inexistência de uma delimitação geográfica digital das zonas censitárias determinou que a informação alfanumérica do INE (que contém 4 identificadores geográficos: Distrito, Concelho, Freguesia e Lugar) fosse georreferenciada a 'um ponto representativo'" (Néry *et al.* 2007). Foi ainda efectuado um trabalho de identificação e delimitação de zonas com povoamento disperso ou nas quais os aglomerados populacionais não tinham dimensão suficiente para justificar a delimitação de um lugar (Néry *et al.* 2007), o que, segundo Machado (1998), exigiu um trabalho de campo, levado

[23] Que permitia já a associação automática entre bases gráficas e bases alfanuméricas.

[24] A unidade geográfica utilizada como base a todo o trabalho.

a cabo de norte a sul do país, que permitisse a actualização das listas de lugares existentes, identificando novos lugares e topónimos. Outra dificuldade esteve relacionada com o próprio conceito de lugar do INE. Este abrangia (e ainda abrange na actualidade) desde pequenos povoados a grandes cidades, tornando pouco correcta a referenciação de um lugar de grande dimensão (ex.: cidade do Porto) a uma só quadrícula quilométrica da base gráfica, o que terá exigido operações de correcção[25].

Os mapas que resultam desta metodologia baseada em SIG são muito distintos dos mapas de pontos. O mapa da distribuição da população residente em 1981 por quadrícula de 1 Km^2, a que se teve acesso, tem como unidade geográfica de base a referida célula, sendo utilizada uma gradação colorida para representar uma classificação dos dados: a cada quadrícula corresponde um intervalo de população residente, ao qual se associa uma determinada coloração. A sua classificação, no conjunto de técnicas convencionais da Cartografia temática (ver quadro 1), é um pouco ambígua, tratando-se, talvez, de um tipo de mapa situado entre o coropleto e o de pontos, mas mais próximo deste. A unidade geográfica de base é um polígono e a representação faz-se em mancha (por coloração da quadrícula). No entanto, a sua representação no espaço não é contínua, referindo-se, antes, a uma localização/ponto no espaço (representativo do lugar), ao qual é atribuído um valor populacional absoluto (ver exemplo na figura 8).

[25] Lamentavelmente, a forma como este problema foi ultrapassado tecnicamente não é abordado na bibliografia consultada.

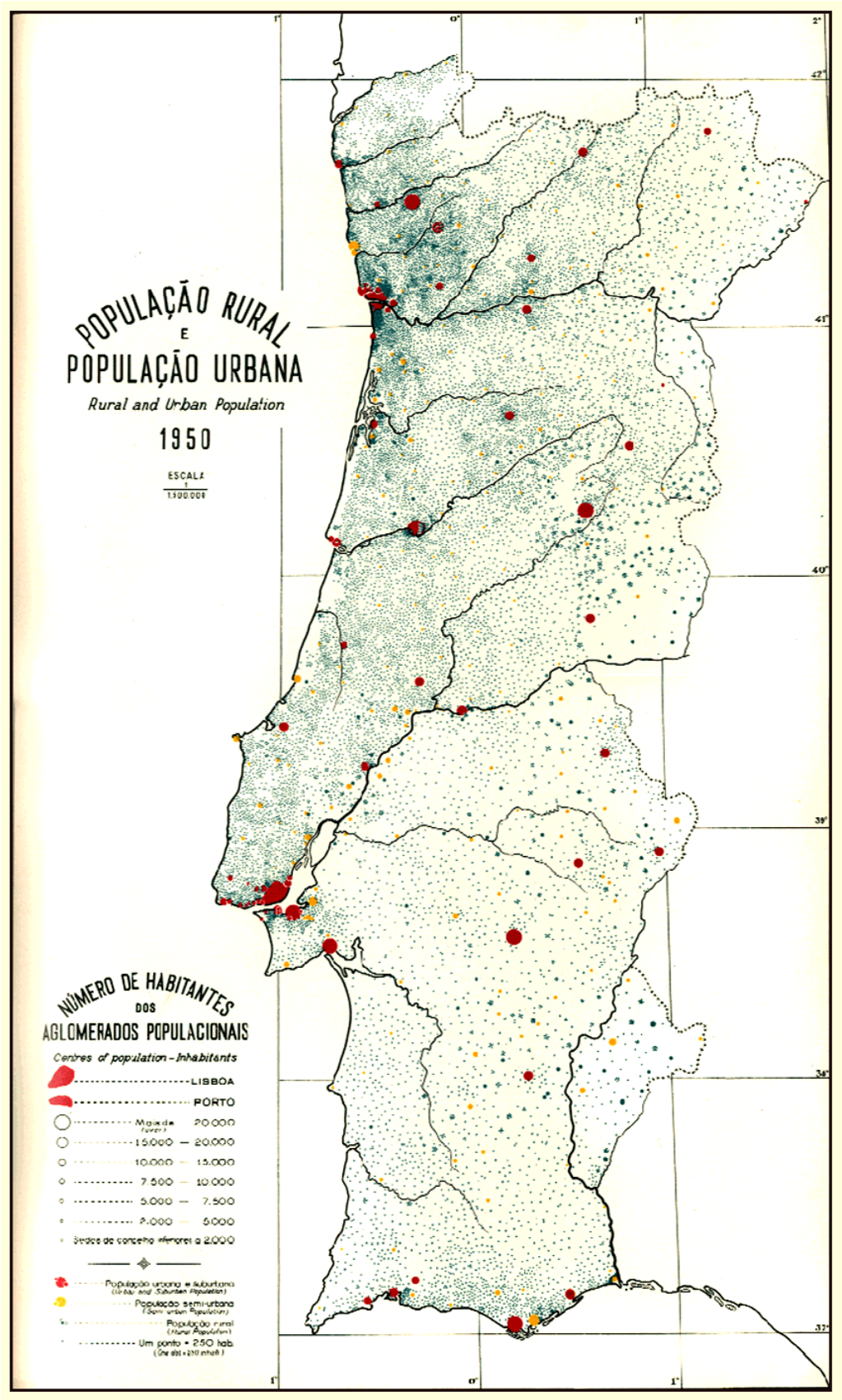


Figura 6. Distribuição da população em 1950 (Amorim Girão (1958) – *Atlas de Portugal*. 2ª ed. Instituto de Estudos Geográficos). Extraído de GeoZone, http://www.ci.uc.pt/ihti/proj/geozone/atlas1.htm [consulta: Outubro 2008].

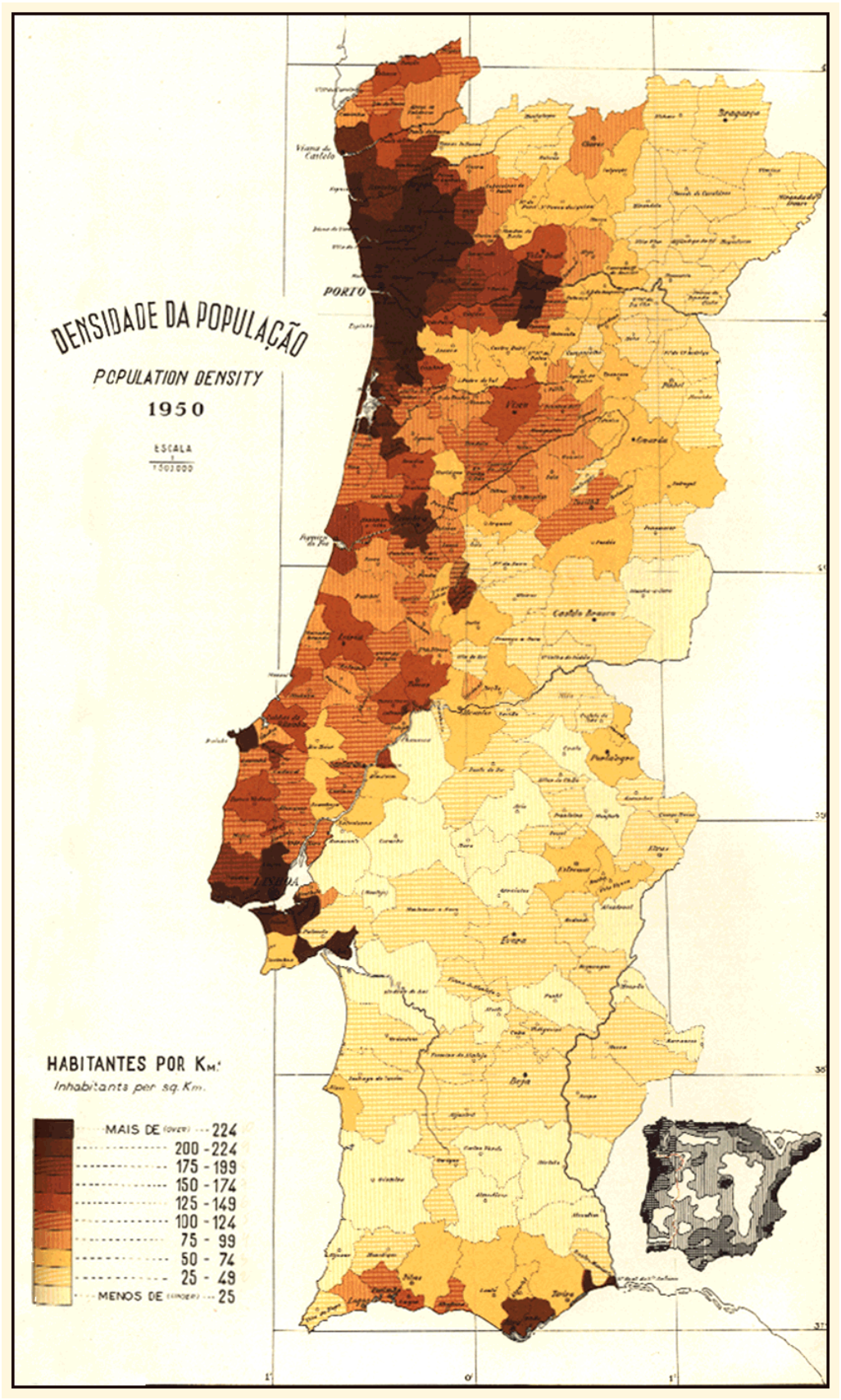


Figura 7. Densidade populacional em 1950 (Amorim Girão (1958) – *Atlas de Portugal*. 2ª ed. Instituto de Estudos Geográficos). Extraído de GeoZone, http://www.ci.uc.pt/ihti/proj/geozone/atlas1.htm [consulta: Outubro 2008].

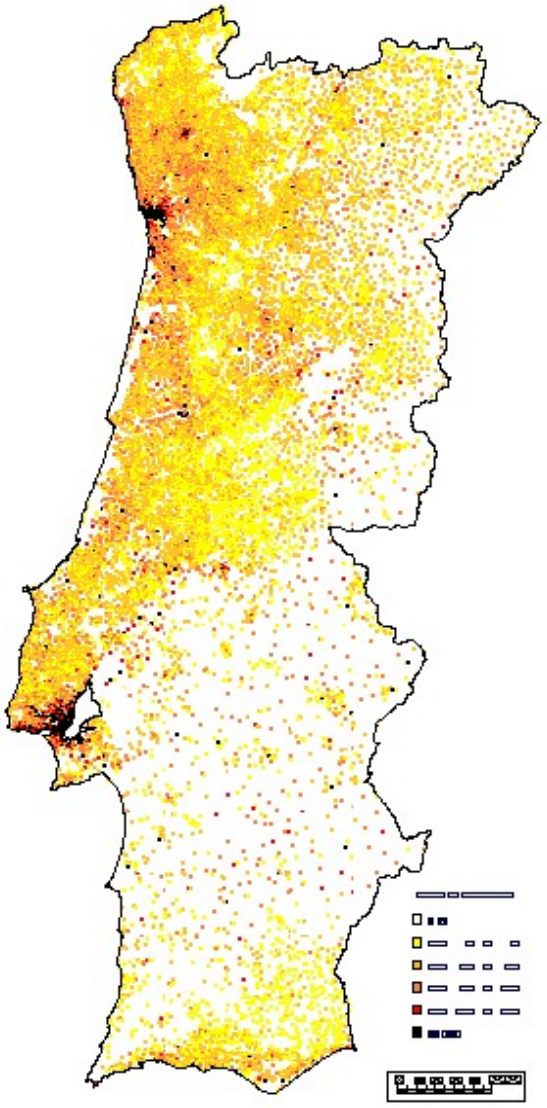


Figura 8. Número de habitantes em 1991 por quadrícula quilométrica. Extraído de Machado (1998).

2.2.2 Representações recentes da distribuição populacional (após 1991): predomínio dos mapas coropletos

Não obstante o grande desenvolvimento e difusão das TIG, as técnicas cartográficas de representação da distribuição populacional não sofreram desenvolvimentos relevantes quando comparadas com o período anterior. Houve, isso sim, uma maior automatização dos processos de elaboração de cartografia, extremamente facilitados, quer pelas ferramentas disponíveis nos pacotes de *software* de cartografia automática e de SIG, quer pela crescente produção e disponibilização de bases de informação geográfica e alfanumérica digitais. Caiu

em relativo desuso a produção de mapas de pontos de valores absolutos, para passar a ser mais comum a produção de mapas coropletos representativos da densidade populacional.

Com a crescente digitalização de bases geográficas e a disponibilização de cartas administrativas de Portugal – sucessivamente melhoradas –, passaram a ser mais comuns os mapas de densidade populacional usando como unidade de base geográfica a freguesia. Passou a ser frequente encontrar mapas temáticos do tipo coropleto representando todo o tipo de variáveis relacionadas com a população, habitação, emprego e actividade económica, demografia, afinal, toda uma miríade de variáveis socioeconómicas.

A maioria das variáveis socioeconómicas é observada ou reportada sob a forma de integrais ou médias espaciais sobre uma dada extensão finita no espaço, isto é, sobre unidades espaciais poligonais constituintes de uma tesselação[26] do espaço (Néry *et al.* 2007), o que configura um dos princípios metodológicos dos mapas coropletos. Estes mapas são utilizados para representar variáveis agregadas a áreas, como concelhos, freguesias ou outro tipo de circunscrição administrativa, ou também limites fisiográficos (ex.: bacias hidrográficas). Os mapas coropletos são adequados para ilustrar a distribuição de dados relativos, tais como densidades em função da área (ex.: número de habitantes por km^2), percentagens (taxa de analfabetismo) ou índices (número de polícias por mil habitantes). No entanto, como já se disse e justificou anteriormente, os mapas de densidade populacional não podem ser considerados verdadeiros mapas da distribuição populacional.

Os mapas coropletos são criados através da coloração de unidades de área (as unidades de agregação dos dados) consoante o valor a elas associado, representando assim a respectiva magnitude ou intensidade do fenómeno. Este tipo de representação apresenta algumas vantagens evidentes e imediatas que, no seu conjunto, explicam a popularidade e a rapidez da sua difusão:

- A facilidade da leitura para o consumidor, quer pelas gradações de cores/tons utilizadas (que permitem percepcionar facilmente o comportamento da variável no espaço), quer pela agregação dos dados a unidades político-administrativas amplamente conhecidas e com importante relevância para a decisão;
- A sua adequação a um vastíssimo conjunto de variáveis e indicadores, das mais diversas temáticas humanas (demográficas, socioeconómicas), mas também físicas;

[26] Partição de um espaço num conjunto de subespaços contíguos tendo a mesma dimensão do espaço particionado. Definição extraída do Glossário de Termos Geográficos disponível em http://snig.igeo.pt/Portal/docs/glossario_ v07w/ GloTerGeo.htm [consulta: Julho 2008]

- A facilidade de elaboração. Mesmo quando não se dispunha de meios de cartografia automática, quando comparados com os mapas de símbolos proporcionais, de fluxos, pontos ou isolinhas, os mapas coropletos eram tecnicamente simples de construir. Com a introdução e ampla difusão de *software* de cartografia automática e SIG, a produção de alguns tipos de cartografia temática, em particular os mapas coropletos, tem sido cada vez mais numerosa. Com efeito, num SGIG, dispondo apenas de uma base gráfica/geográfica correspondente aos limites das áreas de agregação e de dados alfanuméricos, o *software*, oferecendo um vasto conjunto de preferências, classifica e agrupa os dados, associando a cada classe uma simbologia (cor ou trama). Dispondo das bases previamente preparadas, em escassos minutos é possível produzir um simples mapa coropleto recorrendo a *software* apropriado.

Dir-se-ia que, em quase todos os instrumentos de OT, em particular nos capítulos dedicados ao diagnóstico, é possível encontrar mapas de densidades populacionais (ver exemplo da figura 9).

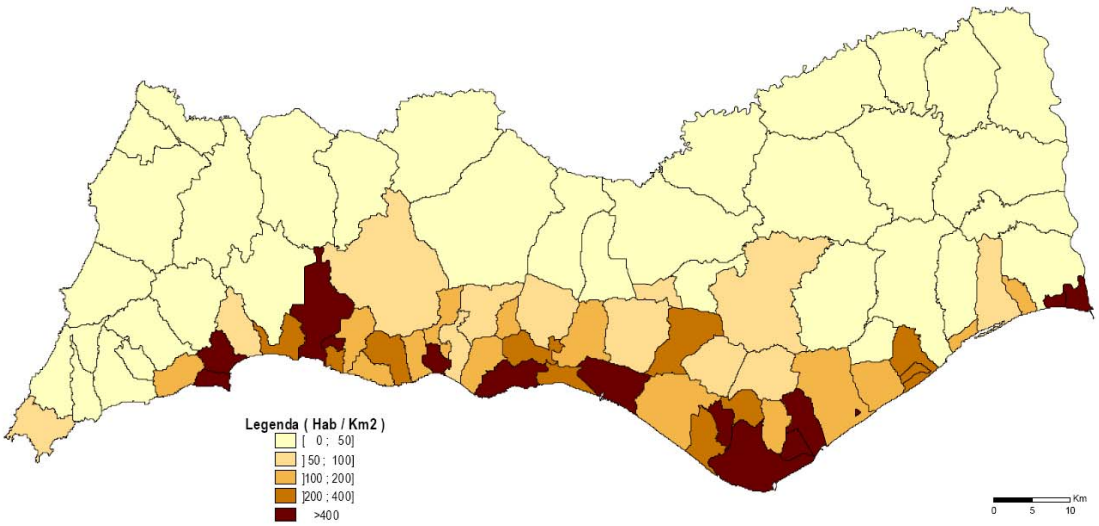


Figura 9. Densidade populacional no Algarve, por freguesia, 2001. Extraído de CCDR-Algarve (2002).

Mesmo em edições tão recentes como o *Atlas de Portugal*, do Instituto Geográfico Português (2005), foram publicados mapas que quase só se diferenciam dos de meados do século XX por terem sido elaborados com recurso aos modernos SGIG, o que evidencia uma certa estagnação no desenvolvimento de novas formas de representação das distribuições e densidades populacionais (figuras 10 e 11).

No entanto, não se pode desprezar nem o aumento da qualidade gráfica dos novos produtos cartográficos, nem o maior nível de desagregação das unidades espaciais, introduzido sobretudo com o Censo de 2001, com informação gráfica e alfanumérica disponível a dois

níveis de desagregação inferiores à freguesia, a secção e a subsecção (unidade de colecta de dados mais elementar). Em 2001, existiam em Portugal continental 4037 freguesias, 15.536 secções e 170.145 subsecções, com áreas médias respectivas de 22 km^2, 5,73 km^2 e 0,52 km^2.

Evidentemente, a dimensão média destas unidades sofre mudanças significativas de região para região. Por exemplo, no Alentejo as unidades de área são em média bastante superiores às de qualquer outra região no país (subsecções com área média de quase 2 km^2). Igualmente se verifica uma diferenciação urbano/rural, pelo que as secções e subsecções de áreas rurais, em geral parcamente povoadas, são de maior dimensão do que as unidades em espaço intra-urbano, densamente povoado, geralmente correspondentes a quarteirões. Esta diferenciação deve-se ao facto das unidades terem sido concebidas sobretudo para efeitos de planificação da colecta de dados no terreno.

Estes novos níveis de tesselação permitem, no que respeita aos mapas coropletos, uma representação mais detalhada e próxima da realidade. Contudo, a grande heterogeneidade areal continua a impor problemas à sua representação, como adiante se verá.

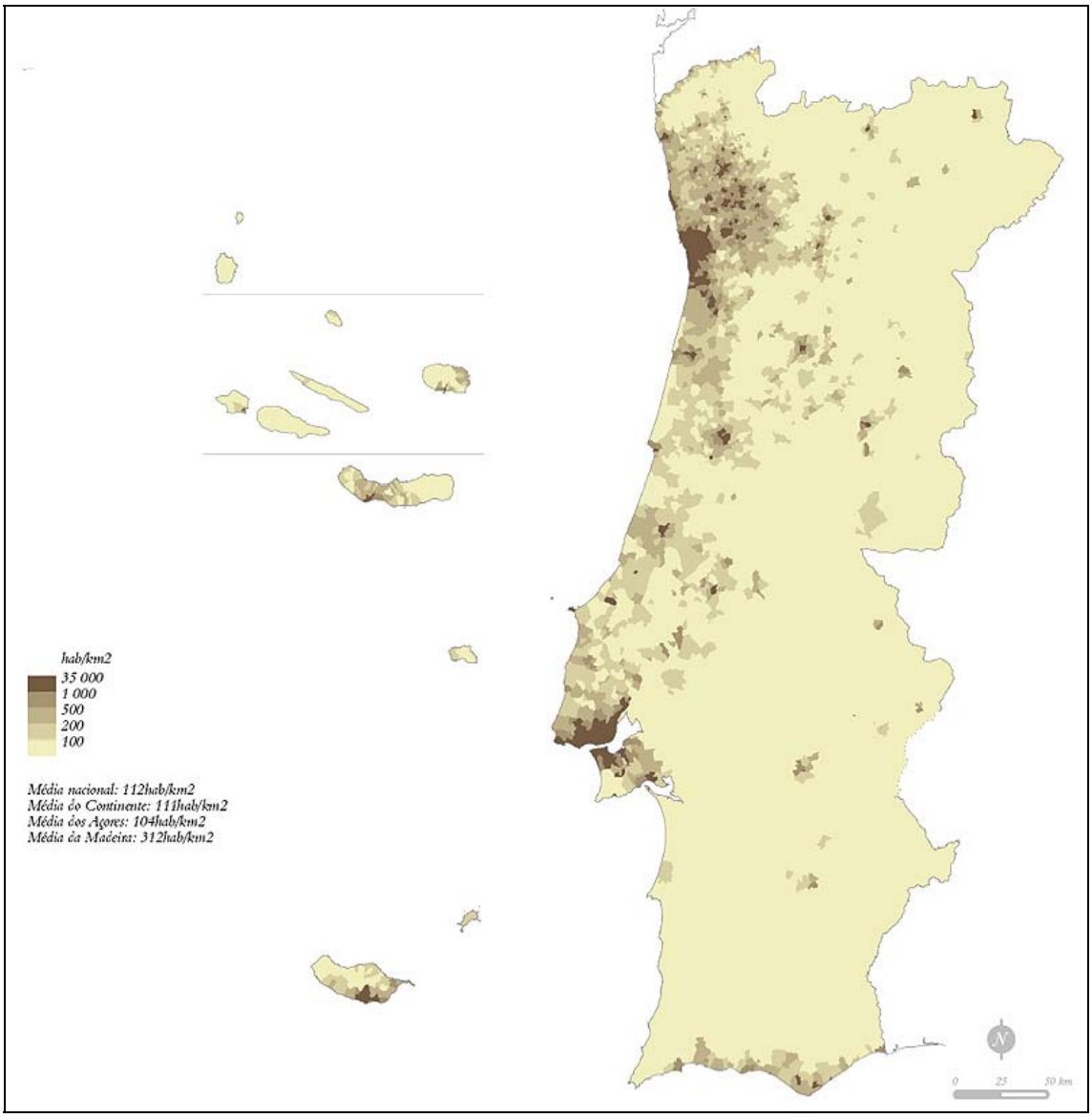


Figura 10. Densidade populacional em Portugal, por freguesia, 2001. Extraído de IGP (2005).

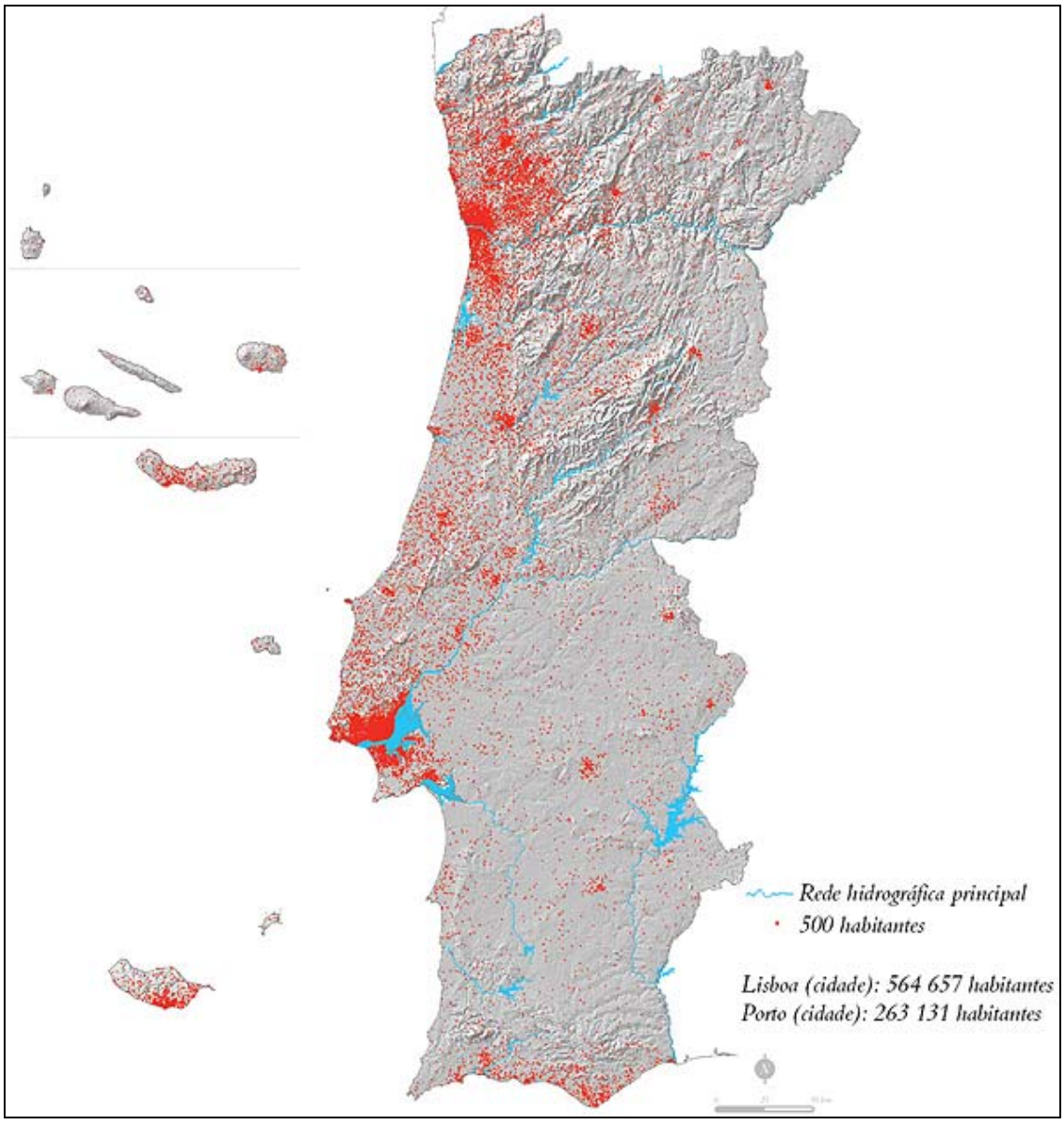


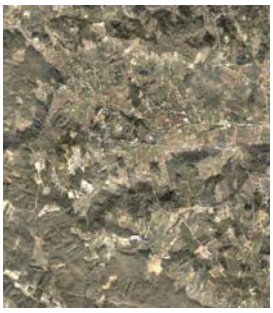
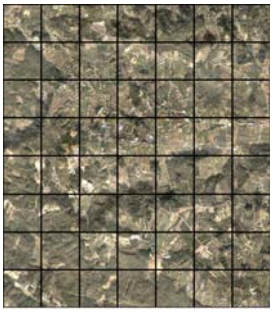
Figura 11. Distribuição da população em Portugal, 2001. Extraído de IGP (2005).

2.3 Problemas e limitações do uso de zonamentos normativos como base gráfica para a representação de indicadores socioeconómicos

Vidal, Gallego e Kayadjanian (2001) distinguem três diferentes tipos de zonamentos destinados à colecta e armazenamento, produção de análises e apresentação de informação: zonamento analítico, regular e normativo.

Os zonamentos analíticos podem ser considerados naturais e os zonamentos regulares e normativos artificiais. O zonamento é natural se se admitir que cada unidade é homogénea quanto à distribuição da variável em causa. Num zonamento artificial, a partição do espaço geográfico é feita de forma independente à distribuição da variável em causa (Néry *et al.* 2007).

Quadro 2. Principais tipos de zonamento em Cartografia. Adaptado de Vidal, Gallego e Kayadjanian (2001) e Néry *et al.* (2007).

		Tipo de zonamento		
		Analítico	**Artificial regular**	**Artificial normativo**
Exemplo	Realidade	Ocupação do solo	Quadriculas de 500 metros	Limite de freguesias
				
Diversidade da variável (dentro dos polígonos)		Baixa	Intermédia	Elevada
Diversidade do suporte (tamanho dos polígonos)		Elevada	Nenhuma	Intermédia
Relevância para a variável		Elevada	Intermédia	Baixa
Relevância para a decisão		Intermédia	Intermédia	Elevada
Pontos fortes		Identificação de áreas de homogeneidade da variável.	Homogeneidade do tamanho da unidade geográfica de base; amostragem sistemática; comparabilidade entre unidades.	Correspondência directa com as unidades de colecta de informação estatística; elevada relevância para a decisão.

Ainda de acordo com Vidal, Gallego e Kayadjanian (2001: 12), as regiões analíticas são definidas de acordo com o tema em análise. Exemplos de zonamentos analíticos podem ser bacias hidrográficas, ocupação/usos do solo, unidades de paisagem ou mesmo áreas urbanas consolidadas. Estas unidades podem ter vantagens do ponto de vista da análise funcional, e a sua delimitação deve ser feita, tanto quanto possível, sob critérios padrão, o que permite uma maior comparabilidade. A principal característica do zonamento artificial regular é a uniformidade e igualdade na dimensão das unidades, geralmente construídas de forma aleatória, mas com uma resolução (dimensão da quadrícula ou célula) adaptada aos fins e

aplicações em vista. Este zonamento é utilizado como passo intermédio para posteriores análises ou cruzamentos, sendo particularmente útil para operações matriciais em ambiente SIG. É também um zonamento que, dado o seu tamanho homogéneo, permite aumentar o grau de comparabilidade da variável entre unidades. Por último, o zonamento artificial normativo é determinado, em última instância, pelas entidades políticas, e os seus limites resultam da necessidade de harmonizar competências atribuídas, dimensão populacional e territorial com vista ao eficaz uso dessas competências. Outrossim, estas unidades podem expressar e cimentar um longo processo histórico evolutivo, a vontade das populações e mesmo uma certa identidade cultural e/ou fisiográfica.

Os zonamentos normativos são frequentemente utilizados para a apresentação de informação. Os casos mais comuns são as representações temáticas de dados censitários associados a uma base gráfica de divisões administrativas e censitárias, suportada por um modelo de dados digital vectorial. Em Portugal, o INE é o organismo responsável pela colecta e publicação de dados censitários, entre muitas outras estatísticas temáticas periódicas. Este organismo utiliza as divisões administrativas (concelhos e freguesias) e censitárias (secções e subsecções) como unidades de recolha e armazenamento da informação[27]. Por sua vez, estas divisões constituem frequentemente as unidades de análise e apresentação da informação para a grande generalidade dos produtores de cartografia. Este tipo de representações tem importantes vantagens, das quais se destacam:

- Fácil relação entre bases gráficas e alfanuméricas, geralmente estabelecidas por uma codificação comum a ambas;
- Normalização da representação em função de divisões amplamente conhecidas e de grande relevância para a decisão;
- A possibilidade de agregar facilmente um vasto conjunto de variáveis socioeconómicas a um mesmo zonamento conhecido, muitas vezes de grande conveniência para análises multivariadas.

No entanto, a produção e utilização de representações baseadas em unidades espaciais discretas do tipo normativo (administrativo ou censitário) levanta diversos problemas:

[27] Verifica-se a compatibilidade entre os zonamentos administrativos e censitários. Segundo Néry *et al*. (2007), "dois zonamentos S e T dizem-se compatíveis se for possível estabelecer uma relação de 1 para n entre as respectivas unidades, isto é, se as unidades de T resultam da agregação espacial de n unidades de S. Os zonamentos dizem-se incompatíveis caso não se verifique a relação anterior, podendo a incompatibilidade estar restrita a parte do domínio espacial". O zonamento censitário é uma desagregação do zonamento administrativo.

- As fronteiras administrativas têm origens históricas, políticas e administrativas e podem não reflectir uma homogeneidade interna de variáveis;
- As unidades censitárias são definidas por motivos de conveniência de colecta de informação, não estando directamente relacionadas com a distribuição espacial das variáveis (criando polígonos de grandes dimensões para áreas com menos população e de menores dimensões para áreas com mais população);
- Assume-se a homogeneidade interna da variável – média espacial – isto é, a assunção de que a variável se distribui uniformemente dentro da unidade espacial;
- A média espacial que é criada no interior das unidades espaciais discretas generaliza os valores internos altos e baixos, mascarando a real distribuição do fenómeno;
- As fronteiras alteram com o passar do tempo, dificultando a comparação temporal de variáveis;
- Dados provenientes de diferentes fontes podem vir referenciados a zonamentos espaciais incompatíveis;
- Cruzamento de informação proveniente de diferentes zonamentos não é directo;
- Não permite a diferenciação de entidades fisiográficas, tais como superfícies de água, reservas naturais, praias e outras áreas não povoadas onde geralmente certos fenómenos socioeconómicos não ocorrem. Com efeito, os mapas coropletos de dados demográficos e socioeconómicos por unidades administrativas, amplamente vulgarizados, causam a impressão de que os indicadores se distribuem homogeneamente por cada unidade de área, mesmo quando porções significativas dessas unidades são totalmente desabitadas;
- A construção de indicadores normalizados (ex.: densidade populacional) com base na área das unidades é demasiado dependente da sua dimensão, levando a criar falsas percepções da realidade devido à grande heterogeneidade areal[28];
- Existência de efeitos do MAUP – Problema das Unidades de Área Modificáveis (Openshaw 1984).

2.3.1 Problema das Unidades de Área Modificáveis (MAUP)

O MAUP, originalmente em inglês *Modifiable Areal Unit Problem*, pode ser traduzido como "Problema das Unidades de Área Modificáveis" e foi formalizado por S. Openshaw em 1984. Os efeitos do MAUP são inerentes aos dados colectados, armazenados ou representados em unidades de área poligonais, designadamente, as do tipo de zonamento artificial normativo,

[28] Sobre este tópico, ver a experiência levada a cabo por Gallego, F. J. (s. d.) – *Mapping rural/urban areas from population density grids*. Disponível em http://www.ec-gis.org/docs/F11116/RURAL%20URBAN%20%20POP DENS.PDF

onde não se cumpre a homogeneidade da variável no interior das unidades. O MAUP considera a existência de problemas de transformação dos dados originais quando as unidades de área são agregadas ou agrupadas em diferentes combinações, ou seja, a modificação das fronteiras ou a agregação de unidades afecta a informação resultante (Mennis 2003). Martin (1989: 90) descreve o MAUP de uma forma clara e sintética:

> *A number of problems are acknowledged to exist with this type of mapping* [mapeamento coropleto]*, which relate to the essentially unknown relationship between the data and the highly irregular areal units with which they are associated. This uncertainty is due to the aggregation of individual data to 'imposed' areal units (Unwin, 1981), whose boundaries are not data-derived, but designed for ease of enumeration. As a consequence the data values for each zone may be as much a function of the zone boundary locations as of the underlying distribution. This has become known as the modifiable area unit problem (Openshaw and Taylor, 1981; Openshaw, 1984; Forbes, 1984). By contrast, many area data relating to the physical environment, such as land parcels, soil types etc. may be mapped using their 'natural' boundaries, and there is a direct correspondence between the zones represented in the data and those existing in the 'real' world.*

Em síntese, a agregação de dados individuais a unidades de área impostas, geralmente de dimensão muito variável e não relacionadas com a sua distribuição, resulta numa média espacial para cada unidade, que é tanto função da sua geometria e dimensão como da distribuição da variável – o que é de todo inconveniente, se o objectivo for evidenciar a real distribuição de um fenómeno no espaço.

O MAUP pode ser decomposto em dois sub-problemas relacionados: o efeito escala (ou efeito agregação) e o efeito zonal (ou efeito agrupamento) (figura 12). O efeito escala consiste na obtenção de resultados diferentes quando um conjunto de dados original é agrupado em áreas maiores. A agregação de unidades aumenta a homogeneidade espacial dos valores. O efeito zonal consiste na obtenção de resultados diferentes pela formação de unidades de área alternativas.

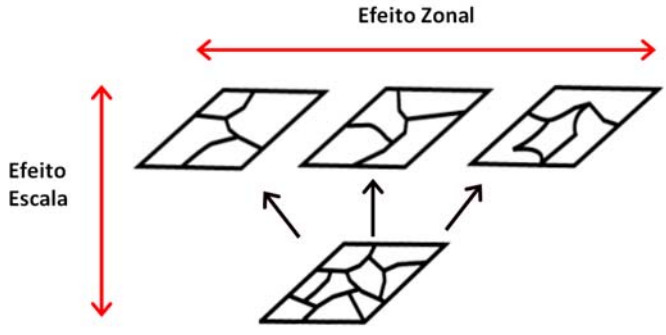


Figura 12. Efeito escala e efeito zonal do MAUP. Adaptado de Crawford e Young (2004).

Rase (2001) preocupou-se com as implicações do MAUP no âmbito dos dados do EuroStat, agregados ao sistema europeu NUTS (Nomenclatura de Unidades Territoriais para fins Estatísticos). Entre outros factos e elementos que merecem ser analisados, o autor forneceu um exemplo elucidativo do efeito escala do MAUP (ver figura 13), decorrente da grande heterogeneidade na dimensão das unidades (no exemplo, NUTS5).

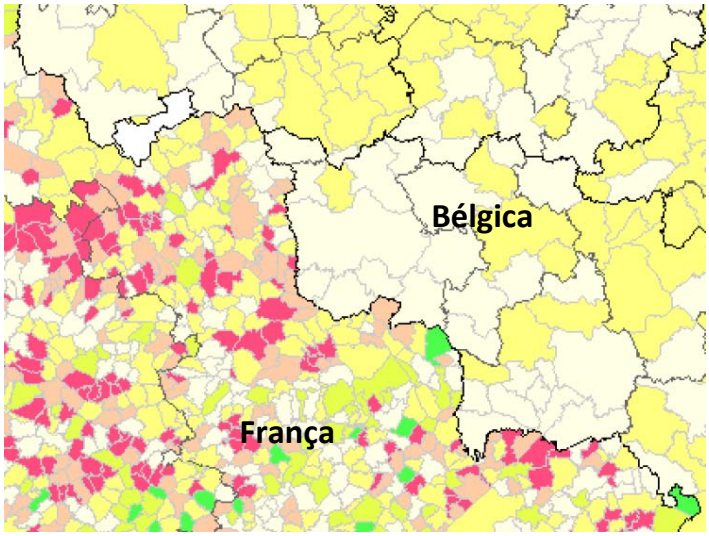


Figura 13. Variação da população por NUT5 entre os censos de 1981 e 1991 na fronteira franco-belga. Extraído de Rase (2001: 29)

A fronteira franco-belga é nitidamente marcada por uma diferença no valor dos polígonos, não porque o fenómeno representado seja realmente distinto nos dois lados da fronteira, mas simplesmente devido à agregação administrativa levada a cabo na Bélgica na década de 1970. A maior dimensão das áreas administrativas belgas mascara e suaviza o fenómeno representado, ao criar médias espaciais mais próximas entre si. Inversamente, a menor dimensão da divisão francesa amplifica o fenómeno, criando médias espaciais mais distantes entre unidades (Rase 2001: 29).

2.3.2 O Problema de Alteração de Suporte Espacial (COSP)

O Problema de Alteração de Suporte Espacial – originalmente em inglês, *Change of Support Problem* – está relacionado com transferência de atributos associados a um zonamento (de origem) para outro zonamento (de destino). Esta transferência de informação de um zonamento para outro pode ser necessária para diferentes aplicações e objectivos. Vejamos o seguinte problema: Numa dada região, a informação socioeconómica está armazenada em limites de freguesia. Para um determinado estudo é necessário quantificar e representar um

certo conjunto de dados socioeconómicos pelas bacias hidrográficas existentes nessa região. Este é um problema COSP comum, em que há a necessidade de transferir atributos associados à divisão administrativa para outro tipo de zonamento não compatível com aquele.

A alteração de suporte espacial pode surgir em diferentes contextos. Por um lado, a necessidade de integrar informação armazenada em geometrias variadas. Por outro, a necessidade de anular os efeitos do MAUP, que tem levado ao desenvolvimento de metodologias que permitem transformar a informação vectorial, agregada a zonamentos normativos, em modelos matriciais contínuos.

Uma classificação simplista, baseada apenas na geometria do suporte de origem, classificaria os métodos COSP em interpolação zonal e focal (figura 14). A interpolação zonal (ou *areal interpolation* em inglês) reúne os métodos que transferem informação de polígonos para outros suportes de destino, e a interpolação focal reúne os métodos que transferem informação agregada a pontos para outros suportes de destino.

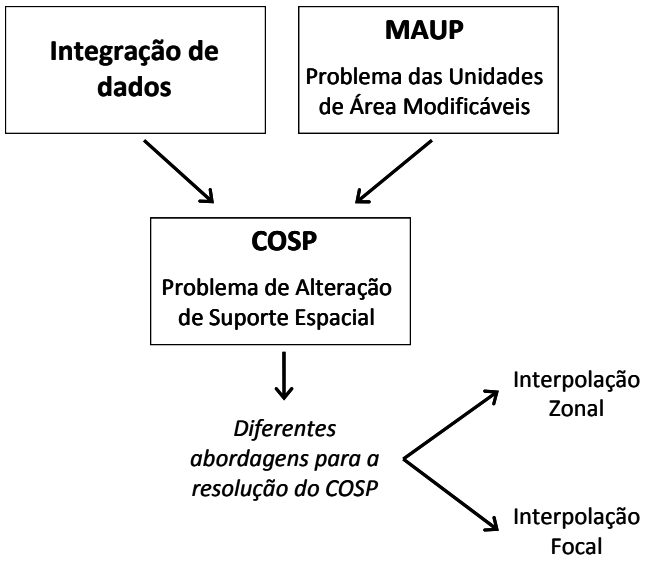


Figura 14. Problema de Alteração do Suporte Espacial e seu enquadramento.

3. MÉTODOS DE MODELAÇÃO CARTOGRÁFICA APLICADOS AO MAPEAMENTO DE DISTRIBUIÇÕES POPULACIONAIS

3.1 Interpolação zonal: revisão de métodos

3.1.1 A interpolação zonal e o mapeamento de distribuições populacionais. Enquadramento preliminar

Já foi referido que os métodos de cartografia temática convencional, por usarem frequentemente como suporte espacial um zonamento normativo, estão sujeitos a um largo espectro de limitações. Viu-se ainda que os mapas de densidade populacional não podem ser considerados verdadeiros mapas de distribuição da população. Isto, porque a ocupação humana do território se faz independentemente dos limites administrativos e censitários e a realidade geográfica não pode ser cartografada com rigor se forem usados limites artificiais pouco correlacionados com a distribuição dos residentes.

Um bom produto cartográfico que evidencie uma distribuição realista da população é, sem dúvida, importante do ponto de vista da visualização, da percepção geral do fenómeno e do seu enquadramento geográfico. No entanto, um produto cartográfico que tenha o seu alcance limitado àqueles objectivos gerais é de pouca utilidade nos dias que correm. O moderno planeamento, aplicado à programação de equipamentos ou à gestão de situações de emergência, a identificação de áreas de risco, a quantificação de vulnerabilidades, o *geomarketing*, o urbanismo, as políticas sociais, etc., são domínios que podem beneficiar da existência de dados populacionais (e socioeconómicos em geral) desagregados a níveis inferiores aos disponibilizados pelos organismos e entidades oficiais de produção e publicação de estatísticas.

Abordagens que consideram a distribuição populacional, ou de outros indicadores socioeconómicos, fenómenos contínuos no espaço, através da sua interpolação para superfícies de matriciais regulares, permitem superar algumas das restrições das fronteiras administrativas. Por um lado, “a espacialização de dados populacionais num formato SIG matricial aumenta significativamente a sua utilidade e facilita a sua integração com outros dados espaciais, para análise ou modelação” (Freire 2007b), por outro, este tipo de superfícies

não estão sujeitas ao MAUP, acrescendo a exactidão cartográfica que pode ser substancialmente melhorada face aos métodos convencionais (Mennis 2003). A obtenção de modelos da distribuição da população em formato matricial "é um caso particular de problema de alteração de suporte espacial (COSP) aplicado a estatísticas socioeconómicas" (Néry *et al.* 2007).

Rase (2001), no seu trabalho sobre formas de lidar com o MAUP, esboça um útil e completo esquema que relaciona diferentes técnicas destinadas à transformação de dados entre zonamentos com os tipos de unidades espaciais originais e resultantes (figura 15). No esquema, são consideradas tanto as técnicas que permitem construir modelos matriciais contínuos (E e F) como as que permitem agregar e desagregar informação entre zonamentos compatíveis e incompatíveis (A, B, C e D).

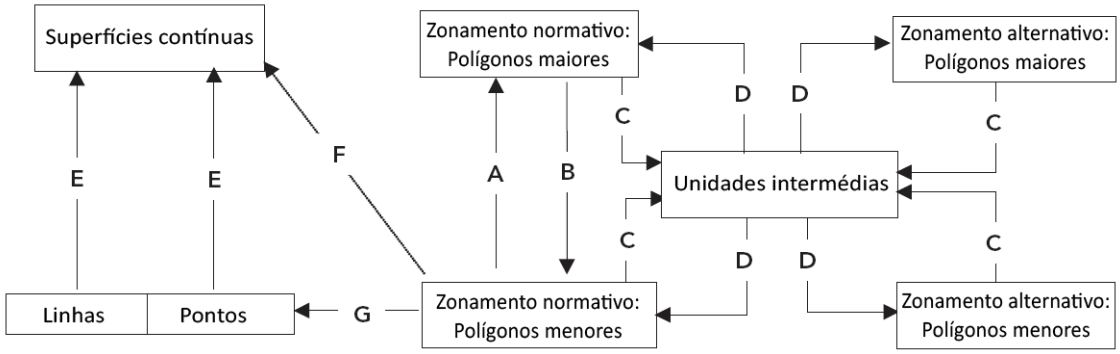


Figura 15. Modelo genérico de transformações espaciais. Adaptado de Rase (2001: 32).

Em que:

- A: agregação entre zonamentos compatíveis;
- B: desagregação entre zonamentos compatíveis;
- C: desagregação entre zonamentos incompatíveis;
- D: agregação entre zonamentos incompatíveis;
- E: modelação espacial (interpolação) a partir de linhas ou pontos;
- F: modelação espacial (interpolação) a partir de polígonos;
- G: criação de centróides.

Exemplificando: O processo A pode ser a agregação de freguesias em distritos e o processo B representa a operação inversa. C e D ilustram o uso de uma unidade intermédia para agregar ou desagregar dados e depois transferi-los para um zonamento incompatível com o normativo. Exemplo deste tipo de operações é a transferência de dados agregados a concelhos para unidades relativas às bacias hidrográficas. Neste caso, as unidades intermédias são resultantes

da intersecção entre o zonamento dos concelhos e o zonamento de bacias hidrográficas. E e F representam a criação de superfícies contínuas a partir de pontos, linhas ou polígonos. Finalmente, G representa a criação de centróides a partir polígonos (Rase 2001: 32).

Em síntese…

A questão da transformação de dados entre zonamentos de diferentes geometrias (Rase 2001), ou da alteração de suporte espacial (Néry *et al.* 2007), surge no contexto do mapeamento de distribuições populacionais pela seguinte ordem de factos:

- 1 – Os valores da população surgem agregados a unidades de enumeração de zonamentos normativos (administrativos e/ou censitários);
- 2 – O mapeamento de distribuições a partir de unidades de enumeração de zonamentos normativos apresenta um conjunto de problemas e limitações;
- 3 – Em teoria, o mapeamento de distribuições pode ser melhorado através da utilização de unidades de mapeamento mais desagregadas, preferencialmente, regulares em forma e área (zonamentos regulares);
- 4 – A produção de cartografia baseada em zonamentos regulares e uniformes obriga a que os dados originalmente colectados, armazenados e disponibilizados ao nível de unidades de enumeração sejam transformados em unidades com aquelas características (ex.: superfícies matriciais digitais);
- 5 – A interpolação zonal reúne um conjunto de técnicas distintas que permitem proceder a essas transformações, mas não sem erros de estimação.

3.1.2 A interpolação zonal e a transformação de dados

> *Areal interpolation methods are primarily designed for the zone transformation problem that involves transforming data from one set of spatial units to another. This approach uses census population data as the input and applies interpolation or disaggregation techniques to obtain refined population surface. (…) The two sets of spatial units could be referred as the source zone and the target zone* (Wu, Qiu e Wang 2005: 58-59).

A definição mais divulgada de interpolação zonal é, tal como transcrito acima, o processo de transformação de dados agregados a um zonamento de origem num zonamento de destino, de diferente geometria. No âmbito do SIG, a interpolação zonal também pode ser referida como o processo de estimar os valores de uma ou mais variáveis num conjunto de

polígonos/pixéis de destino a partir de valores conhecidos e agregados a geometrias de origem.

Os métodos de interpolação zonal podem ser classificados de várias formas. No final do segundo capítulo desta dissertação, referiu-se que os problemas do tipo COSP podem ser resolvidos por duas abordagens: interpolação zonal ou interpolação focal. A primeira transfere e/ou transforma informação originária de polígonos e a segunda transfere e/ou transforma informação agregada a pontos. Rase (2001) propõe a sua própria classificação de métodos de transformação espacial, baseada em cinco categorias:

- Métodos de desagregação;
- Métodos de agregação;
- Métodos de transferência de informação de um tipo de unidade para outro;
- Métodos de suavização;
- Métodos de interpolação capazes de gerar superfícies contínuas a partir de pontos.

No entanto, a classificação proposta por Wu, Qiu e Wang (2005) parece ser suficientemente completa e coerente (figura 16).

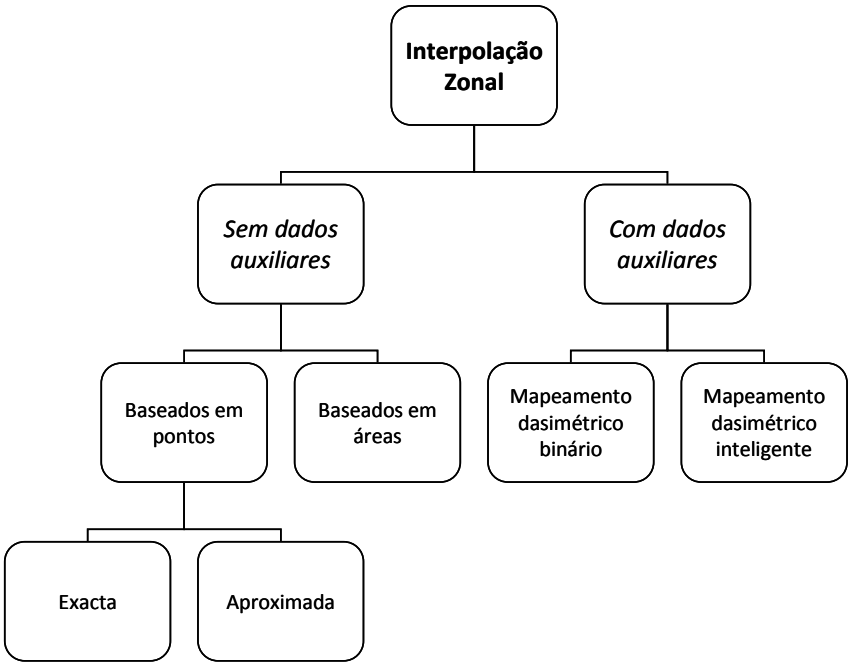


Figura 16. Classificação de métodos de interpolação zonal segundo Wu, Qiu e Wang (2005), adaptada.

Segundo aqueles autores, a interpolação zonal distingue-se primeiramente pela utilização ou não de dados auxiliares. Os métodos de interpolação que não usam dados auxiliares podem ser baseados em pontos ou áreas, consoante a geometria original dos dados a interpolar.

A interpolação zonal baseada em pontos consiste, numa primeira fase, em definir um conjunto de pontos representativos de unidades de enumeração – a zona de origem. Posteriormente, uma superfície matricial contínua é criada a partir dos valores alocados a esses pontos. O valor de cada localização não amostrada no espaço é estimado com base nos pontos amostrados contidos num raio de vizinhança. Os métodos variam substancialmente consoante tenham interesse em preservar o valor original de cada ponto (métodos exactos) ou determinar uma função global ajustada à área, mas não preservando rigorosamente o valor dos pontos originais (métodos aproximados).

Vários problemas colocam-se aos métodos baseados em pontos. Desde logo, a localização de um ponto representativo de uma unidade espacial poligonal é uma decisão de carácter arbitrário. Além disso, a estimação da superfície é bastante afectada pelo número de pontos assim como pelo seu arranjo ou distribuição no espaço. Por outro lado, estes métodos assumem um conjunto de pressupostos relativamente à superfície a produzir, como por exemplo uma função determinística (ex.: métodos ponderados pela distância). Como bem denunciam Wu, Qiu e Wang (2005: 61), "this rather arbitrary assumption rarely fits the complex geographical phenomena in the real world". De entre as várias técnicas disponíveis, é assinalada a krigagem geoestatística, por ser considerado o melhor estimador linear não-enviesado (García 2003), resultando boas estimações caso a distribuição da população possa ser descrita pelo semi-variograma (Wu, Qiu e Wang 2005).

A preservação do volume total dos dados por zona de origem no processo de transformação de dados entre zonamentos espaciais é um aspecto fundamental. A preservação do volume, também conhecida como a propriedade picnofilática de Tobler, deve ser observada pelos métodos de interpolação zonal[29]. Um problema dos métodos de interpolação baseados em pontos tem a ver, justamente, com o facto de nem sempre serem capazes de preservar o volume total dos dados por zona de origem. No entanto, podem ser aplicados ajustamentos à posteriori que garantam a propriedade.

Martin (1989) desenvolveu uma técnica conhecida como "método dos centróides ponderados", que permite criar superfícies matriciais da distribuição da população. Esta técnica é baseada na localização de pontos, a que se associa o valor de densidade populacional e de população total. A população do centróide é distribuída numa janela posicionada sobre o mesmo. A janela "visita" cada ponto e é composta por vários pixéis, sendo tanto maior quanto

[29] Langford and Unwin (1994: 24), referindo-se à propriedade picnofilática, afirmaram: "People are not destroyed or manufactured during the redistribution process".

o volume populacional representado no ponto. Esse valor é redistribuído nos pixéis da janela segundo uma função da distância ao ponto, preservando o volume original. Podem ainda ser definidas máscaras de exclusão, como planos de água, onde nunca é alocada população. O algoritmo criado por Martin tem sido amplamente usado no Reino Unido para espacializar dados censitários. Contudo, este método tem várias fragilidades. A área de estimação não é independente da escolha do tamanho do pixel e a função de distância ao centróide influencia os resultados, podendo não se adaptar correctamente a diferentes sectores da área a cartografar.

Os métodos de interpolação zonal baseados em áreas preservam, inerentemente, o volume dos dados originais. A técnica simultaneamente mais simples, mais conhecida e, provavelmente, mais usada é o da ponderação pela área, ou *areal wheighting* (Rase 2001). Nesta técnica, as zonas de origem e as de destino intersectam-se. As áreas intersectadas recebem o volume de dados directamente proporcional à sua área. O principal problema desta técnica simples é o facto de assumir a distribuição homogénea da variável no interior das zonas de origem, o que raramente acontece na realidade geográfica. A popularidade desta técnica deve-se à sua simplicidade conceptual e de implementação, já que as operações de sobreposição de *layers* são amplamente disponibilizadas por *software* comercial de SIG.

Outra conhecida técnica é o interpolador picnofilático de Tobler. Esta técnica aplica um algoritmo iterativo capaz de criar superfícies contínuas suavizadas a partir de dados agregados a unidades de área, tendo em consideração os dados das unidades adjacentes. Este método tem caído em desuso por exigir cálculos computacionais exigentes e basear-se num modelo simplista que assume o pressuposto de uma relativa distribuição homogénea na zona de origem (Rase 2001).

Por seu turno, os métodos de interpolação zonal que recorrem a informação auxiliar, vulgarizados como cartografia dasimétrica, são, muito provavelmente, aqueles que têm sido objecto de maior interesse e desenvolvimento nos últimos anos. A publicação de um crescente número de trabalhos em revistas internacionais de cartografia é uma evidência disso mesmo. Outro facto interessante é a publicação, na terceira edição do manual *Cartography and Geovisualization* (Slocum *et al.* 2009), de um capítulo exclusivamente dedicado à cartografia dasimétrica. Nas edições anteriores do mesmo manual (1999 e 2005), a cartografia dasimétrica dividia um capítulo com os mapas de pontos.

Este recente interesse pode dever-se a alguns motivos que aqui se elencam:

- O aumento do poder de processamento dos sistemas computacionais, capazes de processar grande volume de informação mais rapidamente;
- A disponibilização de ferramentas cada vez mais avançadas de análise espacial integradas em pacotes de *software* comerciais;
- O aumento da oferta de informação geográfica digital proveniente de diferentes fontes, passível de ser usada como informação auxiliar para a interpolação dasimétrica;
- No contexto da produção de superfícies populacionais, a cartografia dasimétrica é um método comprovadamente mais acurado do que qualquer outro que não recorra a informação auxiliar para informar o processo de interpolação (Wu, Qiu e Wang 2005).

No entanto, a cartografia dasimétrica tem uma história que remonta, tanto quanto se sabe, ao início do séc. XX. As primeiras referências a este tipo de cartografia são originárias da Rússia. O seu alegado inventor, Semenov Tian-Shansky publicou, na década de 1920, um mapa da população da Rússia europeia (Bielecka 2005; Mennis e Hultgren 2006). No entanto, J. K. Wright foi quem popularizou, nos Estados Unidos da América, a cartografia dasimétrica, com a publicação, em 1936, de *A method of mapping densities of population with Cape Cod as an example*, na Geographical Review. Tal como descreve Mennis (2003: 32), Wright usou informação auxiliar obtida em cartografia topográfica da USGS para recalcular as densidades populacionais:

> *Wright demonstrated dasymetric mapping by first redistributing population from a set of areal units into inhabited and uninhabited regions as indicated on USGS topographic maps. He then subdivided the inhabited regions into smaller portions, using settlement pattern data also gathered from USGS topographic maps. Population density values are derived subjectively for the different types of settlement patterns, and this information is used to the fraction of inhabited region area each portion occupies.*

A produção de cartografia dasimétrica sem o auxílio dos meios computacionais actuais é uma tarefa bastante morosa e complexa, razão pela qual só recentemente se redescobriu esta técnica cartográfica.

O caso da cartografia dasimétrica aplicada à distribuição populacional é marcado pela utilização de dados geográficos auxiliares que informam a interpolação sobre as zonas onde o povoamento ocorre. Essa informação pode ser a mais variada. Os dois tipos de informação auxiliar mais referenciados na literatura são as áreas urbanas obtidas por meio de detecção remota ou cartografia da ocupação/uso do solo (Eicher e Brewer 2001; Mennis 2003; Wu, Qiu e Wang 2005; Slocum 2009). No entanto, também tem sido referida a utilizada de informação

sobre parcelas usadas por serviços fiscais (Sleeter e Wood 2006), estradas ou vias públicas (Voss *et al.* 1999; Reibel e Bufalino 2005; Freire 2007b), edifícios (Langford 2007) ou mesmo a intensidade da luz emitida à noite, obtida por meios de detecção remota (Dobson *et al.* 2000).

A utilização de informação auxiliar é um aspecto tão marcante na cartografia dasimétrica que Martin *et al.* (2000) não hesitou em afirmar que a qualidade da informação auxiliar é mais importante do que a escolha do algoritmo de desagregação.

A cartografia dasimétrica pode ser classificada como binária ou "inteligente"[30] consoante o tipo de desagregação que é feita a partir dos dados originais. A desagregação binária é a mais simples forma de cartografia dasimétrica e distribui a população pelas zonas de destino de forma proporcional à área. Trata-se de uma forma de *areal wheighting* restrito apenas às áreas onde se presume a ocorrência da variável. Este método assume a distribuição homogénea no zonamento de destino, pois não considera a diferenciação da informação auxiliar em classes de diferente densidade populacional. Considera apenas a existências de espaços povoados e não povoados, distribuindo a população de forma proporcional à área ocupada pelos espaços povoados.

O método "inteligente", pelo contrário, incorpora informação relativa a classes de diferente densidade populacional. Por exemplo, se for usada informação relativa à ocupação do solo, é presumível que as classes agrícolas tenham uma densidade de ocupação humana inferior a classes urbanas. A ponderação das áreas ocupadas pelas densidades relativas da informação auxiliar torna o processo dasimétrico mais robusto. A forma como a densidade de cada classe é determinada tem sido um tema de investigação da cartografia dasimétrica.

Eicher e Brewer (2001) usaram três classes de ocupação do solo: urbano, agrícola e florestal. A cada classe atribuíram uma percentagem de ocupação humana arbitrária, 70%, 20% e 10%. No entanto, além da subjectividade do critério, o método não considerava o valor de área das três classes dentro de cada zona de origem.

Mennis (2003) e Mennis e Hultgren (2006) propõem um método bastante mais robusto que usa a área das classes de ocupação do solo ponderada por uma densidade populacional diferenciada entre elas. A densidade de uma determinada classe é calculada com base num processo de amostragem, que selecciona unidades do zonamento de origem representativas da classe em causa (ex.: unidades total ou parcialmente contidas numa classe de ocupação do

[30] Outros autores (Rase 2001; Gallego 2001; Bielecka 2005) utilizam o termo "Modified Areal Weighting Method". Sugestão de tradução: Método da Ponderação pela Área Modificado.

solo). Outros autores (Gallego e Peedell 2001; Néry *et al.*) utilizam algoritmos iterativos para estimar as densidades relativas entre classes de ocupação do solo.

A figura 17 mostra como uma unidade de enumeração é desagregada num modelo matricial mais refinado com base em informação sobre a ocupação do solo.

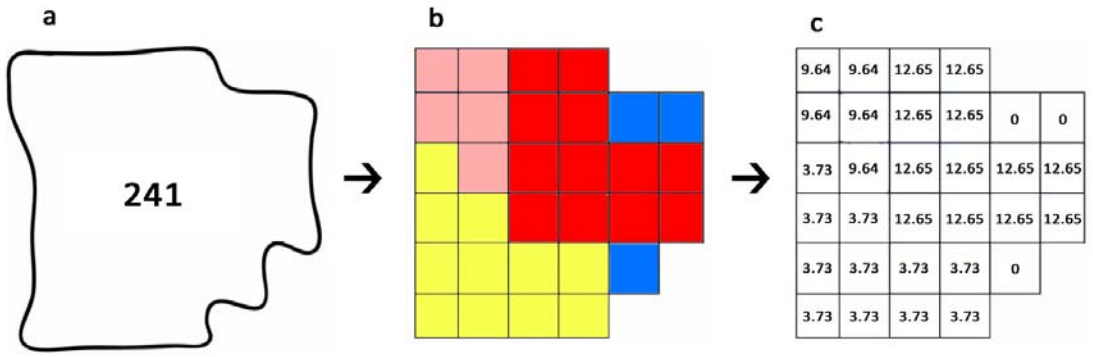


Figura 17. Modelo dasimétrico inteligente matricial. (a) Unidade de enumeração, com população homogeneamente distribuída no espaço (zona de origem). (b) Informação auxiliar em categorias de uso do solo (vermelho: urbano denso; rosa: urbano disperso; amarelo: agrícola; azul: água) (zonas de destino); (c) População redistribuída em pixéis, assumindo densidades de povoamento diferentes por classe de uso do solo. Adaptado de Sleeter e Wood (2006).

Enquanto os métodos "inteligentes" reconhecem a existência de diferenças de densidade entre classes da informação auxiliar, não prevêem, contudo, a existência de diferenças de densidade dentro de cada uma dessas classes (Wu, Qiu e Wang 2005). Por isso, Harvey (2002) adoptou uma abordagem completamente diferente. As densidades não são estimadas ao nível de classes de informação auxiliar mas ao nível dos próprios pixéis de destino. O processo é feito por um algoritmo iterativo que vai modificando o valor da população atribuída a cada pixel através do seu ajustamento em relação a regressões globais para a área modelada. A primeira regressão é obtida entre os valores iniciais da população, distribuída por pixéis através de um modelo dasimétrico binário, e informação espectral de cada pixel obtida em imagens de satélite.

Os modelos de distribuição da população em formato matricial, produzidos com base nos métodos e técnicas acima revistos, podem ser definidos como uma matriz regular de células (ou pixéis) georreferenciada, que contém informação relativa à quantidade de pessoas que reside no espaço representado pelo pixel (figura 17c). O pixel funciona como uma unidade de partição do espaço geográfico.

A criação de superfícies matriciais populacionais é um caso especial da interpolação zonal, porque o destino da informação é o conjunto de células que constituem a imagem matricial, procurando aproximar-se de uma superfície contínua (Mennis 2003). Na realidade, as superfícies matriciais resultantes da modelação dasimétrica devem ser consideradas superfícies semi-contínuas, dado existirem espaços onde a variável não ocorre e, por conseguinte, o valor dos respectivos pixéis é zero ou nulo.

3.2 Modelos globais da população

Consequência do grande desenvolvimento teórico e prático dos métodos de interpolação zonal é o surgimento dos Modelos Globais da População (MGP). Os MGP podem ser definidos como bases de dados geográficas com informação relativa à distribuição mundial da população. Será feita referência a dois conhecidos MGP, o projecto *LandScan: Global Population Database* e o *Gridded Population of the World* (GPW). Um terceiro modelo, referente apenas ao continente europeu, merecerá também aqui uma breve referência. Estes modelos comportam diferenças ao nível metodológico, resolução espacial e finalidades, mas todos eles têm aspectos em comum, como o facto de serem objecto de sucessiva actualização e refinamento ao longo do tempo.

O projecto de mapear a população de todo o Mundo coloca, desde logo, diversos problemas geralmente relacionados com a disponibilidade, qualidade e detalhe da informação. Sobretudo quando este tipo de projectos está ainda tão dependente de informação censitária ou de estimativas oficiais fornecidas pelos diversos países. Em alguns países, os dados estão disponíveis mas a sua referenciação geográfica não. Noutros casos, a informação só é disponibilizada a preços muito elevados. Grandes desafios colocam-se também em países que estão a passar por processos de reorganização administrativa, ou que estão envolvidos em conflitos ou guerras e que, por esses motivos, não têm informação organizada (Balk e Yetman 2004) ou não têm interesse em divulgá-la.

3.2.1 LandScan Global Population Database

Desenvolvido pelo Oak Ridge National Laboratory, sob a direcção de Jerome Dobson, o projecto LandScan: Global Population Database[31] lançou em 1999 a primeira base de dados geográfica referente à distribuição da população mundial. Inicialmente concebida para o Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América (DoD), esta base é, no entanto, disponibilizada gratuitamente a organismos dedicados a outros fins, tais como ajuda humanitária, ensino e investigação.

O LandScan consiste num produto em formato matricial para todo o Mundo com estimativas da população com uma resolução espacial de 30 segundos de arco, aproximadamente 1 km na linha do Equador, e de superior resolução para os EUA (90 metros). Desde o seu lançamento, o LandScan é objecto de actualizações anuais e a última versão disponível refere-se ao ano de 2007.

Um aspecto inovador e de grande relevância neste projecto é o facto das estimativas populacionais distinguirem população nocturna, ou residencial, da população diurna. A população nocturna é obtida a partir de estatísticas oficiais e/ou censos e está relacionada com os locais onde as pessoas residem. A população diurna está relacionada com a localização das pessoas durante o dia e integra dados sobre os movimentos pendulares diários. Esta desagregação da população em dois momentos temporais foi desenvolvida tendo em vista um vasto domínio de aplicações:

> *The resulting population distribution can be used for (a) emergency response to natural disasters, terrorist incidents, or other threats; (b) humanitarian relief in famines and other long term disasters; (c) protection of civilian populations; (d) estimation of populations affected by global sea level rise; and (e) numerous other environmental and demographic applications.*[32]

Todavia, esta desagregação temporal não está disponível para todos os países. Nestes casos, é fornecida uma estimativa da "população ambiente", isto é, a quantidade média de população presente ao longo das 24 horas diárias num dado local (Bhaduri *et al*. 2002: 35). Um outro aspecto fundamental a ter em conta na utilização deste e de outros MGP tem que ver com o facto da qualidade da informação variar grandemente de região para região e de país para país. As estimativas do LandScan partem de bases oficiais populacionais, fornecidas pelos

[31] Landscan, http://www.ornl.gov/sci/landscan/ [consulta: Novembro 2008].

[32] http://www.ornl.gov/sci/landscan/landscanCommon/landscan_doc.html [consulta: Novembro 2008].

Estados, verificando-se uma enorme desigualdade no nível de desagregação da informação disponibilizada. Em alguns casos, apenas totais nacionais da população são fornecidos (Dobson *et al*. 2000: 850).

Quatro principais bases de informação geográfica auxiliar são usadas para desagregar os dados populacionais: distância à rede de estradas, declives, ocupação do solo e intensidade da iluminação nocturna. Estes factores espaciais funcionam como indicadores da presença humana e, conjugados, permitem criar um coeficiente de probabilidade de localização da população em cada pixel do modelo. No entanto, tal como Bhaduri *et al*. (2002: 34) indicam, é necessário usar distribuições de pesos entre os factores adaptadas a cada região. Isto acontece porque a relação entre os quatro factores espaciais e a localização da população varia de acordo com as culturas, povos e morfologia das regiões:

> *Based on this variability in cultural and settlement geography, the world is divided into several different regions and each region is considered to have unique settlement characteristics. For each region, the population distribution model calculates a "likelihood" coefficient for each LandScan cell, and applies the coefficients to the census counts.*

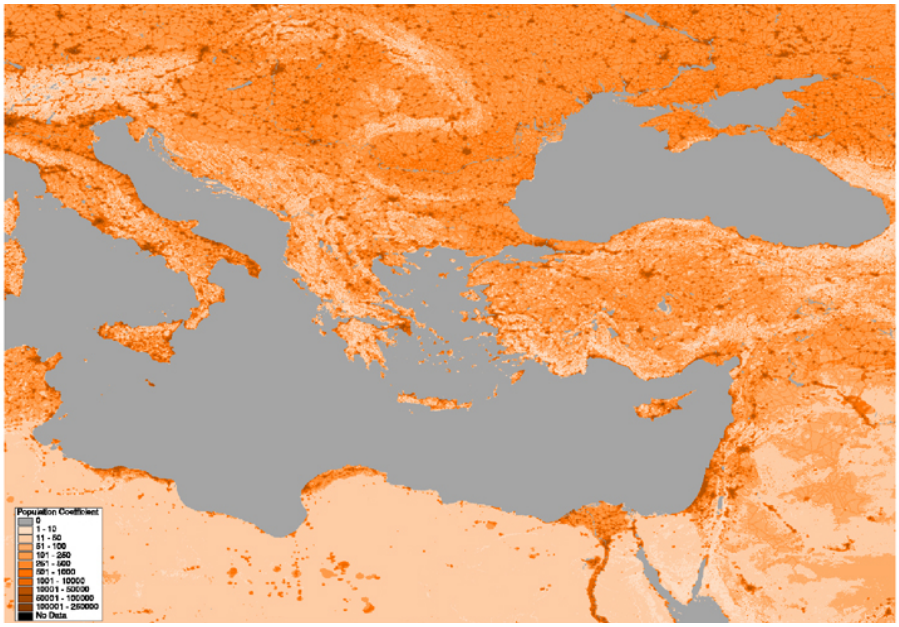


Figura 18. Distribuição do coeficiente de probabilidade populacional no Mediterrâneo Oriental. Extraído de http://www.ornl.gov/sci/landscan/

Esta base de dados mundial da população, além de ser sucessivamente melhorada e actualizada, é verificada e validada em áreas-teste de forma a avaliar a qualidade do modelo. A sua margem de melhoria é ainda bastante elevada, pois bases geográficas de informação auxiliar podem ser constantemente incrementadas e melhoradas. Por estas e pelas já referidas

características, a base de dados populacional desenvolvida pelo Oak Ridge National Laboratory tem um grande potencial de aplicação, não sendo, todavia, adequada a análises de âmbito sub-regional e local devido à sua resolução espacial grosseira.

3.2.2 Gridded Population of the World / Global Rural – Urban Mapping Project

O projecto Gridded Population of the World[33] (GPW) foi desenvolvido pelo Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), da Universidade de Columbia, EUA, e contou com o apoio de organismos como a National Aeronautics and Space Administration (NASA), o Inter-American Development Bank e o Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

A primeira base de dados da população do CIESIN surgiu em 1995 e a publicação da mais recente data de 2005 (GPWv3). Nesta última versão, estão disponíveis estimativas populacionais para os anos de 1990, 1995 e 2000. A metodologia para a sua elaboração sofreu apenas ligeiras modificações entre a primeira e a terceira versões, e consiste na transformação de população agregada a unidades espaciais administrativas, de tamanho muito variável, para um zonamento regular de quadrículas latitude-longitude com a resolução de 2,5 minutos de arco (Balk e Yetman 2004), sensivelmente 5 km na linha do Equador. Esta transformação não envolve um processo de desagregação com base em informação auxiliar, pelo que não pode ser considerada cartografia dasimétrica. Com efeito, Balk e Yetman (2004) referem que o GPW é um projecto dedicado a reunir informação sobre a distribuição da população humana sem recurso à modelação. Por este motivo, o GPW está bastante dependente da qualidade, detalhe e desagregação da informação recolhida junto dos países.

Não obstante, o CIESIN, num projecto relacionado[34], usou a base GPWv3 para modelar, com maior resolução (30 segundos de arco) a distribuição da população mundial, recorrendo a informação auxiliar sobre delimitação de áreas urbanas (Balk e Yetman 2004).

[33] Gridded Population of the World, http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw/ [consulta: Novembro 2008].

[34] Global Rural – Urban Mapping Project (GRUMP), http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw/ [consulta: Novembro 2008].

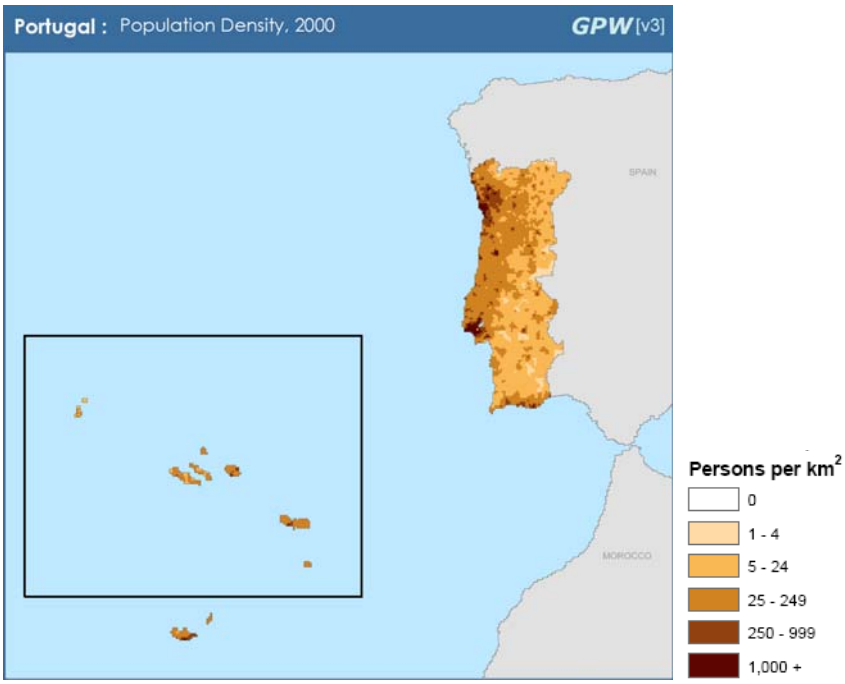


Figura 19. Densidade Populacional em Portugal, 2000 (CIESIN 2005).

3.2.3. Modelo europeu da densidade populacional

A Agência Europeia do Ambiente[35] tem disponibilizado gratuitamente, desde 2004, modelos da densidade populacional dos países da União Europeia sucessivamente melhorados[36]. Estes modelos surgem na sequência dos trabalhos de Peedell (1999), Gallego e Peedel (2001) e, mais recentemente, Gallego (2005, 2006), do Joint Research Centre da Comissão Europeia[37].

Actualmente, na versão 4.1 (2008), o modelo abrange 27 países da União Europeia (mais Croácia) e representa a densidade populacional para o ano de 2001 com uma resolução de 100 metros (1 hectare de área), para a escala de referência 1:100.000. Embora o modelo original ofereça, em cada pixel, o valor estimado do número de habitantes por km^2, a contagem absoluta da população pode ser facilmente obtida através da divisão do modelo por 100.

A metodologia subjacente à elaboração deste modelo baseou-se em interpolação zonal dasimétrica inteligente, com densidades das zonas de destino estimadas por regressão logística. O modelo contemplou a integração de informação relativa à população residente em 2001 agregada aos limites de freguesia dos países abrangidos e à informação sobre ocupação

[35] http://www.eea.europa.eu/

[36] http://dataservice.eea.europa.eu/dataservice/metadetails.asp?id=1018

[37] http://www.jrc.it/

do solo, designadamente a CLC 2000 e o Land Use / Land Cover Area Frame Cover (LUCAS 2001). A desagregação procedeu-se pelo cruzamento de um zonamento em 9 classes, resultante da reclassificação das classes da CLC 2000. Por seu turno, o LUCAS 2001 foi utilizado para afinar os coeficientes utilizados na desagregação.

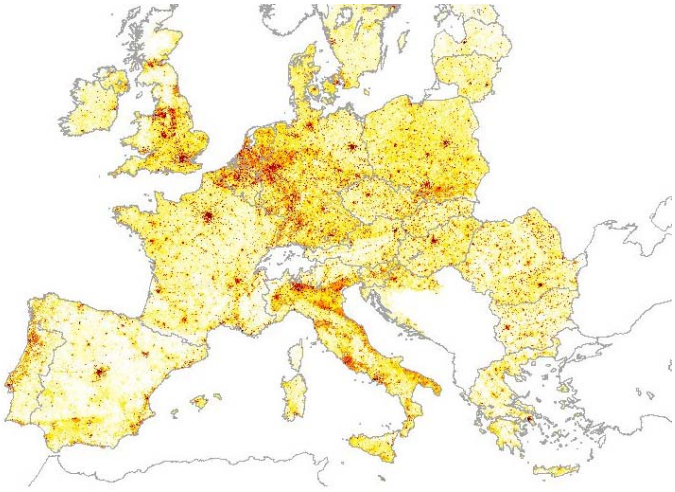


Figura 20. Densidade populacional na Europa, 2001. Extraído de Gallego (2006).

Este modelo apresenta diferenças metodológicas substanciais relativamente aos referidos anteriormente. Por outro lado, a sua resolução espacial mais fina permite análises a escalas maiores. Mas, de acordo com o autor deste modelo, diversos problemas colocam-se no processo de desagregação adoptado, sendo necessários desenvolvimentos futuros, bastante limitados, contudo, pela inexistência de bases geográficas de grande resolução que melhorem o modelo dasimétrico:

> *Further analysis might be needed on the comparison with reference data to understand the limitations of the downscaling procedure, but the first assessment indicates that the population density can be very different for different grid cells in the same commune and the same CLC class. The way to improve the results might be the introduction of new information of layers, such as night-time light emissions, as made by Briggs* et al. *(2007), although the coarse resolution of the available products of night-time light is probably a serious limitation* (Gallego s.d.: 11).

3.3 Outros estudos e aplicações

A cartografia dasimétrica tem sido usada para aplicações muito diversas. Quase todas as disciplinas do planeamento beneficiam com a utilização de modelos da distribuição da

população. Já vimos que os MGP, em particular o LandScan, constituem bases de informação de grande utilidade para domínios tão heterogéneos como o militar, a ajuda humanitária, o planeamento de situações de emergência, o ensino e a investigação. Outras aplicações da cartografia dasimétrica, geralmente produzidas com maior resolução, permitem análises a escalas maiores e abrem perspectivas de aplicação a um espectro ainda mais largo.

A cartografia dasimétrica encontra na actualidade um período de grande desenvolvimento e difusão, pelo que é cada vez mais crescente o número de trabalhos dedicados quer ao desenvolvimento e aprimoramento das técnicas propriamente ditas, quer à aplicação e exploração do potencial deste tipo de cartografia.

Seguidamente é feita uma breve referência a alguns trabalhos aplicados, de forma a fornecer um panorama global, ainda que incompleto, sobre as tendências actuais da aplicação e utilidade da cartografia dasimétrica.

3.3.1 Exemplos da aplicação de modelos dasimétricos

Muito recentemente surgiram dois estudos que discutem a aplicação de modelos dasimétricos da população à estimação de pessoas servidas por áreas de acessibilidade a equipamentos, como serviços públicos de saúde (Langford e Higgs 2006) ou escolas, correios, farmácias e dentistas (Langford *et al*. 2008) no Reino Unido. Nestes estudos é feita a comparação da qualidade das estimativas produzidas por modelos dasimétricos e outras técnicas convencionais, como o *areal wheighting*. Em ambos os estudos ficou demonstrada a melhoria das estimações quando é usado o modelo dasimétrico. Steiner e Paulus (2007), num estudo aplicado a uma região austríaca, defendem também a utilização da abordagem dasimétrica para aplicações na área do planeamento público de saúde.

Num estudo sobre mapeamento da distribuição da indústria e do comércio no País de Gales, Langford (2005) demonstrou que a metodologia dasimétrica permite a produção de mapas da distribuição visualmente mais comunicativos e precisos do que os mapas coropletos ou os mapas de localização pontual. No mapa coropleto observou-se uma tendência para as unidades de área de grande dimensão, geralmente associadas a áreas rurais, assumirem maior preponderância visual do que as unidades de área de pequena dimensão próprias de áreas urbanas, o que desequilibra a correcta leitura da distribuição. Acresce ainda o facto destes mapas assumirem a distribuição uniforme do fenómeno no interior das unidades de enumeração, quando existem, na realidade, muitos sectores desocupados no seu interior. Por

sua vez, mapas com a localização pontual e georreferenciada da indústria e do comércio têm maior sucesso em comunicar o facto destas actividades não ocorrerem uniformemente no espaço, mas antes em localizações específicas. É admitido que esta é uma boa técnica para mapas de pequena escala mas, em mapas de maior escala, a área ocupada no espaço pelas actividades industriais e comerciais é negligenciada. Finalmente, o mapeamento dasimétrico é produzido a partir de informação auxiliar relativa à localização de áreas artificializadas, obtidas a partir de cartografia de base à escala 1:50.000. "The dasymetric map clearly indicates the spatial pattern and location of industrial/commercial areas within the postcode polygons (…). The end product is a highly detailed chart of the spatial distribution of industry and commerce (…) across the whole of Wales" (Langford 2005).

Sleeter e Wood (2006) desenvolveram um trabalho de cartografia dasimétrica de resolução espacial muito elevada (10 metros) que incorpora os conceitos de distribuição nocturna e diurna da população firmados pelo projecto LandScan. Aplicado a uma área-teste, o trabalho teve como principal objectivo desenvolver uma metodologia capaz de produzir rigorosas representações da distribuição populacional ao longo da costa de Oregon, no Oeste dos EUA, modelando as flutuações diárias da população. O trabalho foi especialmente concebido no âmbito do planeamento de situações de catástrofe natural, tendo em consideração o caso particular da eventualidade da ocorrência de maremotos originados na zona de subducção da Cascadia. O produto final consiste, assim, em dois modelos populacionais de grande precisão espacial, desagregados nos momentos temporais noite e dia, permitindo realçar áreas mais expostas e vulneráveis (figura 21).

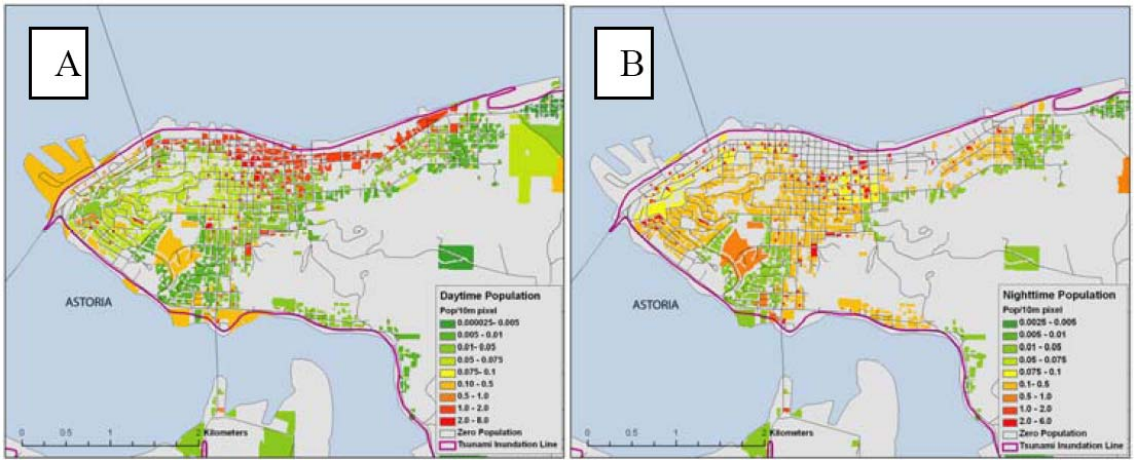


Figura 21. Distribuição diurna (A) e nocturna (B) da população em Astoria, EUA. Extraído de Sleeter e Wood (2006).

O modelo nocturno foi obtido a partir da transferência de população de unidades censitárias para uma superfície matricial semi-contínua. Um aspecto interessante desta modelação foi o

facto da informação auxiliar ter consistido nas parcelas prediais usadas pelos serviços fiscais, a que estava associada informação detalhada sobre o uso do solo. Estas parcelas permitiram distinguir as áreas ocupadas à noite e com que densidade e excluir as áreas desabitadas. A modelação da distribuição diurna da população foi dificultada pela inexistência de informação oficial sobre a localização das pessoas durante o dia, pelo que esta informação teve de ser obtida por via indirecta. Dados sobre emprego, escolas e outros indicadores censitários permitiram estimar a distribuição da população diurna por parcela.

Objecto de trabalho de Gallego (2005), a identificação de áreas rurais e urbanas é um domínio de aplicação bastante diverso dos supramencionados. No seu trabalho, Gallego, usa dois modelos globais da população – o LandScan e o modelo Europeu da densidade populacional. A cada um é aplicado um conjunto de operações espaciais destinado à identificação de aglomerados urbanos na União Europeia. Os algoritmos incorporam operações de *smoothing*, filtragem e *buffering* dos modelos matriciais. Dos aglomerados identificados, aqueles com mais de 5000 habitantes foram convertidos para formato vectorial poligonal e, depois, usados para classificar as freguesias da União Europeia em três tipologias: urbana, semi-urbana e rural. As freguesias urbanas têm pelo menos 50% de área ocupada por aglomerados urbanos com mais de 5.000 habitantes. As freguesias semi-urbanas devem conter pelo menos um núcleo urbano, ou interseccionarem uma aglomeração urbana com mais de 5.000 habitantes. Por fim, as freguesias rurais constituem todos os restantes casos e foram ainda classificadas como peri-urbanas, se estiverem sob a influência de aglomerações urbanas, ou remotas.

Este trabalho teve um carácter exploratório e os resultados não são oficiais. No entanto, suscitou um conjunto importante de questões metodológicas a ser resolvidas e aprimoradas. O trabalho constitui um importante ponto de partida para uma futura classificação das freguesias, a validar pelos Estados membros:

> *The results presented here are conceived as a basis for discussion. A number of arbitrary choices have been made, that need to be discussed, and some inaccuracies certainly appear, partly because of the population data grid used and partly because of the processing. If the approach is considered to be a valid basis, significant improvements are needed before submitting the results to validation by Member States. Some improvements can be made at short term, and some need a long-term work* (Gallego s.d.).

A cartografia dasimétrica também tem sido usada para mapear a distribuição populacional em áreas remotas. Investigadores brasileiros testaram várias técnicas de interpolação zonal dasimétrica (Amaral *et al.* 2005) e não dasimétrica (Amaral *et al.* 2002) para mapear a

população na Amazónia brasileira, onde a heterogeneidade areal do zonamento censitário é muito grande. Na área de estudo, o melhor método testado para desagregar a população consistiu numa interpolação zonal "híbrida", dasimétrica e multivariada. A metodologia recorreu ao pressuposto dasimétrico da exclusão das áreas não povoadas e a uma abordagem multivariada. As áreas não povoadas foram obtidas por classificação de imagens de satélite, tendo sido excluídas superfícies de água e grandes massas florestais. A abordagem multivariada consistiu na incorporação, nas zonas de destino (zonamento regular matricial com a resolução de 1 km), de vários indicadores para ponderar a redistribuição da população, tais como distância às estradas, distância a centros urbanos e declives. Foram ainda testadas diferentes técnicas para a atribuição de pesos às variáveis, como médias, simples e ponderada, e lógica *fuzzy*.

3.3.2 The Rise of the Mega Region: técnicas dasimétricas aplicadas a um estudo de geografia económica

Florida, Gulden e Mellander (2008), no seu estudo *The Rise of the Mega Region*, fazem uma abordagem interessante que recorre a técnicas típicas do mapeamento dasimétrico para uma aplicação no domínio temático da geografia económica. Embora este estudo não se enquadre no âmbito desta dissertação, a forma inovadora e incomum como o assunto é abordado, revela o potencial, a amplitude e a flexibilidade da metodologia dasimétrica, merecendo por completo o destaque que aqui lhe é dado.

O estudo tem como objectivos a identificação espacial das "mega-regiões" mundiais de maior dimensão económica (definidas como aquelas com um produto acima de 100 mil milhões de dólares) e a descrição dos seus principais atributos.

Contextualização temática

O antigo paradigma dos estados-nação fazia deles as unidades naturais do processo económico, sendo que as fronteiras detinham, nessa altura, uma relevância determinante. Os estados-nação eram constituídos por importantes e densas cidades e os seus respectivos *hinterlands*. Actualmente, o processo de globalização reduziu substancialmente o papel das fronteiras e o globo passou a ser a única unidade natural do processo económico. O capital e a força de trabalho circulam livremente pelo globo, onde quer que haja maiores proveitos económicos, regendo-se pelas leis do mercado, da oferta e da procura.

Neste contexto, o estado-nação tem perdido pertinência enquanto unidade de análise do processo económico, sendo assim proposta uma nova unidade: a "mega-região". Esta pode ter características transfronteiriças e é constituída por cidades integradas e todo o espaço suburbano que as cimenta e envolve. Devido à sua grande concentração, a força de trabalho e o capital podem ser investidos a custos muito reduzidos nestes espaços. As mega-regiões da actualidade herdaram as funções que as grandes cidades do passado tinham: concentração de talento, produtividade, inovação e dimensão de mercado. Agora, as mega-regiões (cidades ou cidades-região no passado) são os motores do crescimento e desenvolvimento económicos.

As mega-regiões não são apenas uma versão maior das cidades ou das áreas metropolitanas. A mega-região é composta por aglomerações policêntricas de cidades, os seus *hinterlands* são menos densos e a sua dinâmica é muito menos influenciada e limitada pelas fronteiras político-administrativas do que no passado. Uma grande massa demográfica concentrada não constitui, por si só, uma mega-região. Esta deve acumular dimensão populacional, mercado, capacidade económica significativa, actividade de inovação e talento – condições essas que podem não se reunir em alguns aglomerados urbanos mundiais.

Metodologia

Até à data deste estudo não havia uma metodologia que, global e sistematicamente, fosse capaz de identificar as mega-regiões e descrever as suas características e atributos. Uma metodologia baseada em dados de detecção remota de satélite e SIG foi utilizada para:

- Mapear as mega-regiões mundiais mais importantes;
- Mapear a distribuição mundial:
  - Da actividade económica;
  - Da população;
  - Da actividade de patenteamento;
  - De cientistas de topo (cientistas muito citados).
- Cruzar os mapas dos dois pontos anteriores de modo a obter estatísticas sumariadas por mega-região, permitindo a sua caracterização e classificação (*ranking*).

O mapeamento das mega-regiões foi feito com base em dados da intensidade da iluminação nocturna mundial para o ano 2000, obtidos a partir de satélites do programa de observação da Terra do National Geophysical Data Center (NGDC) do National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Assumiu-se a correlação entre iluminação e existência de mancha

urbana ou actividade económica no território. A resolução das imagens de satélite é de, aproximadamente, 1 km^2 (30 segundos de arco).

A delimitação das mega-regiões foi feita com base num critério de contiguidade da mancha urbana criada a partir dos dados da iluminação. O critério de contiguidade é "intuitivo": uma área de grande dimensão "ao longo da qual se pode caminhar, levando apenas dinheiro e sem passar fome". Em termos práticos, as mega-regiões foram definidas através da aplicação da seguinte ordem de passos:

- Estabelecendo um patamar de intensidade de iluminação a partir do qual se considera estar na presença de importantes aglomerados urbanos (este patamar foi testado para os EUA e depois aplicado a todo o mundo);
- Agrupando em áreas contíguas todos os pixéis iluminados a uma distância máxima de 2 km (dois pixéis);
- Estimando o produto da actividade económica para cada uma dos aglomerados resultantes e estabelecendo um patamar a partir do qual se consideram "mega-regiões globais" (100 mil milhões de dólares).

Deste procedimento elaborado em SIG resultaram 40 mega-regiões, com um padrão geográfico claramente urbano e com limites precisos e por vezes transfronteiriços, desafiando os zonamentos político-administrativos. A natureza destas regiões dificultou a integração de dados alfanuméricos, visto que estes se encontram, por norma, agregados a unidades político-administrativas.

A intensidade de iluminação é utilizada para aferir a distribuição da actividade económica das regiões no ano 2000 (em US Dollars). No entanto, a relação entre a emissão de luz nocturna e o PIB não é perfeita, apresentando diferenças entre as áreas suburbanas extensas (de desenvolvimento horizontal) e as áreas compactas (de desenvolvimento mais vertical). Por esse motivo, a estimação foi feita separadamente para cada uma das duas tipologias de áreas. O modelo foi calibrado com base em estatísticas da US Conference of Mayors e do Banco Mundial.

O mapa da distribuição da população mundial (2005) é obtido directamente do projecto LandScan (Oak Ridge National Laboratory) e contém também informação matricial com a resolução de 1 km^2.

O mapa da distribuição da actividade de patenteamento foi criado com informação obtida através da US Patent and Trademark Office e a partir de dados da World Intellectual Property Office (WIPO). Os dados são alocados às cidades dos autores das patentes. Para obter o valor

de actividade de patenteamento por mega-região, é feito o somatório do número de patentes das cidades incluídas em cada uma das mega-regiões[38].

Por fim, a distribuição de cientistas de topo (*star scientists*) foi criada a partir dos dados compilados por Batty (2002) (agregados por cidade e mega-região)[39], sendo considerado como um indicador de inovação científica e tecnológica.

Todos os quatro indicadores são representados sob a forma de um mapa, cujo formato matricial (com a resolução de 1 km^2) permite somar os valores de cada um deles por mega-região, através de uma operação espacial comummente designada de *zonal statistics*.

Resultados

Dos cerca de 200 países e milhares de cidades existentes em todo o mundo, demonstra-se que apenas um pequeno número de mega-regiões (40) estrutura a economia global. Grande parte da actividade económica (66%) e da inovação científica e tecnológica (85%) é proveniente destas regiões que, no entanto, representam uma pequena fracção da superfície habitável na Terra e apenas 18% da população mundial. As mega-regiões definem não apenas as economias das nações avançadas, mas desempenham também um papel preponderante nas economias de países emergentes, como Índia e China. Os transportes e as acessibilidades encurtaram as distâncias, mas a verdade é que a actividade económica e a inovação continuam bastante concentradas e clusterizadas em torno destas mega-regiões.

O mapa da figura 22 mostra, para a Europa, as mega-regiões identificadas através da metodologia proposta, e o quadro 3 lista as dez maiores mega-regiões mundiais.

[38] Não é referido o período temporal utilizado para contabilizar os patenteamentos.

[39] Áreas da matemática, ciências sociais e humanidades não estão presentes na compilação.

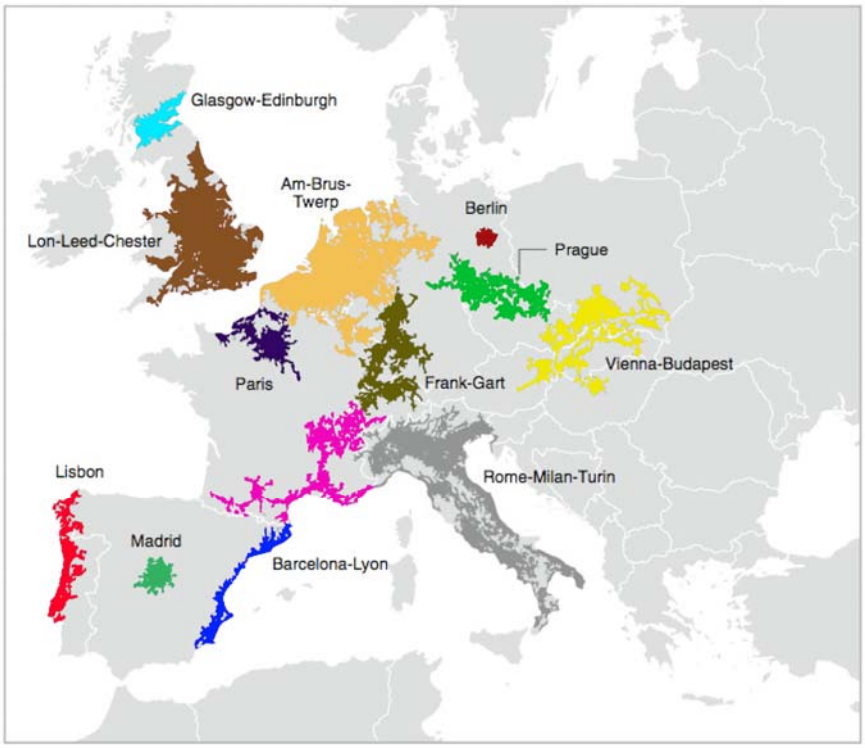


Figura 22. Mega-regiões identificadas para a Europa segundo a metodologia de Florida, Gulden e Mellander (2008).

Quadro 3. Dez principais mega-regiões mundiais identificadas segundo a metodologia de Florida, Gulden e Mellander (2008).

Name	Population (Millions)	Pop. Rank	LRP 2000 ($Billions)	LRP Rank	Patents (2001)	Pat. Rank	Authors (2001)	Auth. Rank
Greater Tokyo	55.1	4	2500	1	91280	1	11	16
Bos-Wash	54.3	5	2200	2	21307	3	293	1
Chi-Pitts	46.0	9	1600	3	17686	4	67	5
Am-Brus-Twerp	59.3	3	1500	4	6985	9	29	11
Osaka-Nagoya	36.0	14	1400	5	15897	5	9	20
Lon-Leed-Chester	50.1	6	1200	6	3315	14	89	3
Rom-Mil-Tur	48.3	7	1000	7	4000	33	12	14
Char-Ianta	22.4	18	730	8	4188	11	49	7
So-Cal	21.4	22	710	9	6902	10	74	4
Frank-Gart	23.1	17	630	10	3199	15	39	8

3.4 Desenvolvimentos recentes da cartografia dasimétrica em Portugal

Ao contrário do que já acontece noutros países, a cartografia dasimétrica não encontrou ainda, em Portugal, terreno de grande desenvolvimento e difusão. Com efeito, no universo português da prática cartográfica são conhecidos apenas dois trabalhos dedicados a esta linha de investigação, ambos divulgados em 2007.

3.4.1 Modelo da distribuição espacial da população residente em Portugal Continental com a resolução de 1 km^2

Néry *et al.* (2007) produziram, para o território de Portugal Continental, um modelo da distribuição espacial da população residente em 1991, utilizando um zonamento regular quadriculado de 1 x 1 km^2. A produção deste modelo é descrita como um problema de alteração de suporte espacial, em que as zonas de origem são as censitárias (lugares do INE) e as de destino a quadrícula quilométrica[40].

São testadas duas metodologias de interpolação zonal: "Interpolação Zonal com densidade uniforme por zona de Origem" (IZO), ou *areal wheighting*, e "Interpolação Zonal com densidade uniforme por zona de Destino" (IZD). No primeiro caso, não é utilizada informação auxiliar. É apenas feita uma interpolação zonal simples entre zonas de origem e zonas de destino (quadrícula de 1 km^2) com base no pressuposto da densidade populacional uniforme por zona de origem. No segundo caso, a informação vectorial do uso do solo (COS 90) é utilizada como zonamento de densidade uniforme, ou seja, para cada classe de uso do solo é determinado um valor de densidade populacional. As densidades foram estimadas com base no algoritmo iterativo EM[41] de Dempster, Laird e Rubin (1977), cuja utilização foi proposta, em 1989, por Flowerdew e Green. São ainda consideradas zonas de exclusão, onde se verifica densidade populacional igual a zero. Estas zonas coincidem com certas classes de ocupação do solo, assim como planos de água e zonas submergíveis. A interpolação é, então, realizada sobre as faces resultantes da união espacial do zonamento censitário, ocupação do solo, zonas de exclusão e quadrícula quilométrica. A interpolação é feita sobre informação em modelo de dados vectorial.

[40] Este trabalho surge na sequência do desenvolvido pelo CNIG e supramencionado em 2.2.1.

[41] Expectation-Maximization.

As duas metodologias são testadas através de medição de erros (face a modelos de referência), ficando provado que a metodologia IZD permite obter melhores resultados: "os resultados apresentados demonstram a aplicabilidade dos algoritmos de interpolação zonal na desagregação espacial de informação censitária, sendo clara a melhoria obtida pela incorporação de informação auxiliar relativa à ocupação do solo".

Em síntese, o trabalho de Néry *et al.* (2007) teve sucesso em construir um modelo nacional de distribuição populacional com a resolução espacial de 1 km^2. Permitiu demonstrar que metodologias do tipo dasimétrico – que incorporam informação auxiliar relativa à ocupação do solo, com densidades populacionais médias estimadas para cada classe de ocupação – permitem transferir dados agregados a zonamentos censitários para um zonamento regular com maior eficácia do que modelos não dasimétricos baseados no pressuposto da distribuição uniforme da população por zona de origem. Como aspecto menos positivo, destaca-se a modelação para um período censitário já muito distante (1991) relativamente à data do trabalho (2007)[42].

Por último, de referir a complexidade de aplicação do algoritmo utilizado para estimar as densidades das classes de ocupação do solo. A sua implementação em SIG não é directa nem universal, visto que exigiu a programação de um *script* específico que executasse os passos e as operações do algoritmo para o caso concreto de aplicação.

3.4.2 O projecto Democarto

Freire (2007b) desenvolveu um trabalho distinto do de Néry *et al.* (2007), destacando-se diferenças ao nível do problema de partida, área de trabalho, resolução espacial do modelo e método de interpolação zonal.

Enquanto o trabalho de Néry *et al.* tem um âmbito mais teórico e metodológico, no qual se pretende discutir e comparar a qualidade de duas metodologias de interpolação zonal para a produção de um mapa da distribuição populacional no território continental português, já o trabalho de Freire tem um âmbito mais temático e de aplicação. Tendo em conta domínios de planeamento tão variados como os transportes, ambiente, saúde, *geomarketing*, protecção civil e outros, duas necessidades constituem o ponto de partida do trabalho de Freire:

[42] Esta opção poderá estar relacionada com a inexistência de uma COS para um momento próximo do Censos de 2001.

- A existência de uma base de informação populacional com um nível de desagregação espacial que permita uma análise à escala municipal e local;
- A diferenciação da distribuição populacional nocturna (ou residencial) da diurna, já que a população não é uma variável estática, restrita à residência.

Surgido deste enquadramento inicial, o trabalho de Freire teve como objectivo modelar, com alta resolução, a distribuição espacial e temporal da população dos concelhos de Cascais e Oeiras.

A metodologia para a desagregação da população residencial (ou nocturna) das zonas de origem (secções da BGRI e dados do Censo de 2001) foi feita através do método dasimétrico binário. Este permitiu transferir a população para as zonas de destino: pixéis relativos aos "eixos de vias residenciais", isto é, vias localizadas no interior de áreas edificadas, identificadas com base em cartografia da ocupação do solo. Como base da ocupação do solo foi utilizada a COS 90, tendo sido previamente corrigida e, posteriormente, actualizada pela combinação com a CLC 2000. O processo de interpolação zonal utilizado pressupõe a densidade uniforme em todo o zonamento de destino. A resolução adoptada para o produto final (em formato matricial) foi de 25 metros, "porque se pretendeu aproximar a dimensão da residência familiar (meio quarteirão)".

A produção do modelo da distribuição da população diurna exigiu um trabalho prévio de tratamento e georreferenciação de informação relativa aos quadros de pessoal[43], locais de trabalho e estudo e movimentos pendulares, de forma a obter-se a população diurna deslocada (em trabalho ou estudo) e a população diurna residencial (que não se desloca da residência para trabalhar ou estudar), cuja soma resulta na população diurna total. A população diurna total encontra-se alocada a pixéis dos eixos das vias.

Um modelo da "população ambiente" foi ainda estimado através da "média ponderada da população nocturna e população diurna, considerando a proporção de períodos nocturnos e diurnos que ocorrem numa semana típica de trabalho, de forma a representar num único indicador uma média temporal" da população presente em repouso, trabalho e estudo.

[43] Direcção-Geral de Estudos, Estatística e Planeamento (DGEEP).

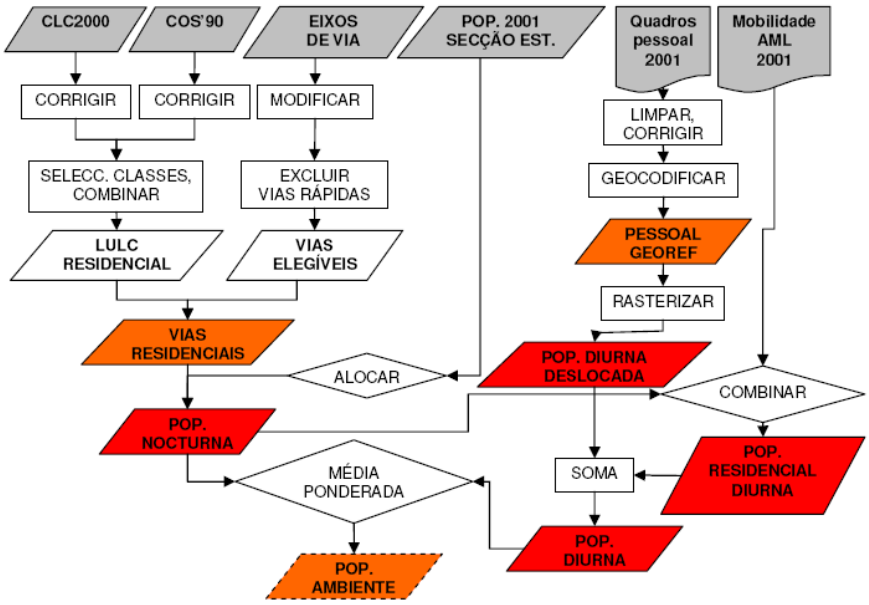


Figura 23. Modelo para cartografar a distribuição espacial e temporal da população. Extraído de Freire (2007b).

A validação do modelo da distribuição nocturna da população foi feita através da agregação dos dados do modelo pelos polígonos de subsecção da BGRI. Os somatórios resultantes foram comparados com o valor conhecido de população para cada subsecção. A análise de correlação entre modelo e realidade permitiu validar o processo de modelação proposto, apresentando resultados satisfatórios. Em contrapartida, como não existe uma base de referência para a distribuição diurna da população, o modelo diurno não pôde ser sujeito a uma avaliação formal de qualidade.

Freire (2007a), em trabalho sequente, demonstra a aplicabilidade dos modelos produzidos ao planeamento de situações de emergência e evacuação, através do cálculo da população exposta a quatro cenários hipotéticos de acidentes naturais e tecnológicos. Ficou demonstrado que o cálculo da população exposta foi mais realista, em todos os cenários, quando se usou o modelo da população diurna em comparação com a utilização dos polígonos das secções da BGRI usando *areal wheighting*.

A abordagem proposta por Freire (2007a e 2007b) tem como principais pontos positivos a elevada resolução espacial dos modelos produzidos (permitindo análises a escalas locais); a modelação em formato de dados matricial, o que permite uma grande integração com outras bases de informação geográfica; a validação estatística do modelo da distribuição nocturna da população; a modelação da distribuição diurna da população, baseada em dados oficiais. De referir ainda que a criação do modelo da distribuição da população diurna se revelou bastante

morosa, pois foi necessário recorrer a diferentes fontes de informação e à referenciação dos dados por processos automático (geocodificação por endereços) e manual. Dada a natureza dos dois modelos temporais da distribuição da população, o seu potencial de aplicabilidade a diversos domínios do planeamento afigura-se bastante elevado, o que constitui o principal ponto forte da abordagem seguida neste trabalho.

Contudo, a assunção da densidade uniforme no zonamento de destino no processo de interpolação zonal é menos realista do que assumir densidades variáveis nas zonas de destino, conforme Néry *et al.* (2007) tinham já demonstrado. Com efeito, os pixéis de vias residenciais poderiam ter sido diferenciados consoante a ocupação do solo subjacente, e as densidades poderiam ter sido inferidas por métodos conhecidos.

4. MODELAÇÃO CARTOGRÁFICA DA DISTRIBUIÇÃO POPULACIONAL E DO EDIFICADO DA REGIÃO OESTE E VALE DO TEJO SEGUNDO O MÉTODO DASIMÉTRICO. CASO DE ESTUDO

4.1 A área de estudo

4.1.1 Motivação da escolha

A escolha da região Oeste e Vale do Tejo para área de estudo/trabalho desta dissertação foi determinada por três factos preponderantes:

- Conhecimento prévio da região;
- Existência e acesso a informação geográfica;
- Adequação da região aos objectivos da dissertação.

O facto do autor desta dissertação ter colaborado na elaboração do PROT-OVT[44], em particular na componente de tratamento de dados e produção cartográfica, permitiu-lhe, previamente, familiarizar-se com o contexto regional que foi estudado. Possibilitou-lhe também o acesso a informação geográfica e alfanumérica muito diversa, o que acabaria por se revelar de grande utilidade no desenvolvimento dos trabalhos conducentes a esta dissertação.

Mais importante ainda foi o facto desta região portuguesa ser a que maior diversidade de informação geográfica tem disponível, destacando-se: duas diferentes cartas de ocupação do solo, a Corine Land Cover (2000)[45], de carácter europeu, e a carta dos Padrões do Uso do Solo (Rego *et al.* 2008)[46], de carácter regional e elaborada no âmbito do PROT-OVT; cartografia vectorial do edificado à escala 1:10.000 do IGP existente para todos os concelhos (única região do país com cobertura total); informação geográfica disponível relativamente às áreas de

[44] Área sectorial Sistema Urbano e Equipamentos, sob a coordenação da Doutora Teresa Sá Marques. http://protovt.inescporto.pt/

[45] http://reports.eea.europa.eu/COR0-landcover/en

[46] http://consulta-protovt.inescporto.pt/plano-regional/relatorio-do-plano/relatorios-sectoriais-de-caracterizacao-e-diagnostico/POS_Dianostico-Estategico-finalMAIO08.pdf

perigosidade natural, produzidas também no âmbito do PROT-OVT[47] (Zêzere *et al.* 2008). O contacto directo com a CCDR-LVT permitiu aceder a toda esta informação, destinada especificamente ao desenvolvimento desta dissertação.

Por último, a área de estudo adequa-se aos objectivos da dissertação pelos motivos a seguir elencados:

- A região apresenta padrões territoriais muito diversificados de ocupação humana, com áreas de povoamento difuso e extensivo, áreas de ocupação compacta e consolidada, assim como grandes vazios demográficos. Dessa forma, o OVT, com os seus diferentes modelos de povoamento num espaço relativamente pequeno (apenas 9,9% de Portugal Continental), representa razoavelmente bem as diferentes situações que podem ser encontradas de Norte a Sul do país. Por isso mesmo, o OVT pode constituir um bom teste metodológico à modelação do povoamento humano no contexto português.
- A região apresenta uma grande heterogeneidade em relação à dimensão das unidades censitárias, o que permite, na comparação entre mapas coropletos e dasimétricos, ganhos de qualidade cartográfica superiores a regiões onde as unidades censitárias são mais homogéneas, tal como acontece em áreas densamente povoadas e urbanizadas.
- Em termos de tempo destinado ao tratamento de informação e processamento de operações espaciais e tabulares em SIG, a pequena dimensão da região é um ponto claramente a favor.

O único óbice desta escolha foi a inexistência, na área de trabalho, de um centro urbano realmente de grande dimensão nacional e altamente compacto. Ordenados os lugares de Portugal continental constantes na base geográfica do INE (BGRI) com base na população do Censo de 2001, o lugar mais povoado do OVT corresponde a Santarém, com 28.669 residentes, e fica no modesto 26º lugar.

4.1.2 Enquadramento geográfico

Ao iniciar este capítulo, impõe-se um enquadramento geográfico da área em estudo, que será, no entanto, tão breve quanto a referência aos factos determinantes sobre o território, a demografia e o ordenamento do território o permitam.

[47] http://consulta-protovt.inescporto.pt/plano-regional/relatorio-do-plano/relatorios-sectoriais-de-caracterizacao-e-diagnostico/Sectorial_Riscos_Proteccao_Civil.pdf

A região Oeste e Vale do Tejo estende-se por uma área de 8.801 km^2, o que corresponde a cerca de 9,9% da totalidade do território de Portugal continental[48]. Situa-se aproximadamente no centro de Portugal, imediatamente a Norte da Área Metropolitana de Lisboa e a Sul da área em torno de Leiria, e tem uma frente costeira superior a 100 km, desde os concelhos de Alcobaça a Torres Vedras. A partir da linha de costa, esta região prolonga-se até ao interior do país, sensivelmente, entre 70 a 120 km, dependendo da latitude a que é feita a medição. O limite SE do OVT é feito com a região do Alentejo.

Em termos administrativos, o OVT é composto por 33 concelhos e 313 freguesias, repartidos pelos distritos de Leiria (apenas metade Sul), Santarém (a totalidade do distrito) e Lisboa (apenas metade Norte). Na nomenclatura NUTS3[49], o OVT é dividido em três sub-regiões, Oeste, Médio Tejo e Lezíria do Tejo, às quais correspondem três associações de municípios com igual designação. Estas regiões constituem unidades relativamente homogéneas do ponto de vista geográfico. O OVT está também abrangido pela área de actuação da CCDR-LVT, juntamente com a Área Metropolitana de Lisboa.

No que concerne ao enquadramento morfoestrutural, o OVT assenta sobre as três principais unidades existentes no território continental português. A parte ocidental da região corresponde à Orla Mesocenozóica Lusitânica, dominada por rochas sedimentares do Mesozóico (calcários, margas, arenitos e argilas). Grande parte da sub-região da Lezíria do Tejo situa-se na Bacia Cenozóica do Tejo, onde dominam depósitos aluvionares e rochas sedimentares cenozóicas (areias, arenitos, argilas, calcários). Por fim, o Maciço Antigo está representado na sub-região do Médio Tejo, a Norte, área onde surgem antigas rochas metassedimentares paleozóicas, tais como xistos e quartzitos[50]. Estas grandes unidades morfoestruturais têm implicações directas na litologia, pedologia, topografia e, por consequência, na ocupação do solo, nos padrões do povoamento e em algumas actividades humanas e, principalmente, na composição da paisagem.

---

[48] IGP (2008) – *Carta Administrativa Oficial de Portugal*. Versão 2008.0. Disponível em http://www.igeo.pt/ produtos/ cadastro/caop/versao2008_0.htm

[49] "Nomenclatura estatística comum das unidades territoriais, de modo a permitir a recolha, organização e difusão de estatísticas regionais harmonizadas na Comunidade Europeia. A nomenclatura NUTS subdivide o território económico dos Estados Membros em unidades territoriais e atribui a cada unidade territorial uma designação e um código específicos. A nomenclatura NUTS é hierárquica" e subdivide cada Estado-Membro em unidades territoriais do nível NUTS1 ao nível NUTS5 (INE, http://metaweb.ine.pt/sim/conceitos/ [consulta: Dezembro 2008]).

[50] Oliveira, J., Pereira, E., Ramalho, M., Antunes, M., Monteiro, J. (coord.) (1992) – *Carta Geológica de Portugal, na escala de 1:500 000*. 5ª edição.

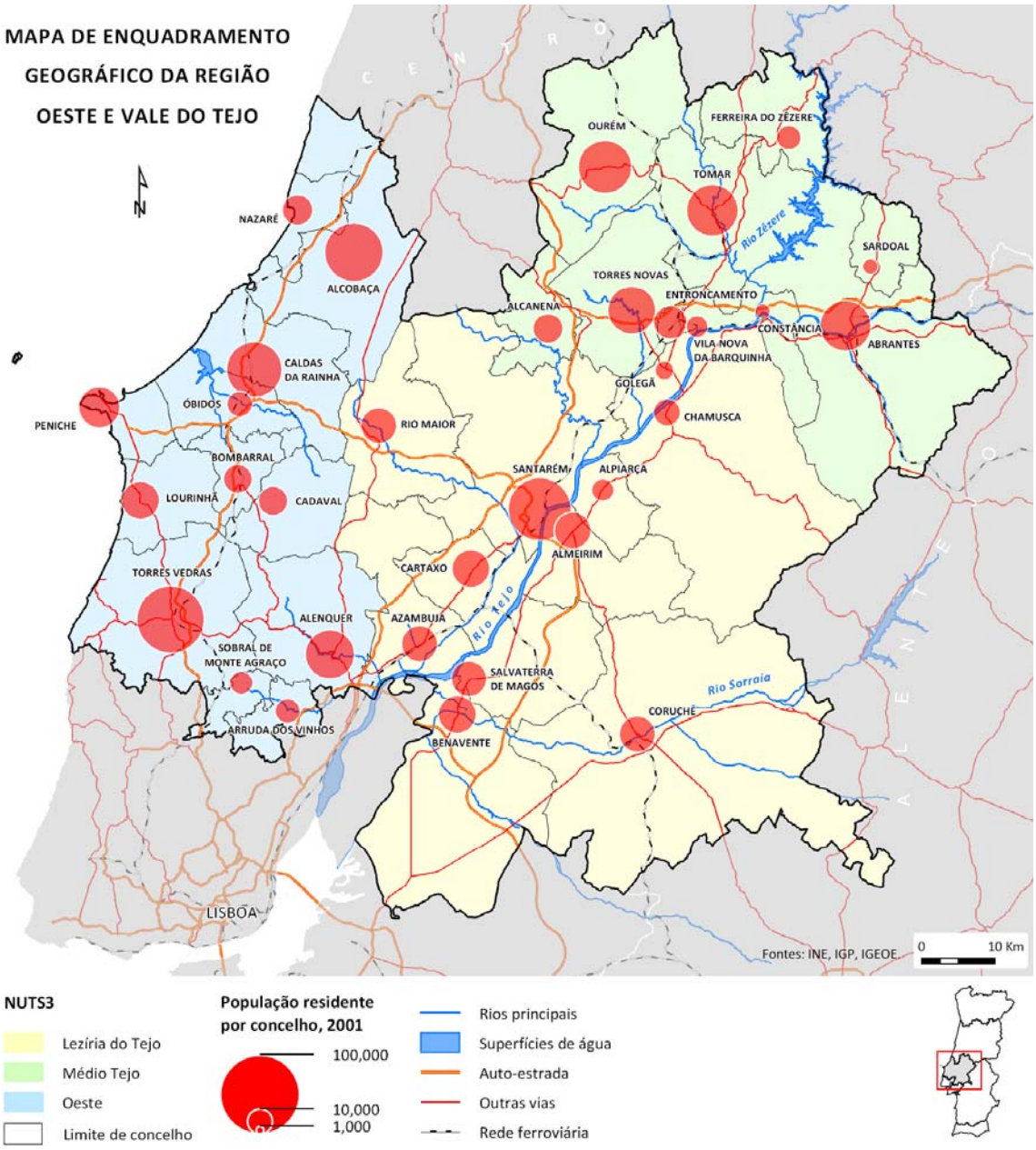


Figura 24. Enquadramento geográfico da região Oeste e Vale do Tejo.

Os principais rios que percorrem este território são o Tejo, o Zêzere e o Sorraia. O Tejo atravessa toda a região ao longo de aproximadamente 120 km, encaixado num vale que se alarga progressivamente em direcção a jusante, onde os solos de origem sedimentar e de boa aptidão agrícola são aproveitados para este efeito desde há muitos séculos. O rio Sorraia, que percorre o sector sul da região ao longo de 80 km e que desagua no estuário do Tejo, desenvolve-se igualmente ao longo de um vale largo predominantemente ocupado por usos agrícolas. Por sua vez, o rio Zêzere, de menor extensão no interior do OVT, entra na sub-região do Médio Tejo pelo concelho de Ferreira do Zêzere e encontra-se com o Tejo nas imediações de Constância. Este importante rio é aproveitado para fins hidroeléctricos através da barragem

de Castelo de Bode, cuja albufeira é a maior da região, fazendo margem com os concelhos de Ferreira do Zêzere, Tomar e Abrantes. Podem ainda ser mencionadas as ribeiras do Oeste, cujos cursos de água, de menor comprimento e caudal, nascem a Oeste da linha de festo criada pelas elevações do sistema Candeeiros-Montejunto, os quais drenam em direcção ao Atlântico.

As áreas de maior elevação correspondem às serras de Aires, Candeeiros e Montejunto, com cumes na ordem dos 680, 490 e 670 metros[51] de altitude, respectivamente. Nesta região situam-se também algumas importantes Áreas Protegidas, como o Parque Natural das Serras de Aire e Candeeiros, a Paisagem Protegida da Serra de Montejunto e a Reserva Natural das Berlengas[52], localizada no Atlântico a cerca de 10 km da costa de Peniche. A costa apresenta uma certa alternância entre duas tipologias, uma predominante, de tipo rochoso, com arribas talhadas em calcários, margas e arenitos[53], e outra de costa baixa e arenosa, onde as praias se encontram depauperadas em sedimentos (Zêzere *et al.* 2008).

A região OVT era habitada, à data do Censo de 2001 (INE), por 805.633 pessoas, cerca de 8,2% do total da população de Portugal Continental. Relativamente aos dados do Censo de 1991, altura em que se registavam 768.778 residentes, verificou-se um crescimento populacional de 4,6%. Para 2007, o INE estimava um total de 842.426 residentes, isto é, um crescimento novamente de 4,6% para o período 2001-2007.

No ano de 2001[54], a população repartia-se do seguinte modo: 338.711 residentes no Oeste, 226.090 no Médio Tejo e 240.832 na Lezíria do Tejo. A densidade populacional média para a região era de 92 habitantes por km^2. No entanto, a análise do mesmo indicador ao nível sub-regional evidencia uma grande heterogeneidade. O Oeste é a sub-região mais densamente povoada, com 153 habitantes por km^2, enquanto que a Lezíria do Tejo é a que apresenta a menor densidade, com apenas 56. O Médio Tejo fica sensivelmente a meio termo, registando um valor na ordem dos 98 habitantes por km^2.

Esta não é uma região particularmente densa em termos do seu povoamento, senão vejamos: A densidade populacional do OVT é mais baixa do que a média de Portugal Continental, que

---

[51] IGP – *Carta de Portugal Continental à escala 1:500.000*.

[52] ICNB, http://portal.icnb.pt, [consulta: Dezembro de 2008].

[53] Nesta tipologia podem encontrar-se quer os sistemas litorais de arriba quer os de praia-arriba (Zêzere *et al.* 2008).

[54] Dada a natureza menos rigorosa das estimativas relativamente aos censos, serão usados os valores do censo de 2001 como referência para este enquadramento.

ronda os 110 habitantes por km^2. Comparando o OVT com outras regiões densamente povoadas do país é possível percepcionar o grau de disparidade: a Área Metropolitana de Lisboa (NUTS3 Grande Lisboa e Península de Setúbal) tinha uma média de 976 habitantes por km^2, a NUTS3 Grande Porto 362 e mesmo a NUTS3 Pinhal Litoral, imediatamente a Norte do OVT, registava um valor de 144. Os concelhos mais populosos da região são Torres Vedras (72.250 residentes), Santarém (63.563) e Alcobaça (55.376). Devem ainda assinalar-se os concelhos de Caldas da Rainha, Ourém, Tomar e Abrantes, todos eles com um número de residentes que oscila entre 40 e 50 mil. Contudo, as maiores densidades populacionais concelhias registam-se no Entroncamento e em Peniche (figura 25a).

Um outro dado interessante tem que ver com o número de edifícios existentes. Em 1991 foram contabilizados pelo INE 298.739 edifícios e, em 2001, o número ascendia a 326.889. Entre os dois momentos, o aumento de mais de 28 mil edifícios correspondeu a um crescimento na ordem dos 8,6%. Tendo em consideração a taxa de crescimento do número de residentes para o mesmo intervalo de tempo (4,6%), constata-se que a evolução do número de edifícios superou consideravelmente o correspondente crescimento demográfico.

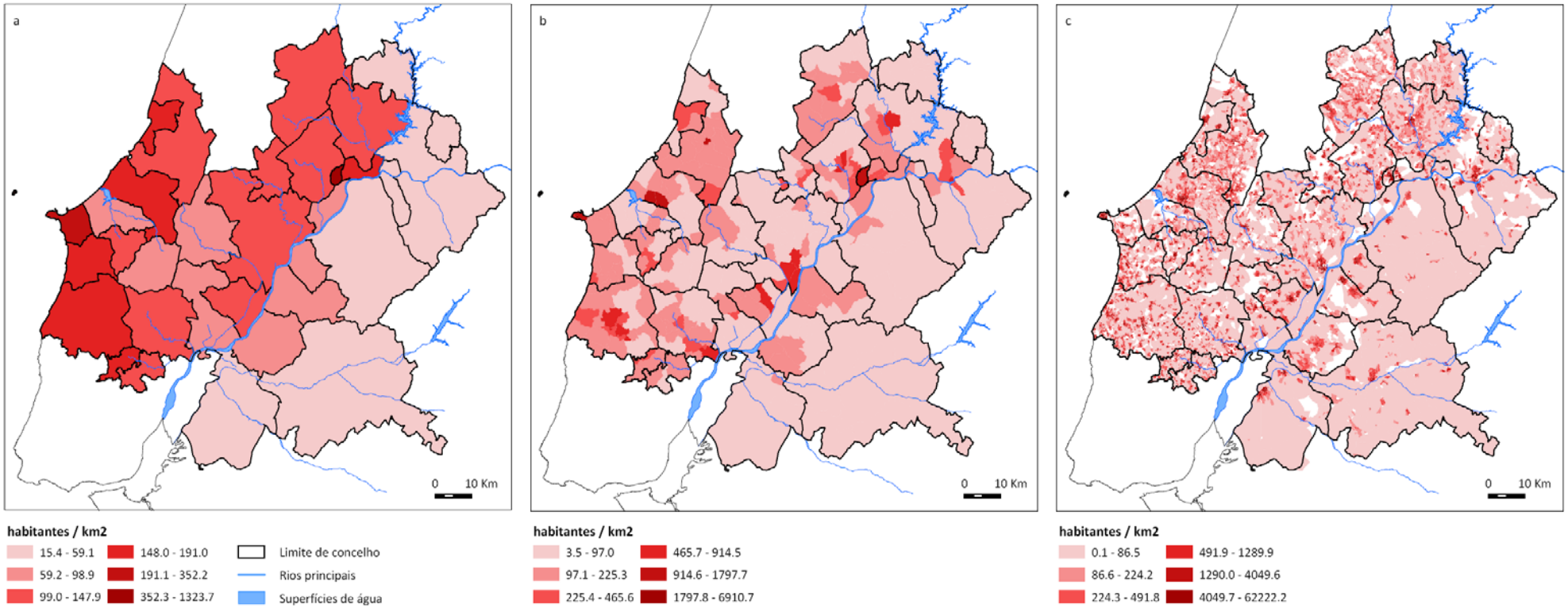


Figura 25. Densidade populacional no OVT, 2001: (a) Por concelho. Classificação: *Natural breaks*; (b) Por freguesia. Classificação: *Natural breaks*; (c) Por subsecção. Classificação: Quantis. Fontes: INE, IGP.

O OVT é atravessado por importantes eixos rodoviários, de importância nacional e regional. A A1, que liga Porto e Lisboa atravessa, na direcção N-S, toda a região OVT, com nós em Aveiras, Cartaxo, Santarém, Torres Novas e Fátima. No nó para Torres Novas é feita a ligação entre a A1 e a A23, que atravessa o Médio Tejo, no sentido O-E, até Abrantes, seguindo para Castelo Branco. A A8 liga Lisboa a Leiria, atravessa a sub-região Oeste paralelamente à A1 e passa por Torres Vedras, Caldas da Rainha e Alcobaça. A A15 estabelece ligação entre os eixos A1 e A8 (Caldas da Rainha-Santarém). Ainda no que respeita a auto-estradas, de referir a A13, que estabelece a ligação entre a A1, em Santarém, e outras importantes vias existentes a Sul, como a A10 (Bucelas-Carregado), a A6 (Marateca-Caia) e a A2 (que segue em direcção ao Algarve). O OVT conta ainda com a travessia da linha ferroviária do Norte, que liga Lisboa e Porto, assim como a linha do Oeste, que se encontra, todavia, bastante desqualificada. A construção de um novo aeroporto internacional previsto para Alcochete, no limite Sul da Lezíria do Tejo, é um factor que deverá, futuramente, determinar novas dinâmicas socioeconómicas e urbanas, particularmente no sul da região.

O OVT, numa posição próxima mas periférica à Área Metropolitana de Lisboa, é caracterizado por um sistema urbano de carácter polinucleado, onde emergem um conjunto de centralidades urbanas que constituem a ossatura fundamental do sistema. O seu desenvolvimento é, em parte, subsidiário das dinâmicas existentes a sul, na AML, que cresceu tendo como modelo um processo de metropolização de carácter intensivo e marcado por uma força residencial, de actividades e de infra-estruturas essencialmente na sua parte central. O sistema polinucleado é, todavia, desarticulado por processos extensivos de difusão do povoamento, que ora cria coalescências (geralmente suportadas por eixos rodoviários) ora espaços fragmentados, dispersos e, quase sempre, sem uma identidade verdadeiramente urbana, "sobretudo nos concelhos de Caldas da Rainha, Alcobaça e Rio Maior, Fátima-Ourém, no litoral e em alguns territórios de maior proximidade metropolitana" (Marques *et al.* 2008: 15).

> *O Oeste e Vale do Tejo encontra-se num momento de transição, entre um modelo urbano estruturado por Lisboa e a possibilidade de incrementar a sua competitividade e complementaridade com Lisboa, aproveitando o novo enquadramento nas redes de equipamentos, acessibilidades e de transportes. As dinâmicas territoriais do Oeste e Vale do Tejo têm em boa parte resultado da sua crescente proximidade face a Lisboa. As novas condições de acessibilidade têm favorecido a consolidação do sistema urbano existente e criam as condições para a construção de um modelo territorial mais articulado e organizado* (Marques *et al.* 2008: 17).

O mapa dos Padrões da Ocupação do Solo do OVT, elaborado no âmbito do PROT-OVT (Rego *et al.* 2008), revelou, em termos da ocupação humana do território, estruturas de mancha edificada muito diversificadas. Áreas edificadas compactas emergem nos centros urbanos consolidados da região, como é o caso de sedes de concelho e algumas sedes de freguesia. Estes centros surgem em muitos casos coroados e complementados por manchas edificadas do tipo disperso ou fragmentado (geralmente áreas não consolidadas), frequentemente bastante extensivas, pouco infra-estruturadas e deficientemente inseridas no contexto urbano e até geográfico. As sub-regiões Oeste e Médio Tejo são férteis em povoamentos do tipo linear, contínuo e descontínuo, seguindo alinhamentos determinados por eixos rodoviários (como estradas nacionais, regionais e municipais). A existência de grandes vazios demográficos (espaço rústico) – mais dominantes na Lezíria do Tejo – é pontuada com núcleos ou aglomerações rurais, geralmente de grande compacidade e consolidação e, no entanto, de dimensão heterogénea. É neste contexto de descaracterização do espaço urbano, com o crescimento de espaços edificados não planeados e dispersos, que se tem levantado a questão da sustentabilidade deste modelo de povoamento sob vários primas: o energético, o funcional, o económico, o ambiental.

Em suma, o OVT é uma região de charneira, situada no centro do país, bem localizada e conectada, dotada de centros logísticos e com perspectivas de desenvolvimento decorrentes de grandes projectos nacionais. É uma região com recursos naturais, com grande potencial agrícola, turístico e energético. É, todavia, uma região que vive ainda muito em função das dinâmicas da AML, que tanto a pode impulsionar como sufocar e subalternizar. A falta de dimensão demográfica, a ainda débil estruturação do sistema urbano e o desordenamento dos espaços edificados, marcados pela desqualificação e descaracterização, são algumas ameaças com que esta região se defronta.

4.1.3 Diagnóstico dos problemas das unidades de enumeração estatística e administrativa no OVT

Foi já referido que um dos problemas dos zonamentos normativos é a grande heterogeneidade das unidades poligonais. Referiu-se ainda que essa grande heterogeneidade impede uma boa comparação entre unidades, pondo em causa a validade dos mapas coropletos da densidade populacional como forma de representar a distribuição, já que a construção do índice é feita em função da área.

O quadro 4 comprova, formalmente, a grande heterogeneidade areal existente nos zonamentos administrativos e censitários na área de trabalho. Com efeito, quanto mais desagregado é o zonamento, maior é a heterogeneidade das unidades. Se o coeficiente de variação á é bastante grande ao nível do zonamento concelhio, veja-se então a mesma estatística para as subsecções, que se cifra na ordem dos 800%.

Quadro 4. Estatísticas básicas sobre a área das unidades de colecta de dados na área de trabalho.

	Unidades	**Mínimo**	**Máximo**	**Amplitude**	**Média**	**Desvio Padrão**	**Coeficiente Variação**
	N.º	**Área em km^2**					**%**
Concelhos	33	13,7	1115,7	1102	266,7	238,4	89,4
Freguesias	313	0,7	346,6	345.9	28,1	38	135,2
Secções	1.331	0,0101	199,6	199,6	6,6	12,7	192,4
Subsecções	27.520	0,0001	119,3	119,3	0,3	2,4	800

Por outro lado, há ainda a referir o facto do zonamento à subsecção, apesar das maiores escala e desagregação, apresentar inconsistências com a distribuição espacial do edificado e, portanto, da população, não constituindo assim unidades homogéneas de distribuição dessas variáveis. Isto deve-se, naturalmente, ao facto das subsecções terem sido concebidas e desenhadas sobretudo por motivos de planificação da colecta de dados no terreno.

As figuras 26 e 27, referentes a duas áreas seleccionadas no interior da região OVT, evidenciam as inconsistências espaciais existentes entre os limites das subsecções e as áreas edificadas.

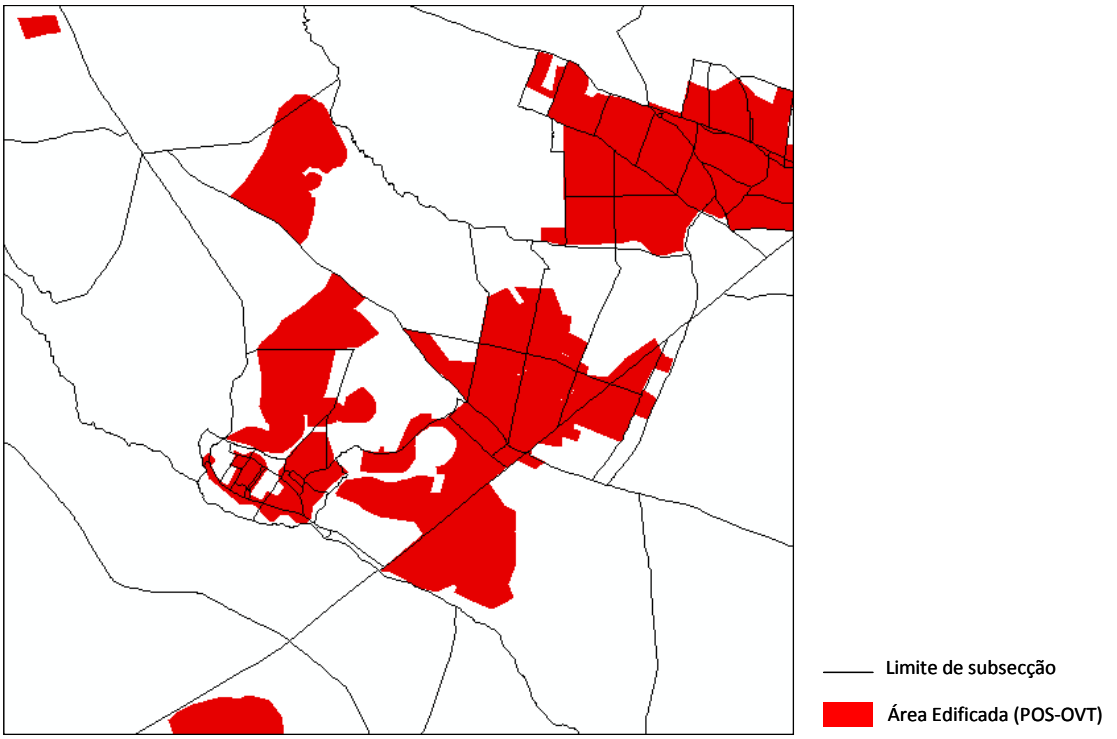


Figura 26. Inconsistências espaciais entre o zonamento das subsecções da BGRI e as áreas edificadas identificadas na carta POS-OVT.

Figura 27. Inconsistências espaciais entre o zonamento das subsecções da BGRI e a realidade do território edificado. Fontes: BGRI (2001) e ortofotomapa do IGP.

4.2 Produção de modelos cartográficos matriciais da população e do edificado

4.2.1 Esquema metodológico de trabalho

Tal como foi mencionado no capítulo introdutório desta dissertação, o objectivo final do trabalho é a produção de dois modelos digitais, da população e do edificado, para o OVT, recorrendo à metodologia da cartografia dasimétrica.

Para se atingir tal objectivo, foi definido um esquema metodológico de trabalho que determinou a sequência global de passos e procedimentos a seguir. Partiu-se do pressuposto que o esquema metodológico deveria obrigatoriamente incluir o teste e a avaliação de variantes à metodologia dasimétrica, que viesse a determinar escolha da variante a utilizar para a produção dos modelos finais. Definido o esquema metodológico de trabalho, outras decisões tiveram de ser tomadas no sentido de se definirem as linhas orientadoras do trabalho. As decisões tomadas estão relacionadas com:

- A escolha da resolução espacial dos modelos produzidos;
- A escolha das variantes técnicas à metodologia dasimétrica;
- A escolha da forma de avaliar os modelos.

Esquema metodológico de trabalho[55]

1) A primeira etapa consistiu na aquisição e tratamento de informação geográfica e alfanumérica de partida. Nesta etapa reuniu-se a informação necessária às etapas seguintes, de que se destaca:

- Informação geográfica para a modelação (zonas de origem)
    - Limites das zonas censitárias, secções e subsecções (BGRI do INE)
- Informação geográfica auxiliar para a modelação (zonas de destino)
    - Cartas de ocupação do solo (CLC 2000 e POS-OVT)
    - Edifícios à escala 1:10.000 (IGP)
- Informação geográfica complementar

[55] Ver figura 28 da página 93.

- Limites dos zonamentos administrativos, regiões, concelhos, freguesias (CAOP versão 2008 do IGP)
- Informação fisiográfica (rios, superfícies de água, altimetria)
- Outra informação (rede viária e ferroviária)

- Informação alfanumérica para a modelação
  - Número de residentes por concelho, freguesia, secção e subsecção
  - Número de edifícios por concelho, freguesia, secção e subsecção

Alguma da informação listada necessitou de tratamentos prévios, como por exemplo: extracção dos edifícios a partir de ficheiros CAD e sua posterior conversão para formato SIG vectorial; corte (*clip*) de informação pela área de estudo; dissolução ou agregação (*dissolve*) de unidades poligonais para a obtenção de limites administrativos (concelhos e regiões a partir de limites de freguesia); associação (*join*) entre bases (geo)gráficas e alfanuméricas através da codificação do INE[56].

2) A informação foi reunida e organizada numa base de dados geográfica em SIG, tendo sido adoptado um sistema de coordenadas comum a toda a informação: Hayford-Gauss Militar, *Datum* Lisboa.

3) No conjunto de dados geográficos reunidos distingue-se a informação relativa às zonas de origem e a relativa à informação auxiliar. A intersecção de ambas constitui as zonas de destino. As zonas de origem utilizadas para a etapa 4 foram as secções estatísticas da BGRI. Os dados auxiliares reunidos consistem em informação sobre a ocupação do solo e a localização dos edifícios com função residencial. Um dos aspectos diferenciadores dos modelos experimentais produzidos é a informação auxiliar utilizada para desagregar os dados originais.

4) O processo de modelação consiste na interpolação zonal de tipo dasimétrico. Este contemplou a produção de seis modelos matriciais para a distribuição espacial da variável populacional e três modelos matriciais para a variável do edificado. Cada modelo (MDPX e MDErX) é criado com base num zonamento de origem comum: as secções da BGRI. O zonamento de destino é também comum: uma superfície matricial semi-contínua com a resolução de 30 metros. Contudo, a informação auxiliar utilizada para gerar essa superfície

[56] Cada unidade administrativa ou censitária, do distrito à subsecção, é representada por um código unívoco. O código é construído por um processo de concatenação sucessiva de códigos de unidades. Por exemplo, código de concelho é composto por quatro algarismos, dois referentes ao distrito e dois referentes ao concelho; o código de freguesia é composto por seis algarismos, dois do distrito, dois do concelho e dois da freguesia (frequentemente referido como DTCCFR ou DDCCFF), e assim sucessivamente.

varia de modelo para modelo. O objectivo foi avaliar a eficácia de diferentes bases geográficas auxiliares no processo de interpolação zonal dasimétrica. Foram usadas classes da CLC 2000 e da POS-OVT, assim como os Edifícios Residenciais de cartografia topográfica à escala 1:10.000 (ER10k). Outras diferenças técnicas de modelação foram consideradas na produção dos modelos (quadro 5).

5) Produzidos os modelos, foi necessário sujeitá-los a uma avaliação de qualidade. O modelo de avaliação proposto consiste numa análise de correlação modelo-realidade, em que os dados produzidos no modelo são comparados com dados reais à subsecção, sendo derivados vários indicadores estatísticos. A cada modelo corresponde uma ficha onde se compilam os indicadores estatísticos. A análise dos indicadores permite aferir quais os modelos mais precisos, isto é, os que aderem melhor à realidade conhecida.

6) Uma análise de variância (ANOVA) foi efectuada para determinar a existência de diferenças significativas entre os modelos. Valores de erro quadrático médio normalizados são os dados de *input* desta análise.

7) A ANOVA destinou-se a confirmar se, para cada variável modelada, o modelo mais acurado é ou não significativamente diferente dos restantes. Com base nessa informação, é então usada a metodologia correspondente para a produção dos modelos finais de distribuição da população e dos edifícios. A modelação final das duas variáveis distingue-se da experimental pelo facto de usar as subsecções como zona de origem.

8) Os modelos produzidos foram utilizados num conjunto de três diferentes aplicações, com vista a demonstrar a sua utilidade. Esta etapa será abordada em pormenor no capítulo 5.

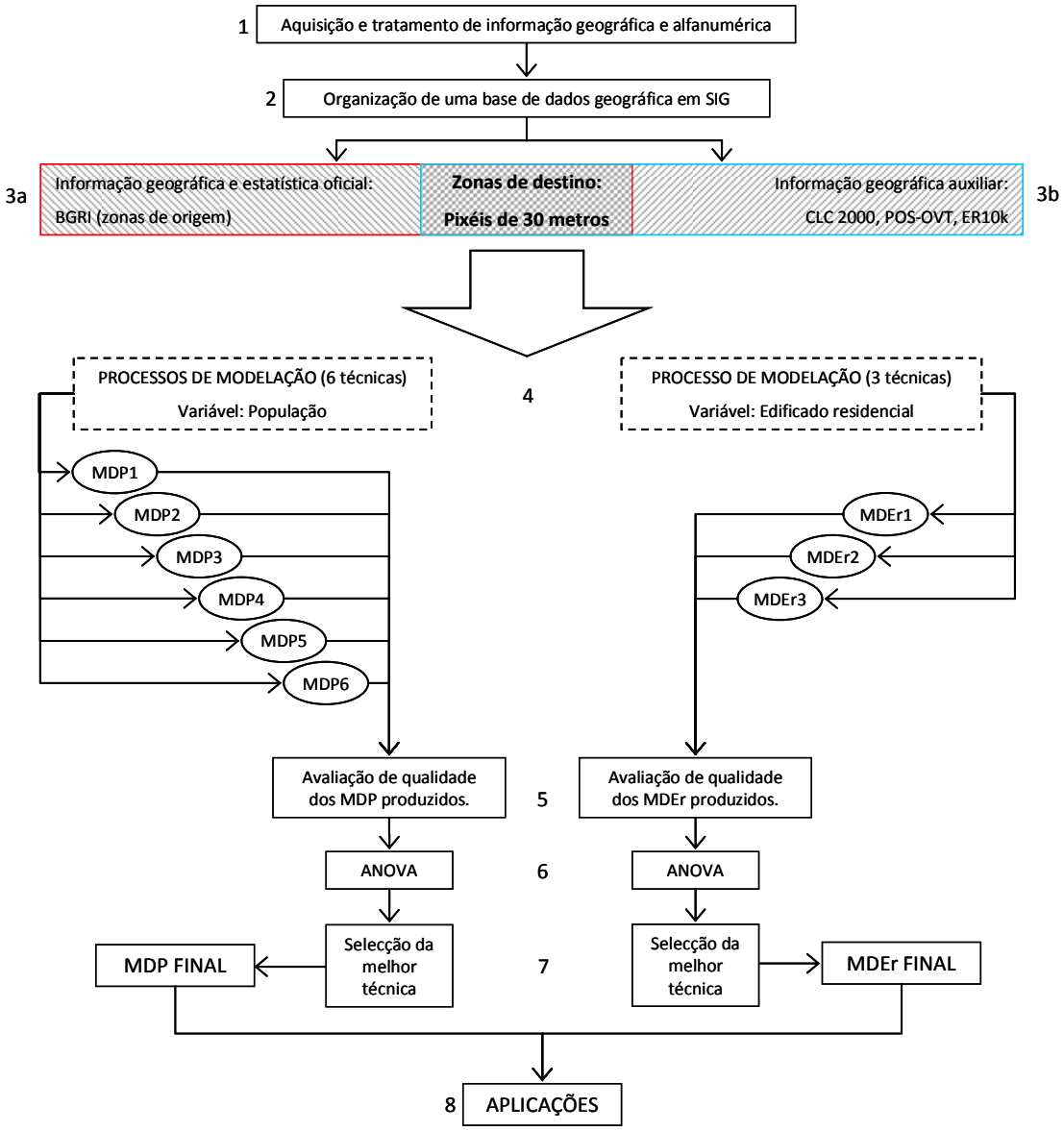


Figura 28. Esquema metodológico de trabalho.

Escolha da resolução espacial dos modelos produzidos

Resolução é o nível de detalhe dos dados espaciais (Slocum *et al.* 2009: 428). Uma menor resolução, ou resolução mais grosseira, equivale a uma maior incerteza relativamente à posição e/ou valor do atributo representado. A resolução é um conceito frequentemente utilizado para os modelos de dados matriciais, estando directamente relacionada com o tamanho do pixel/célula da matriz. Quanto maior a dimensão do pixel, menor a resolução e vice-versa.

A determinação do tamanho do pixel para uma dada aplicação é sempre uma solução de compromisso entre o adequado grau de resolução espacial e o tamanho dos ficheiros digitais.

A resolução espacial está relacionada com dois aspectos fundamentais. Por um lado, a escala a que se pretende projectar o produto final, quando impresso, ou a escala máxima admissível de visualização num ecrã. Por outro, a natureza dos dados de *input*, isto é, os dados de entrada que servem para a produção do modelo. O tamanho dos ficheiros digitais tem implicações na capacidade de armazenamento, assim como na rapidez de visualização, análise e processamento da informação. Quanto menor a dimensão do pixel, maior a resolução espacial, mas maior também a quantidade de espaço necessária ao armazenamento do ficheiro. Deste modo, numa solução de equilíbrio, o pixel ou célula deve ser suficientemente pequeno para capturar o detalhe pretendido e, simultaneamente, suficientemente grande de forma a permitir eficiência na análise e processamento da informação.

Por todos os aspectos assinalados, a escolha da resolução espacial é um tópico de grande importância na modelação, devendo ter-se em conta quer o detalhe da informação de *input* – já que nenhum modelo pode ser mais preciso do que os dados de *input*[57] – quer as aplicações destinadas ao modelo produzido.

Neste trabalho, foi adoptada a resolução de 30 metros para a modelação das duas variáveis, o que significa que o pixel tem 30 metros de lado. A área representada por um pixel é de 30 x 30, ou seja, 900 m^2, a que se associa um valor – atributo – relativo ao número de residentes ou número de edifícios. Tendo em conta o carácter regional deste trabalho, a resolução escolhida revelou-se bastante adequada, permitindo um detalhe e precisão posicional com interesse até para escalas de análise e visualização consideravelmente maiores (escalas municipal e local), e um processamento de informação relativamente rápido.

A dimensão dos ficheiros tornou-se, todavia, um aspecto menos positivo, pois a multiplicação de ficheiros matriciais no processo de modelação exigiu uma grande quantidade de espaço de armazenamento[58].

[57] Por esse motivo, devem ser evitadas situações em que a resolução matricial do modelo é superior ao nível de detalhe da informação de *input*. Este tipo de situações resulta em aumento da memória necessária para armazenar a informação do modelo, sem que haja qualquer ganho de qualidade.

[58] Foram necessários, aproximadamente, 15 Gb.

Variantes técnicas à metodologia dasimétrica

Neste trabalho parte-se da abordagem metodológica da cartografia dasimétrica em termos genéricos para, depois, construir modelos alternativos. Nesse sentido, os seguintes aspectos são comuns a todos os modelos:

- Modelo final em formato matricial com a resolução espacial de 30 metros;
- Zonas de origem: censitárias (secções da BGRI);
- Zonas de destino: pixéis onde se prevê a existência de povoamento e edificado com função residencial, deduzidas com base em informação geográfica auxiliar;
- Zonas de exclusão: todas as áreas onde se prevê uma ocorrência nula da variável.
- Utilização de um método empírico para determinar a densidade relativa entre as diferentes zonas de destino/classes da informação auxiliar. De entre os três métodos de amostragem propostos por Mennis e Hultgren (2006), o adoptado foi o "*containment*", modificado[59].

Definidos os aspectos comuns a todos os modelos, importa levantar as questões que devem ser objecto de estudo mais pormenorizado. Nesse sentido, duas principais linhas de investigação foram traçadas:

- As implicações da utilização de diferentes informações auxiliares na qualidade da modelação;
- As diferenças existentes na qualidade dos modelos produzidos com recurso ao Mapeamento Dasimétrico Binário (MDB) e ao Mapeamento Dasimétrico Inteligente (MDI).

Para clarificar a primeira questão, foram testadas diferentes bases auxiliares para desagregar os dados originais por secção:

- Carta Corine Land Cover 2000 (CLC 2000);
- Carta dos Padrões de Ocupação do Solo do OVT (POS-OVT);
- Edifícios residenciais à escala 1:10.000 (ER10k).

A escolha da CLC 2000 prendeu-se com a sua utilização em diversos trabalhos europeus de desagregação de indicadores socioeconómicos (ex.: Gallego e Peedell 2001). O facto de ser a cartografia de ocupação do solo mais usada e conhecida na Europa também pesou na decisão (MDP1). A carta POS é, tal como a CLC, uma carta de ocupação do solo, mas com um detalhe e uma escala de referência bastante maiores. Além disso, esta carta possui informação

[59] Este assunto será objecto de maior atenção ainda neste capítulo.

qualitativa diferente, com destaque para uma desagregação das classes da ocupação edificada mais numerosa. Enquanto que a CLC só tem duas classes de mancha urbana edificada (tecido urbano contínuo e tecido urbano descontínuo), a POS possui treze. Interessava, portanto, determinar se a utilização de uma carta com as características da POS no processo de interpolação permitia ganhos substantivos na modelação da distribuição da população e do edificado (MDP3, MDP4, MDP5; MDEr2). Por fim, a escolha do edificado residencial, extraído de cartas topográficas do IGP à escala 1:10.000, representa, face a qualquer uma das informações anteriores, um salto muito grande no grau de detalhe, dada a maior correlação prevista entre as variáveis a modelar e a informação auxiliar (MDP2, MDP6; MDEr1, MDEr3).

No que respeita à segunda questão, o teste dos dois tipos de interpolação dasimétrica (MDB e MDI) foi feito, quer para a desagregação que usa a POS, quer para a que usa o ER10k. A comparação entre os modelos MDP3/MDP4-MDP5 e MDP2/MDP6 permitirá esclarecer as diferenças impressas no processo de modelação pelos tipos de mapeamento binário e inteligente.

A utilização de diferentes regiões de seccionamento da amostragem foi também alvo de teste. Ambos MDP4 e MDP5 foram modelados com MDI utilizando a POS para desagregar informação. No entanto, diferem na forma de seccionar a amostragem. No MDP4, as densidades das classes da POS foram estimadas por amostragem seccionada nas três NUTS3, enquanto que no MDP5 o OVT é dividido em duas regiões "morfológicas" com base num limiar de densidade populacional por freguesia (100 habitantes por Km^2).

Todas as variantes ao método dasimétrico foram testadas apenas para a modelação da variável da população residente (seis modelos). Por limitações de tempo, a modelação da variável do edificado foi restrita apenas a três variantes[60].

O quadro 5 resume as características da interpolação zonal utilizadas para a produção de cada modelo.

[60] Como se demonstrará mais à frente neste capítulo, as melhores variantes para modelar a distribuição da população são também as melhores para modelar a distribuição do edificado, assim como as piores variantes metodológicas para modelar a população são igualmente más para modelar o edificado. Assim, o menor número de testes efectuados para modelar a variável edificado não prejudicou o estudo nem limitou a aceitação das suas conclusões.

Quadro 5. Diferenças técnicas para a produção dos modelos digitais da população e do edificado

Modelo	Variável	Zonas de origem	Fonte da informação auxiliar	Cartografia Dasimétrica		Regiões de amostragem de densidade
				Inteligente	Binária	
MDP1	Número de residentes	Secções da BGRI (INE)	Corine Land Cover	X		3 NUTS3
MDP2			Edificado residencial 1:10.000		X	Não se aplica
MDP3			Padrões de Ocupação do Solo		X	Não se aplica
MDP4			Padrões de Ocupação do Solo	X		3 NUTS3
MDP5			Padrões de Ocupação do Solo	X		1) freguesias < 100hab/km^2 2) freguesias > 100hab/km^2
MDP6			Edificado residencial 1:10.000	X		3 NUTS3
MDEr1	Número de edifícios		Edificado residencial 1:10.000		X	Não se aplica
MDEr2			Padrões de Ocupação do Solo		X	Não se aplica
MDEr3			Edificado residencial 1:10.000	X		3 NUTS3

Validação dos modelos

Um modelo cartográfico é uma representação da realidade que não está isento de erros e incertezas. A interpolação zonal enquadra-se neste pressuposto. Os erros introduzidos durante a interpolação podem ser propagados nas análises subsequentes, com impacto para o processo de decisão (Liu e Liu 2008). Daqui decorre a necessidade de validar os modelos produzidos. A qualidade de um modelo pode ser aferida pela diferença entre os dados do próprio modelo e os dados da realidade conhecida, quando existem. A esta diferença dá-se o nome de erro[61].

Na fase 4 do esquema metodológico de trabalho são produzidos diferentes modelos para a mesma variável. Todos esses modelos têm em comum as zonas de origem utilizadas: secções da BGRI. O nível mais desagregado da BGRI, as subsecções, foi guardado para ser utilizado como situação de referência para avaliar a aderência dos modelos à realidade conhecida. Deste modo, para a determinação do erro, foi usada informação mais desagregada do que a utilizada para produzir o modelo.

Concretamente, esta validação procede-se pela agregação e somatório das distribuições modeladas por subsecção e pela sua comparação com o respectivo valor real conhecido.

[61] Outros dão o nome de resíduo, também muito frequente na literatura.

Tendo, para cada subsecção, o valor real e o estimado pelo modelo, é possível calcular o erro e outras estatísticas derivadas. Essas estatísticas, calculadas para cada modelo, permitiram quantificar formalmente o seu grau de qualidade, possibilitando desde logo fazer sobressair o modelo que melhor se ajusta à realidade. Os instrumentos e indicadores seleccionados para a análise estatística foram:

- Gráfico de dispersão (*scatter plot*) e R^2 (Anexos 1 e 3);
- Histograma da distribuição dos erros (Anexos 2 e 4);
- Erro Quadrático Médio (*Root Mean Square Error* – (RMSE));
- Erro absoluto médio;
- Coeficiente de correlação;
- Percentis 5 e 95 da distribuição dos erros.

Esta abordagem – modelo-agregação-comparação – é comum na avaliação de qualidade de interpolações zonais. Gallego e Peedell (2001), Eicher e Brewer (2001) e Mennis e Hultgren (2006) utilizaram-na fazendo referência a prévios trabalhos de investigação. No seu trabalho, Freire (2007b) seguiu igualmente a mesma abordagem. Liu e Liu (2008), num artigo dedicado inteiramente à aferição do rigor das interpolações zonais, constatam:

> *For most studies, only the population of source zones is known. Under such circumstances, the typical approach is to aggregate the interpolation result to the source zone level and compare it with the corresponding census data. The result is summarized by various statistics, such as the correlation coefficient between estimated and observed values, the Root Mean Square Error (RMSE), and the mean absolute error (MAE). In addition to accuracy assessment at the source zone level, another method is to create 'artificial' target zones with known population and test the disaggregation method repeatedly. Openshaw discussed this idea conceptually and proposed an implementation based on Monte Carlo simulation.*

Com o objectivo de determinar a existência de diferenças significativas entre vários modelos populacionais, Mennis e Hultgren (2006), seguindo a mesma abordagem de Eicher e Brewer (2001), recorreram a uma análise de variância (ANOVA). Pela relevância e utilidade desta abordagem no âmbito da avaliação de diferentes dos modelos, a ANOVA foi também incorporada no presente estudo, seguindo a proposta daqueles investigadores. A ANOVA incidiu sobre os valores de RMSE calculados para cada zona de origem (secção), normalizados pelo respectivo valor populacional conhecido, resultando um coeficiente de variação (CV). Mais à frente serão descritos os pormenores deste procedimento.

4.2.2 Informação geográfica utilizada

Neste tópico será descrito, com um maior detalhe, a natureza e as principais características dos três tipos de informação geográfica utilizada para auxiliar a interpolação zonal: CLC 2000, POS-OVT e ER10k.

Corine Land Cover 2000[62]

A CLC é uma base de dados geográfica com a delimitação da ocupação e (em parte) do uso do solo para a Europa que decorre de uma proposta da Comissão Europeia, surgida em 1985, no sentido de colmatar a lacuna existente ao nível da informação sobre a cobertura dos solos europeus. Entre 1985 e 1990, foram desenvolvidas metodologias e nomenclaturas a adoptar pelos produtos CLC. Uma primeira versão da CLC foi produzida para o ano de referência de 1990, para 13 países. A partir de 2000 foram lançados os trabalhos conducentes à actualização da CLC 90, surgindo assim a CLC 2000 com informação de referência para o ano 2000. Actualmente, o organismo responsável por estas bases geográficas é a Agência Europeia do Ambiente (EEA) (Lima 2005).

A CLC 2000 descreve a ocupação do solo de acordo com uma nomenclatura baseada em 44 classes de ocupação do solo organizadas hierarquicamente em três níveis. O primeiro nível contém 5 classes correspondentes às principais categorias de ocupação do solo (áreas artificiais, agrícolas, florestais e semi-naturais, húmidas e superfícies de água). Este nível é desagregado em 15 classes que especificam a ocupação com maior detalhe descritivo. Por exemplo, a classe do primeiro nível "áreas florestais e semi-naturais" é subdividida em Florestas, vegetação arbustiva e herbácea e áreas com pouca ou nenhuma vegetação. Por fim, o terceiro nível desagrega as 15 classes do nível 2, num total de 44 classes.

A CLC foi elaborada com base em interpretação visual de imagens de satélite (Spot, LandSat TM e MSS). Dados auxiliares, como fotografias aéreas, cartografia topográfica, bases alfanuméricas e conhecimento empírico, foram usados para refinar a interpretação e melhor classificar as áreas de acordo com a nomenclatura adoptada (Rase 2001: 23). Outro aspecto metodológico é o facto da CLC representar entidades relativamente estáveis no tempo,

[62] Para uma descrição completa, com especificações técnicas e metodologias de elaboração do produto cartográfico Corine Land Cover 2000 em Portugal, ver Painho, M. e Caetano, M. (coord.) (2006) – *Cartografia de ocupação do solo: Portugal continental, 1985-2000: CORINE Land Cover 2000*. Instituto do Ambiente. Amadora.

deixando de parte variações diárias, como as marés, ou variações sazonais, como ciclos da vegetação (Lima 2005: 86). A escala adoptada foi de 1:100.000, e o produto final captura apenas elementos físicos com uma área de pelo menos 25 hectares. Quanto aos elementos lineares, são apenas representados aqueles com uma largura mínima de 100 metros (Lima 2005: 86).

A relevância da CLC ao nível europeu é bem enfatizada por Lima (2005: 9):

> *Today, CLC is recognised by decision-makers as a key reference data set for spatial and territorial analysis at different territorial levels. Within the European Commission Services as well as the EEA and its European Topic Centres (ETCs), there is a growing need to use spatial analysis for integrated environmental assessment.*

A CLC foi apenas usada na produção do MDP1. No respectivo processo de modelação foram usadas as classes CLC espectáveis de conter ocupação humana. Nesse sentido, após uma inspecção visual, feita pela sobreposição da carta CLC a cartografia militar à escala 1:25.000 e aos ortofotomapas do IGP de 2005 e 2006, optou-se por seleccionar as seguintes classes:

- 111 – Tecido urbano contínuo
- 112 – Tecido urbano descontínuo
- 121 – Indústria, comércio e equipamentos gerais
- 2XX – Agricultura (excepto arrozais: 213)

Apesar de outros autores as usarem (Gallego e Peedell 2001), as classes florestais (3XX) não foram consideradas neste trabalho. As classes relativas a áreas húmidas (4XX) e as superfícies de água (5XX) também não foram usadas para distribuir a população. Às classes seleccionadas foram ainda subtraídas as subsecções com população igual a zero. As áreas resultantes constituíram a informação auxiliar final que informou a interpolação zonal que veio a dar origem ao MDP1.

A utilização da CLC para um mapeamento dasimétrico de grande escala impunha-se neste trabalho numa perspectiva comparativa. Importava determinar em que grau os resultados da interpolação zonal que recorre à CLC se distanciam ou não de interpolações zonais que usam informação auxiliar de escala bastante superior, como a POS e o ER10k.

O aspecto mais positivo da CLC para o exercício de modelação que se fez foi a sua grande concordância temporal com os dados estatísticos a modelar. Existe apenas um ano de diferença entre a informação da CLC (2000) e a informação relativa à população e edificado

(2001). A concordância temporal entre dados a modelar e informação auxiliar é um aspecto importante na cartografia dasimétrica.

Padrões de Ocupação do Solo da Região Oeste e Vale do Tejo

A cartografia POS-OVT foi produzida entre 2006 e 2007 no âmbito da elaboração do PROT-OVT e tem a escala de referência 1:10.000. Esta cartografia foi elaborada em ambiente SIG com base na interpretação visual de ortofotocartografia de 2005 e 2006[63] do IGP à escala 1:5.000 (célula de 0,5 metros). Informação geográfica complementar foi utilizada durante a elaboração da cartografia, designadamente os limites administrativos da região (IGP), a rede hidrográfica principal, a toponímia e a carta de ocupação do solo de 1990 (COS 90).

A abordagem utilizada na construção desta carta assentou em princípios de ecologia da paisagem, "que enfatiza as relações entre espaços e usos, através das suas interacções, hierarquia, estrutura, funções e fluxos de energia. Foi assim efectuada a produção de uma cartografia cujos elementos se estruturam em matrizes, padrões e corredores, associados ao edificado, aos espaços agrícolas e florestais" (Rego 2008: 5).

A legenda adoptada para esta carta decorreu das características morfológicas e biofísicas da região, constituindo assim uma legenda muito específica para a região o OVT, em contraste, por exemplo, com a legenda CLC, que é padronizada para toda a Europa. A definição da legenda decorreu de uma análise prévia efectuada por amostragem, assim como do conhecimento existente sobre a região (Rego 2008: 9).

A legenda divide-se em dois níveis (classes e sub-classes). Foram consideradas 34 sub-classes/padrões de ocupação do solo, agrupados em 8 classes:

- Áreas edificadas (13 sub-classes);
- Infra-estruturas e equipamentos (4 sub-classes);
- Indústria Extractiva (1 sub-classe);
- Indústria, Comércio, Armazenagem e Logística (1 sub-classe);
- Áreas florestais (3 sub-classes);
- Áreas agrícolas (5 sub-classes);
- Áreas silvestres (5 sub-classes);
- Planos de água (2 sub-classes).

[63] Datas dos vôos.

A metodologia adoptada para a identificação e delimitação dos padrões dividiu-se em quatro fases, a saber:

- Fase 1: Impressão das fotografias aéreas por concelho, reconhecimento do território e ajuste da legenda;
- Fase 2: Foto-interpretação e digitalização dos padrões por concelho;
- Fase 3: Junção da informação por sub-região e verificação da coerência regional;
- Fase 4: Validação da informação.

Após uma prévia identificação e delimitação dos padrões, feita sobre uma transparência sobreposta às fotografias aéreas impressas à escala 1:10.000, destinada à apreensão da realidade do território, a digitalização foi feita em ambiente SIG, a escalas variáveis entre 1:10.000 e 1:5.000, produzindo polígonos vectoriais com uma tabela de atributos associada. A junção da informação por sub-região e, depois, para toda a região do OVT, teve o cuidado de salvaguardar "a coerência regional, sub-regional e inter-concelhia na aplicação da legenda ao nível das sub-classes de modo a garantir a qualidade e consistência da informação" produzida (Rego 2008: 7). A validação da informação incluiu a verificação das classificações com a realidade no terreno, através de saídas de campo, por áreas de amostragem.

A carta POS-OVT foi usada para produzir os modelos MDP3, MDP4, MDP5 e MDEr2. Dada a grande discriminação que as áreas edificadas mereceram nesta cartografia, com 12 sub-classes[64], optou-se por usar apenas essas classes para a produção dos modelos. No seu total, estas classes de área edificada ocupam 9,61% do território regional (Rego 2008: 12) e listam-se abaixo[65]:

- Áreas edificadas compactas (0,79% da área da região)
- Áreas edificadas fragmentadas (1,03% da área da região)
- Áreas edificadas dispersas (4,3% da área da região)
    - de baixa densidade (entre 3 e 10 edifícios / 25 hectares)
    - de média densidade (entre 10 e 25 edifícios / 25 hectares)
    - de alta densidade (entre 25 e 50 edifícios / 25 hectares)
- Áreas edificadas lineares (2,6% da área da região)
    - contínuas

[64] Para efeitos da modelação, excluiu-se a sub-classe "espaços vazios em construção", também pertencente à classe de áreas edificadas.

[65] Para uma descrição detalhada das características morfológicas de cada uma destas tipologias de área edificada, consultar Rego (2008).

    - descontínuas
- Áreas edificadas em espaço rústico (0,8% da área da região)
    - de baixa densidade (até 10 edifícios / 25 hectares)
    - de média densidade (entre 10 e 50 edifícios / 25 hectares)
    - de alta densidade (mais de 50 edifícios / 25 hectares)
- Áreas edificadas unifamiliares (0,07% da área da região)
- Áreas edificadas com golfe associado (0,11% da área da região)

A sobreposição entre áreas edificadas da carta POS as subsecções da BGRI 2001 permitiu identificar a existência de 723 subsecções sem qualquer área edificada identificada no seu interior. Estas subsecções correspondiam a um total de 7.616 residentes, quase 1% do total de residentes da região. Isto significa que as 12 sub-classes referentes ao edificado traduzem com bastante exactidão a distribuição da população, pois cobrem ou interseccionam subsecções representativas de 99% da população residente na região.

Apesar deste valor, optou-se por aumentar um pouco mais a cobertura populacional das classes de edificado, minimizando o erro decorrente aquando da modelação. Para este efeito, do total de subsecções não representadas com área edificada, seleccionaram-se aquelas com 10 ou mais habitantes (256 subsecções). Em cada um desses casos foram feitas correcções aos padrões do edificado da carta POS. Recorrendo aos mesmos ortofotomapas que serviram de base à sua elaboração, acrescentaram-se novos polígonos de edificado. Com este procedimento prévio, foi possível corrigir a ocupação edificada no interior de 238 subsecções, num total de 5.103 residentes – cerca de 67% da massa populacional inicialmente não representada. As áreas edificadas corrigidas da POS-OVT constituíram, assim, a informação auxiliar que deu origem aos modelos digitais da população 3, 4 e 5, e ao modelo do edificado residencial 2.

O aspecto menos positivo da utilização da POS-OVT para a interpolação zonal tem que ver com a fraca concordância temporal com os dados a modelar. A cartografia dos padrões da ocupação do solo refere-se a um momento 4 a 5 anos mais recente do que os dados da população e do edificado. A identificação de áreas edificadas, na carta POS, que não existiam na altura do Censo 2001 é um factor que introduz erro no processo de modelação.

Edificado residencial 1:10.000

Quando a maior parte dos trabalhos publicados sobre métodos dasimétricos para modelação da população recorriam a informação sobre a ocupação do solo ou a áreas artificializadas obtidas por meio de detecção remota, Langford (2007) sugeriu a utilização de informação sobre o próprio edificado. Este autor utiliza cartas de base à escala 1:50.000 em formato digital matricial (cartas analógicas digitalizadas) para seleccionar e extrair os edifícios cartografados, utilizando a distinta cor dos pixéis dos edifícios como forma de selecção/extracção. No trabalho desta dissertação, foi seguida a ideia de se usar o edificado, mas a sua obtenção partiu directamente de informação vectorial, e a uma escala superior.

O ER10k foi extraído da Série Cartográfica Nacional 1:10.000 – Modelo Numérico Topográfico (MNT), do IGP. Trata-se de uma cartografia topográfica em formato digital vectorial, especialmente vocacionada para integrar Sistemas de Informação Geográfica[66]. Apesar deste produto não cobrir a totalidade do território continental português, a região OVT encontra-se totalmente coberta. Esta cartografia foi elaborada com recurso a ortofotocartografia de 1997 para o Oeste e de 1999 para a Lezíria do Tejo e Médio Tejo[67].

> *A informação associada ao MNT encontra-se multicodificada e estruturada segundo os domínios seguintes: rede geodésica, limites, relevo, altimetria (2D e 3D), construções, estruturas de transporte e abastecimento, áreas de lazer e recreio, vias de comunicação, áreas agrícolas e florestais, hidrografia (2D e 3D), áreas diversas e áreas industriais. A codificação é feita através de códigos de 8 dígitos identificando domínio, Sub-domínio, Família e Objecto, que definem cada tipo de elemento univocamente no catálogo de objectos.*[68]

O ER10k foi recolhido do domínio "Construções", tendo sido seleccionados, para auxiliar a interpolação zonal, apenas os objectos listados no quadro 6:

Quadro 6. Objectos extraídos do Modelo Numérico Topográfico da Série Cartográfica Nacional 1:10.000 do IGP

Domínio	Sub-domínio	Família	Descrição do objecto	Código do objecto
Construções	-	-	Construções em geral	06 00 00 00
Construções	Habitações	Residenciais	Vivenda, casa	06 02 01 02

[66] IGP, http://www.igeo.pt/produtos/Cartografia/10K.htm [consulta: Outubro 2008].

[67] Datas dos vôos.

[68] Catálogo de metadados do SNIG, http://snig.igeo.pt [consulta: Outubro 2008].

A extracção da informação acima listada fundamentou-se, em primeiro lugar, na necessidade de recolher apenas os objectos directamente relacionados com as variáveis a modelar (população residente e número de edifícios). Uma análise mais detalhada da informação vectorial do MNT foi efectuada de modo a confirmar os objectos a extrair. Assim, sobrepôs-se a informação vectorial a ortofotomapas recentes (2005/2006) do IGP, confirmando visualmente a associação entre a descrição do catálogo dos objectos vectoriais (ou entidades) e a realidade do terreno. Esta verificação permitiu observar que muitos edifícios presumivelmente residenciais estavam classificados como "construções em geral". Esta falha na classificação dos objectos levou a que se optasse também por extrair as "construções em geral" de forma a incluir o maior número possível de edifícios residenciais, mesmo correndo o risco de se estar também a incluir objectos não residenciais. No entanto, todos os edifícios dos sub-domínios 01 (Edifícios públicos e oficiais), 05 (Edifícios industriais), 07 (Edifícios com outras utilizações), 08 (Instalações de apoio ao tráfego), 09 (Instalações destinadas ao abastecimento), 10 (Instalações destinadas a tratamento de resíduos), 11 (Instalações florestais), 12 (Instalações de recreio/repouso), 13 (Representações diplomáticas) e 14 (Edifícios em construção), foram devidamente excluídos, por não estarem correlacionados com as variáveis a modelar.

A informação vectorial extraída é do tipo linhas (ou poli-linhas), tendo sido contabilizados 1.918.605 objectos geométricos correspondentes aos limites das habitações residenciais ou das construções em geral. Esta informação informou os processos de interpolação zonal que deram origem aos modelos MDP2, MDP6, MDEr1 e MDEr3.

A forte correlação entre as variáveis a modelar e informação auxiliar – já que a população reside nos edifícios – fez prever que a utilização dos edifícios introduziria melhorias significativas na interpolação zonal, permitindo produzir modelos populacionais e do edificado mais exactos. O aspecto menos positivo do ER10k está relacionado com a não concordância temporal com os dados a modelar, sobretudo na sub-região do Oeste, onde a informação do edificado é 4 anos mais antiga do que os dados populacionais e do edificado. Consequentemente, áreas construídas entre 1997/99 e 2001 não estarão representadas nos modelos produzidos com base nesta informação, o que pode levar à perda de algum volume das variáveis originais.

4.2.3 Algoritmos utilizados

A desagregação da população e do edificado das secções para uma superfície matricial semi-contínua foi feita seguindo dois tipos principais de mapeamento dasimétrico: o Mapeamento Dasimétrico Binário (MDB) e o Mapeamento Dasimétrico Inteligente (MDI).

Como se já viu no capítulo 3, em ambos os tipos de mapeamento dasimétrico é utilizada informação auxiliar indicativa da localização do fenómeno a representar para desagregar informação colectada e armazenada ao nível de zonamentos censitários. A principal diferença entre MDB e MDI tem que ver com o facto do MDI considerar a existência de diferenças de densidade populacional nas classes/categorias da informação auxiliar utilizada. Pelo contrário, o MDB assume a distribuição uniforme da população por toda a informação auxiliar, pelo que o processo de interpolação zonal é função meramente da proporção de área ocupada pelas zonas de destino. Por esse motivo, os modelos resultantes serão necessariamente diferentes. A figura 29, e a explicação que se lhe segue, demonstram, para um caso hipotético, a forma como funcionam os dois tipos de interpolação zonal:

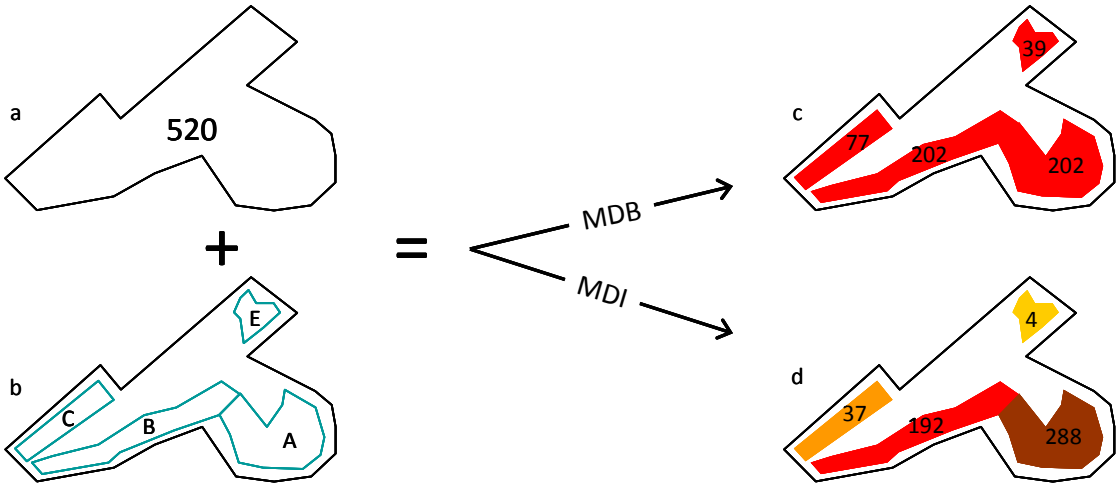


Figura 29. Tipos de Mapeamento Dasimétrico. (a) Unidade de enumeração hipotética com 520 residentes; (b) Classes de ocupação do solo hipotéticas existentes no interior da unidade de enumeração. (c) e (d) Modelos de distribuição da população produzidos por Mapeamento Dasimétrico Binário (c) e Inteligente (d).

Considere-se uma hipotética secção estatística *o*, com uma contagem de 520 residentes e informação auxiliar relativa à ocupação do solo para a mesma área, categorizada em 5 classes de áreas edificadas:

- A – Área edificada compacta
- B – Área edificada linear contínua
- C – Área edificada linear descontínua
- D – Área edificada em espaço rural
- E – Área de edificação dispersa

São conhecidos os valores de área ocupada/número de pixéis por cada polígono de ocupação do solo no interior da secção. A classe D não está representada nesta secção.

Problema: Pretende-se saber como está distribuída a população no interior da secção estatística, sabendo que a população está exclusivamente no interior das áreas edificadas.

Abordagem Binária (MDB)

Esta abordagem é considerada "binária" porque considera apenas duas situações: áreas ocupadas (com edificação) e áreas não ocupadas (sem edificação). Nas áreas não ocupadas, nenhuma população é alocada pela interpolação. Nas áreas ocupadas, a redistribuição dos residentes é feita proporcionalmente à área da ocupação, assumindo que a distribuição da população é homogénea no interior da zona de origem. Assim:

$$\hat{P}_d = \frac{P_o A_{o \cap d}}{\sum_{d=1}^{n} A_d}$$

onde:

$\hat{P}_d$ = população estimada para a zona de destino d

P_o = população conhecida na zona de origem o

$A_{o \cap d}$ = área da zona de destino d

A_d = área da zona de destino d

n = número de zonas de destino

Quadro 7. Demonstração prática do algoritmo MDB.

1	2	3	4	5	6	7	8
Classe de ocupação do solo	**População agregada à secção**	**Nr. total de pixéis na secção**	**Nr. pixeis na secção**	**∑ 4**	**4 / 5**	**2 x 6**	**7 / 4**
A			21		0.39	202	9.630
B			21		0.39	202	9.630
C	520	100	8	54	0.15	77	9.630
D			0		0.00	0	0.000
E			4		0.07	39	9.630

1 - Classes de ocupação do solo com presença de função residencial
2 - População agregada à secção estatística
3 - Número total de pixéis na secção (área total da secção)
4 - Número de pixéis de cada classe de ocupação do solo na secção estatística
5 - Número total de pixéis com função residencial
6 - Percentagem de população a alocar a cada classe de ocupação do solo
7 - População alocada por classe de ocupação do solo
8 - População atribuída a cada pixel

A coluna/passo 7 do algoritmo apresenta o resultado final, com a população atribuída a cada polígono/zona de destino.

<u>Abordagem Inteligente (MDI) (Mennis e Hultgren 2006)</u>

Nesta abordagem, a redistribuição da população é feita através de uma ponderação da área da zona de destino pela densidade relativa da sua classe de ocupação do solo. Considere-se a mesma zona de origem *o* e uma classe de ocupação do solo *c*. A zona de destino *d* é definida como a área de intersecção entre *o* e *c*. A população para a zona destino *d* é estimada do seguinte modo:

$$\hat{P}_d = P_o \left(\frac{A_d \hat{D}_c}{\sum_{d \in o} \left(A_d \hat{D}_c \right)} \right)$$

onde $\hat{D}_c$ é um parâmetro obtido por amostragem. Este parâmetro corresponde a uma densidade populacional relativa entre as classes do zonamento auxiliar (fracção de densidade). A fracção de densidade deriva das densidades populacionais amostradas a partir de zonas de origem espacialmente relacionadas com cada classe do zonamento auxiliar. Por exemplo, para se estimar a densidade populacional da classe *c*, faz-se primeiro uma amostragem de zonas de origem relacionadas com a classe *c*. A amostragem pode ser feita de uma das seguintes formas:

- Método da inclusão total: zonas de origem totalmente contidas na classe c;
- Método dos centróides: zonas de origem cujos centróides de encontram no interior da classe c;
- Método da cobertura parcial: zonas de origem cobertas pela classe c numa determinada percentagem.

Dadas as características das bases de dados geográficas utilizadas no trabalho realizado para esta dissertação, e também por uma questão de facilidade do processo de amostragem, optou-se por seguir uma solução modificada do método da inclusão total. Deste modo, para estimar a densidade das diferentes classes do zonamento auxiliar, foram usadas as subsecções totalmente contidas por cada classe, admitindo uma distância de tolerância a partir dos limites das subsecções. Essa distância foi variável para cada classe amostrada, sendo tanto maior quanto mais raras fossem as subsecções nela contidas.

Seleccionadas as subsecções representativas da classe c, a densidade da classe c é facilmente estimada por:

$$\hat{D}_c = \sum_{o=1}^{j} P_o / \sum_{o=1}^{j} A_o$$

onde:

j é o número total de zonas de origem encontradas pelo processo de amostragem.

Quadro 8. Demonstração prática do algoritmo MDI.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Classe de ocupação do solo	**População agregada à secção**	**Nr. total de pixéis na secção**	**Fracção de densidade**	**Nr. pixeis na secção**	**∑ 5**	**4 * 5**	**∑ 7**	**7 / 8**	**2 * 9**	**10 / 5**
A			0.45	21		9.45		0.55	288	13.708
B			0.3	21		6.3		0.37	192	9.139
C	520	100	0.15	8	54	1.2	17.07	0.07	37	4.569
D			0.07	0		0		0.00	0	0.000
E			0.03	4		0.12		0.01	4	0.914

1 - Classes de ocupação do solo com presença de função residencial
2 - População agregada à secção estatística
3 - Número total de pixéis na secção (área total da secção)
4 - Densidade populacional relativa amostrada para cada classe de ocupação do solo
5 - Número de pixéis de cada classe de ocupação do solo na secção estatística
6 - Número total de pixéis com função residencial
7 - Ponderação da área de cada classe de ocupação do solo pela fracção de densidade
8 - Somatório de 7
9 - Percentagem de população a alocar a cada classe de ocupação do solo
10 - População alocada por classe de ocupação do solo
11 - População atribuída a cada pixel

Como se pode observar pela figura 29 e quadros 7 e 8, a redistribuição da população para as zonas de destino é bastante diferente consoante se usem os métodos MDB ou MDI. As implicações na qualidade dos modelos produzidos são fáceis de supor. O MDI, por incorporar informação empírica obtida directamente na área a modelar, permite obter resultados mais próximos da realidade do que o mapeamento dasimétrico binário, que tem apenas em consideração a área das zonas de destino para redistribuir a população.

4.2.4 Implementação

Hultgren (2005), comparando a rapidez de produção de cartografia dasimétrica entre modelos vectorial e matricial, verificou que este possibilitou a geração do produto final num período de tempo 5 vezes menor. Na sua revisão sobre métodos de interpolação zonal, Wu, Qui e Wang (2005) referiram que a estratégia mais comummente adoptada é a produção de superfícies finais em modelo matricial. A estratégia seguida neste trabalho foi proposta por Mennis (2003).

O algoritmo foi implementado no SGIG ArcGIS 9.2, através de procedimentos não automatizados[69], por meio instruções directas ao software. A operacionalização envolveu 4 fases:

- Fase 1: Amostragem
- Fase 2: Cálculos tabulares
- Fase 3: Produção dos modelos matriciais
- Fase 4: Aferição dos erros dos modelos

A fase de amostragem foi feita pela selecção das subsecções representativas das classes de ocupação do solo. Foram seleccionadas todas as subsecções contidas no interior de cada classe a amostrar, com uma distância de tolerância variável. Foi calculada a densidade média para cada classe e, posteriormente, derivada a fracção de densidade, isto é, o peso de densidade de cada classe no somatório das densidades amostradas. A fracção de densidade F da classe de ocupação do solo c é definida pela divisão da densidade amostrada na classe c pela soma das densidades amostradas na totalidade de classes existentes, i:

[69] Quer-se dizer, procedimentos que não são instruídos através de programação prévia do algoritmo.

$$F_c = \frac{\hat{D}_c}{\sum_{c=1}^{i} \hat{D}_c}, \qquad \text{sendo que} \qquad \sum F_c = 1, \; c = 1, \ldots, i$$

Na fase 2 foram feitos os cálculos dos algoritmos atrás descritos, numa tabela onde cada linha corresponde a uma zona de origem. Na terceira fase, a informação sobre o valor da população por pixel (passo 8 do MDB e passo 11 do MDI) é finalmente transferida para um modelo matricial. Essa transferência é feita através da multiplicação dos *layers* matriciais com a informação sobre o valor populacional por pixel, por zona de origem, e os *layers* matriciais com a localização das zonas de destino (um *layer* por classe de ocupação do solo), com o valor 1. Os *layers* matriciais resultantes (tantos quanto o número de classes de uso do solo) são, por fim, agrupados num só *layer* matricial, por uma operação de mosaico.

A última fase corresponde à validação. Os modelos foram criados a partir de informação agregada à secção estatística. As subsecções estatísticas são usadas para validar o modelo da distribuição. Uma operação de *zonal statistics*, ou estatísticas zonais, permite contar a população estimada pelo modelo por cada subsecção. É então possível confrontar a população estimada com a população real, ao nível da subsecção, e daí derivar um conjunto de medidas estatísticas de aferição da qualidade (aderência do modelo à realidade).

4.2.5 Densidades amostradas

As densidades das classes de ocupação do solo foram amostradas apenas para o MDI. Só esta técnica incorpora informação sobre as densidades populacionais por classe de zonamento auxiliar. Cada informação auxiliar utilizada (CLC, POS e ER10k) obrigou a uma amostragem. Assim, as quatro classes da CLC agrupadas foram usadas para amostrar a densidade de cada uma. No caso da POS, foram usadas todas as 12 classes originais de áreas edificadas, mais uma classe correspondente às correcções manualmente introduzidas.

A utilização da informação auxiliar ER10K levantou um problema. Como amostrar densidades de uma informação que não constitui um zonamento poligonal, mas antes entidades vectoriais de geometria linear? Optou-se por classificar os edifícios residenciais de acordo com as classes da carta POS subjacente. Deste modo, os modelos MDP6 e MDEr3 tiveram realmente, na sua concepção, duas fontes de informação auxiliar: os próprios edifícios e a POS, que serviu para amostrar e atribuir densidades aos edifícios. Neste caso, foram usadas todas as classes da

carta POS, visto que muitos edifícios ocorriam fora das classes edificadas. Todo o processo de amostragem teve de voltar a ser repetido para a modelação do número de edifícios. Nada poderia fazer supor, sem demonstração, que a densidade populacional tem a mesma relação com as classes de ocupação do solo do que a densidade de edificado.

Uma nota ainda sobre o seccionamento da amostragem. O processo de amostragem foi feito individualmente para cada NUTS3. A ideia foi a de capturar eventuais diferenças na relação entre ocupação do solo e distribuição da população entre as regiões. O modelo MDP5, contudo, utilizou um seccionamento diverso. Separaram-se as freguesias de baixa densidade populacional (<100 habitantes/km^2) das de média e alta densidade populacional (>100 habitantes/km^2). O MDP5 diferenciou-se do MDP4 apenas por este aspecto (quadro 5). Com esta variação, pretendeu-se determinar se um diferente seccionamento da amostragem poderia levar a modelações significativamente distintas na região em estudo.

Os quadros seguintes (9 a 13) resumem toda a informação colhida nos procedimentos empíricos realizados para a produção dos modelos MDI.

Quadro 9. Densidade populacional amostrada e fracção de densidade para cada classe de ocupação do solo da CLC 2000. Seccionamento da amostragem: NUTS3. Fracções de densidade utilizadas no MDP1.

NUT III	Classe CLC	Nr. Residentes	Área (km2)	Nr. polígonos amostrados	Buffer de tolerância	Densidade Populacional	Soma densidade	Fracção Densidade
Oeste	1 - Tecido Urbano Contínuo	20067	1.44	382	10m	13921.9	19976.2	0.697
	2 - Tecido Urbano Descontínuo	87593	25.28	2810	10m	3464.7		0.173
	3 - Indústria, comércio e equipamentos gerais	3477	1.52	59	50m	2294.3		0.115
	4 - Agricultura	51029	172.79	2611	0m	295.3		0.015
Lezíria do Tejo	1 - Tecido Urbano Contínuo	15456	1.75	282	10m	8841.1	14438.2	0.612
	2 - Tecido Urbano Descontínuo	68837	17.96	1441	10m	3832.0		0.265
	3 - Indústria, comércio e equipamentos gerais	2320	1.47	36	100m	1575.4		0.109
	4 - Agricultura	29668	156.49	954	0m	189.6		0.013
Médio Tejo	1 - Tecido Urbano Contínuo	7484	0.80	157	10m	9374.9	14444.6	0.649
	2 - Tecido Urbano Descontínuo	61261	18.08	1425	10m	3388.7		0.235
	3 - Indústria, comércio e equipamentos gerais	1099	0.78	50	50m	1400.2		0.097
	4 - Agricultura	33877	120.63	1379	0m	280.8		0.019
Total Amostragem		382168	518.99	11586				
Amostragem / Total Região (%)		47.44	5.90	42.19				

Quadro 10. Densidade populacional amostrada e fracção de densidade para cada classe de ocupação do solo da carta POS-OVT modificada. Seccionamento da amostragem: NUTS3. Fracções de densidade utilizadas no MDP4.

NUT III	Classe POS	Nr. Residentes	Área (km2)	Nr. polígonos amostrados (SS)	Buffer de tolerância	Densidade Populacional	Soma densidade	Fracção Densidade
Oeste	Areas Edificadas Compactas	82161	14.79	1685	0m	5554.7	22260.5	0.250
	Areas Edificadas Fragmentadas	15493	9.33	756	10m	1660.7		0.075
	Areas Edificadas Lineares Continuas	7585	3.72	454	10m	2039.0		0.092
	Areas Edificadas Lineares Descontinuas	2207	2.95	211	10m	749.4		0.034
	Areas Edificadas Dispersas 1	648	3.50	78	10m	185.2		0.008
	Areas Edificadas Dispersas 2	2017	4.33	155	10m	465.6		0.021
	Areas Edificadas Dispersas 3	2737	2.81	120	10m	974.5		0.044
	Areas Edificadas em Espaco Rustico (Nucleos) 1	914	0.38	79	50m	2402.1		0.108
	Areas Edificadas em Espaco Rustico (Nucleos) 2	4870	1.76	302	10m	2766.9		0.124
	Areas Edificadas em Espaco Rustico (Nucleos) 3	21543	7.36	1076	10m	2928.6		0.132
	Areas Edificadas Unifamiliares	1255	0.83	56	10m	1505.2		0.068
	Areas Edificadas com Golfe Associado	22	0.80	7	100m	27.5		0.001
	Areas Edificadas Acrescentadas	308	0.31	27	100m	1001.3		0.045
Lezíria do Tejo	Areas Edificadas Compactas	68118	13.83	1322	0m	4925.4	18580.4	0.265
	Areas Edificadas Fragmentadas	19525	21.20	363	10m	921.0		0.050
	Areas Edificadas Lineares Continuas	2244	1.52	88	10m	1477.0		0.079
	Areas Edificadas Lineares Descontinuas	897	1.05	54	10m	855.5		0.046
	Areas Edificadas Dispersas 1	437	3.33	59	50m	131.4		0.007
	Areas Edificadas Dispersas 2	3839	13.24	143	10m	289.9		0.016
	Areas Edificadas Dispersas 3	9886	21.29	239	10m	464.4		0.025
	Areas Edificadas em Espaco Rustico (Nucleos) 1	72	0.05	5	50m	1379.3		0.074
	Areas Edificadas em Espaco Rustico (Nucleos) 2	925	0.39	71	10m	2348.3		0.126
	Areas Edificadas em Espaco Rustico (Nucleos) 3	10265	3.73	446	10m	2749.8		0.148
	Areas Edificadas Unifamiliares	130	0.06	5	100m	2229.8		0.120
	Areas Edificadas com Golfe Associado	0	0.00	0	-	0.0		0.000
	Areas Edificadas Acrescentadas	272	0.34	15	100m	808.6		0.044
Médio Tejo	Areas Edificadas Compactas	47194	8.71	861	0m	5418.6	23448.0	0.231
	Areas Edificadas Fragmentadas	19553	11.71	593	10m	1669.2		0.071
	Areas Edificadas Lineares Continuas	1474	0.71	73	10m	2076.1		0.089
	Areas Edificadas Lineares Descontinuas	1490	1.74	89	10m	856.7		0.037
	Areas Edificadas Dispersas 1	424	2.32	34	60m	182.6		0.008
	Areas Edificadas Dispersas 2	2617	4.49	119	10m	582.7		0.025
	Areas Edificadas Dispersas 3	7243	10.01	391	10m	723.8		0.031
	Areas Edificadas em Espaco Rustico (Nucleos) 1	61	0.04	4	100m	1564.1		0.067
	Areas Edificadas em Espaco Rustico (Nucleos) 2	2455	0.64	112	10m	3827.6		0.163
	Areas Edificadas em Espaco Rustico (Nucleos) 3	7083	2.52	286	10m	2810.4		0.120
	Areas Edificadas Unifamiliares	227	0.12	10	50m	1853.1		0.079
	Areas Edificadas com Golfe Associado	0	0.00	0	-	0.0		0.000
	Areas Edificadas Acrescentadas	142	0.08	6	100m	1883.3		0.080
Total Amostragem		348333	175.9808	10394				
Amostragem / Total Região (%)		43.24	2.00	37.85				

Quadro 11. Densidade populacional amostrada e fracção de densidade para cada classe de ocupação do solo da carta POS-OVT modificada. Seccionamento da amostragem: freguesias de baixa densidade / freguesias de média e alta densidade populacional. Fracções de densidade utilizadas no MDP5.

NUT III	Classe POS	Nr. Residentes	Área (km2)	Nr. polígonos amostrados (SS)	Buffer de tolerância	Densidade Populacional	Soma densidade	Fracção Densidade
Freguesias com densidade < 100 hab/km2	Areas Edificadas Compactas	24928	5.97	608	0m	4172.7	17771.8	0.235
	Areas Edificadas Fragmentadas	13054	10.09	499	0m	1293.9		0.073
	Areas Edificadas Lineares Continuas	4305	2.58	236	10m	1668.0		0.094
	Areas Edificadas Lineares Descontinuas	1700	1.61	126	10m	1055.3		0.059
	Areas Edificadas Dispersas 1	948	5.50	111	50m	172.4		0.010
	Areas Edificadas Dispersas 2	2812	9.92	144	10m	283.5		0.016
	Areas Edificadas Dispersas 3	10374	19.20	368	10m	540.2		0.030
	Areas Edificadas em Espaco Rustico (Nucleos) 1	324	0.16	31	50m	1989.0		0.112
	Areas Edificadas em Espaco Rustico (Nucleos) 2	3297	1.33	209	10m	2486.4		0.140
	Areas Edificadas em Espaco Rustico (Nucleos) 3	13956	5.50	761	10m	2539.8		0.143
	Areas Edificadas Unifamiliares	461	0.56	29	100m	827.5		0.047
	Areas Edificadas com Golfe Associado	17	0.75	5	100m	22.8		0.001
	Areas Edificadas Acrescentadas	177	0.25	15	100m	720.4		0.041
Freguesias com densidade > 100 hab/km2	Areas Edificadas Compactas	172545	31.36	3260	0m	5502.6	22502.1	0.245
	Areas Edificadas Fragmentadas	38079	27.70	1116	0m	1374.9		0.061
	Areas Edificadas Lineares Continuas	6998	3.37	379	10m	2077.6		0.092
	Areas Edificadas Lineares Descontinuas	2894	4.12	228	10m	702.1		0.031
	Areas Edificadas Dispersas 1	1154	7.08	123	50m	163.0		0.007
	Areas Edificadas Dispersas 2	5661	12.15	273	10m	466.1		0.021
	Areas Edificadas Dispersas 3	9492	14.90	382	10m	637.1		0.028
	Areas Edificadas em Espaco Rustico (Nucleos) 1	693	0.28	55	50m	2500.0		0.111
	Areas Edificadas em Espaco Rustico (Nucleos) 2	4953	1.47	276	10m	3370.8		0.150
	Areas Edificadas em Espaco Rustico (Nucleos) 3	24935	8.11	1047	10m	3072.9		0.137
	Areas Edificadas Unifamiliares	1650	1.19	70	100m	1390.3		0.062
	Areas Edificadas com Golfe Associado	5	0.05	2	100m	94.3		0.004
	Areas Edificadas Acrescentadas	545	0.47	33	100m	1150.5		0.051
Total Amostragem		345957	175.6523	10386				
Amostragem / Total Região (%)		42.95	2.00	37.82				

Quadro 12. Densidade populacional amostrada e fracção de densidade para cada classe de ocupação do solo da carta POS-OVT original. Seccionamento da amostragem: NUTS3. Fracções de densidade utilizadas no MDP6.

NUT III	Classe POS	Nr. Residentes	Área (km2)	Nr. polígonos amostrados (SS)	Buffer de tolerância	Densidade Populacional	Soma densidade	Fracção Densidade
Oeste	Areas Edificadas Compactas	82161	14.79	1685	0m	5554.7	21391.4	0.2597
	Areas Edificadas Fragmentadas	15493	9.33	756	10m	1660.7		0.0776
	Areas Edificadas Lineares Continuas	7585	3.72	454	10m	2039.0		0.0953
	Areas Edificadas Lineares Descontinuas	2207	2.95	211	10m	749.4		0.0350
	Areas Edificadas Dispersas 1	648	3.50	78	10m	185.2		0.0087
	Areas Edificadas Dispersas 2	2017	4.33	155	10m	465.6		0.0218
	Areas Edificadas Dispersas 3	2737	2.81	120	10m	974.5		0.0456
	Areas Edificadas em Espaco Rustico (Nucleos) 1	914	0.38	79	50m	2402.1		0.1123
	Areas Edificadas em Espaco Rustico (Nucleos) 2	4870	1.76	302	10m	2766.9		0.1293
	Areas Edificadas em Espaco Rustico (Nucleos) 3	21543	7.36	1076	10m	2928.6		0.1369
	Areas Edificadas Unifamiliares	1255	0.83	56	10m	1505.2		0.0704
	Areas Edificadas com Golfe Associado	22	0.80	7	100m	27.5		0.0013
	Equip., Infra-estrut., Ind., Logíst. e Espaços em construção	417	4.24	91	10m	98.4		0.0046
	Áreas florestais, silvestres e outras áreas naturais	84	30.32	50	10m	2.8		0.0001
	Áreas agrícolas	1084	35.03	244	0m	30.9		0.0014
Lezíria do Tejo	Areas Edificadas Compactas	68118	13.83	1322	0m	4925.4	17973.2	0.2740
	Areas Edificadas Fragmentadas	19525	21.20	363	10m	921.0		0.0512
	Areas Edificadas Lineares Continuas	2244	1.52	88	10m	1477.0		0.0822
	Areas Edificadas Lineares Descontinuas	897	1.05	54	10m	855.5		0.0476
	Areas Edificadas Dispersas 1	437	3.33	59	50m	131.4		0.0073
	Areas Edificadas Dispersas 2	3839	13.24	143	10m	289.9		0.0161
	Areas Edificadas Dispersas 3	9886	21.29	239	10m	464.4		0.0258
	Areas Edificadas em Espaco Rustico (Nucleos) 1	72	0.05	5	50m	1379.3		0.0767
	Areas Edificadas em Espaco Rustico (Nucleos) 2	925	0.39	71	10m	2348.3		0.1307
	Areas Edificadas em Espaco Rustico (Nucleos) 3	10265	3.73	446	10m	2749.8		0.1530
	Areas Edificadas Unifamiliares	130	0.06	5	100m	2229.8		0.1241
	Areas Edificadas com Golfe Associado	0	0.00	0	-	0.0		0.0000
	Equip., Infra-estrut., Ind., Logíst. e Espaços em construção	426	2.31	39	50m	184.6		0.0103
	Áreas florestais, silvestres e outras áreas naturais	110	19.00	32	10m	5.8		0.0003
	Áreas agrícolas	485	44.54	110	0m	10.9		0.0006
Médio Tejo	Areas Edificadas Compactas	47194	8.71	861	0m	5418.6	21697.5	0.2497
	Areas Edificadas Fragmentadas	19553	11.71	593	10m	1669.2		0.0769
	Areas Edificadas Lineares Continuas	1474	0.71	73	10m	2076.1		0.0957
	Areas Edificadas Lineares Descontinuas	1490	1.74	89	10m	856.7		0.0395
	Areas Edificadas Dispersas 1	424	2.32	34	60m	182.6		0.0084
	Areas Edificadas Dispersas 2	2617	4.49	119	10m	582.7		0.0269
	Areas Edificadas Dispersas 3	7243	10.01	391	10m	723.8		0.0334
	Areas Edificadas em Espaco Rustico (Nucleos) 1	61	0.04	4	100m	1564.1		0.0721
	Areas Edificadas em Espaco Rustico (Nucleos) 2	2455	0.64	112	10m	3827.6		0.1764
	Areas Edificadas em Espaco Rustico (Nucleos) 3	7083	2.52	286	10m	2810.4		0.1295
	Areas Edificadas Unifamiliares	227	0.12	10	50m	1853.1		0.0854
	Areas Edificadas com Golfe Associado	0	0.00	0	-	0.0		0.0000
	Equip., Infra-estrut., Ind., Logíst. e Espaços em construção	74	0.71	19	50m	104.0		0.0048
	Áreas florestais, silvestres e outras áreas naturais	303	33.37	57	10m	9.1		0.0004
	Áreas agrícolas	233	11.81	58	0m	19.7		0.0009
Total Amostragem		350827	356.58	11046				
Amostragem / Total Região (%)		43.55	4.05	40.22				

Quadro 13. Densidade populacional amostrada e fracção de densidade para cada classe de ocupação do solo da carta POS-OVT original. Seccionamento da amostragem: NUTS3. Fracções de densidade utilizadas no MDEr3.

NUT III	Classe POS	Nr. edifícios	Área (km2)	Nr. polígonos amostrados (SS)	Buffer de tolerância	Densidade Edificado	Soma densidade	Fracção Densidade
Oeste	Areas Edificadas Compactas	18654	14.79	1685	0m	1261.1		0.1395
	Areas Edificadas Fragmentadas	6989	9.29	753	10m	751.9		0.0832
	Areas Edificadas Lineares Continuas	3780	3.72	454	10m	1016.1		0.1124
	Areas Edificadas Lineares Descontinuas	1081	2.95	211	10m	367.0		0.0406
	Areas Edificadas Dispersas 1	347	3.50	78	10m	99.2		0.0110
	Areas Edificadas Dispersas 2	936	4.33	155	10m	216.1		0.0239
	Areas Edificadas Dispersas 3	1258	2.81	120	10m	447.9		0.0495
	Areas Edificadas em Espaco Rustico (Nucleos) 1	447	0.38	79	50m	1174.8	9040.3	0.1299
	Areas Edificadas em Espaco Rustico (Nucleos) 2	2605	1.76	302	10m	1480.0		0.1637
	Areas Edificadas em Espaco Rustico (Nucleos) 3	10068	7.34	1075	10m	1371.7		0.1517
	Areas Edificadas Unifamiliares	539	0.83	56	10m	646.4		0.0715
	Areas Edificadas com Golfe Associado	108	0.80	7	100m	135.1		0.0149
	Equip., Infra-estrut., Ind., Logíst. e Espaços em construção	228	4.24	91	10m	53.8		0.0060
	Áreas florestais, silvestres e outras áreas naturais	98	30.32	50	10m	3.2		0.0004
	Áreas agrícolas	551	35.03	244	0m	15.7		0.0017
Lezíria do Tejo	Areas Edificadas Compactas	19961	13.83	1322	0m	1443.3		0.1931
	Areas Edificadas Fragmentadas	5939	18.63	336	10m	318.8		0.0427
	Areas Edificadas Lineares Continuas	1092	1.49	87	10m	735.4		0.0984
	Areas Edificadas Lineares Descontinuas	366	1.05	54	10m	349.1		0.0467
	Areas Edificadas Dispersas 1	202	3.33	59	50m	60.7		0.0081
	Areas Edificadas Dispersas 2	1662	13.24	143	10m	125.5		0.0168
	Areas Edificadas Dispersas 3	4577	21.29	239	10m	215.0		0.0288
	Areas Edificadas em Espaco Rustico (Nucleos) 1	37	0.05	5	50m	708.8	7472.6	0.0949
	Areas Edificadas em Espaco Rustico (Nucleos) 2	446	0.39	71	10m	1132.3		0.1515
	Areas Edificadas em Espaco Rustico (Nucleos) 3	5051	3.73	446	10m	1353.1		0.1811
	Areas Edificadas Unifamiliares	55	0.06	5	100m	943.4		0.1262
	Areas Edificadas com Golfe Associado	0	0.00	0	-	0.0		0.0000
	Equip., Infra-estrut., Ind., Logíst. e Espaços em construção	180	2.31	39	50m	78.0		0.0104
	Áreas florestais, silvestres e outras áreas naturais	56	19.00	32	10m	2.9		0.0004
	Áreas agrícolas	283	44.54	110	0m	6.4		0.0009
Médio Tejo	Areas Edificadas Compactas	9594	8.71	861	0m	1101.5		0.1266
	Areas Edificadas Fragmentadas	6826	10.67	563	10m	639.4		0.0735
	Areas Edificadas Lineares Continuas	712	0.71	73	10m	1002.8		0.1153
	Areas Edificadas Lineares Descontinuas	771	1.74	89	10m	443.3		0.0510
	Areas Edificadas Dispersas 1	261	2.32	34	60m	112.4		0.0129
	Areas Edificadas Dispersas 2	1190	4.46	117	10m	266.7		0.0307
	Areas Edificadas Dispersas 3	3911	10.01	391	10m	390.8		0.0449
	Areas Edificadas em Espaco Rustico (Nucleos) 1	35	0.04	4	100m	897.4	8700.0	0.1032
	Areas Edificadas em Espaco Rustico (Nucleos) 2	1070	0.64	112	10m	1668.2		0.1917
	Areas Edificadas em Espaco Rustico (Nucleos) 3	3284	2.52	286	10m	1303.0		0.1498
	Areas Edificadas Unifamiliares	101	0.12	10	60m	824.5		0.0948
	Areas Edificadas com Golfe Associado	0	0.00	0	-	0.0		0.0000
	Equip., Infra-estrut., Ind., Logíst. e Espaços em construção	23	0.71	19	50m	32.3		0.0037
	Áreas florestais, silvestres e outras áreas naturais	263	33.37	57	10m	7.9		0.0009
	Áreas agrícolas	114	11.81	58	0m	9.7		0.0011
Total Amostragem		115751	352.86	10982				
Amostragem / Total Região (%)		35.29	4.01	39.99				

4.3 Avaliação dos resultados obtidos

Os quadros 14 e 15 e os gráficos das figuras 30 e 31 sintetizam os resultados obtidos para cada modelo. Tenha-se especial atenção ao erro quadrático médio e ao coeficiente de correlação.

O MDP1 é o modelo que obtém piores resultados, mesmo tendo sido usado o MDI. A escala da informação da CLC é menor, quer do ponto de vista temático (menos classes utilizadas), quer do ponto de vista gráfico (escala 1:100.000 e apenas representadas áreas superiores a 25 ha). Qualquer um dos restantes modelos obtém facilmente performances superiores à CLC pelo motivo inverso: aumento de escala da informação temática e gráfica (1:10.000 quer para a carta POS-OVT quer para o ER10k).

O MDP3, mesmo usando a técnica binária, apresenta uma performance bastante superior ao MDP1. A utilização das áreas edificadas da POS para desagregar os dados populacionais aumentou substancialmente a exactidão do modelo face à CLC, usada no MDP1. Em confronto directo, comparando MDP1 e MDP3, constata-se que a informação auxiliar foi mais preponderante na melhoria do modelo do que a técnica de desagregação utilizada. O RMSE desceu mais de 10 pontos, e a correlação subiu 0,12. No entanto, quando se aplica a técnica de MDI à POS-OVT (MDP4 e MDP5), os resultados melhoram ainda mais, de forma muito considerável face a MDP3. A correlação entre valor real e valor estimado sobe para 0,71, e o RMS desce mais de 4 pontos. Os modelos MDP4 e MDP5, apenas distintos no seccionamento espacial da amostragem, evidenciam muito poucas diferenças nos resultados. No entanto, só a ANOVA permitirá confirmar a inexistência de diferenças significativas entre MDP4 e MDP5.

O MDP2 recorre ao edificado para distribuir a população, mas, nesta primeira abordagem, não se recorreu à técnica "inteligente". Neste modelo, o uso do mapeamento dasimétrico binário, menos sofisticado do que o MDI, foi compensado pela melhoria da informação auxiliar. Por isso, a performance do MDP2 é muito semelhante à dos MDP4 e MDP5, que utilizam a abordam dasimétrica "inteligente".

Por último, e em posição muito destacada, surge o MDP6, que supera qualquer outro modelo. Este incorpora a informação do edificado e, indirectamente, a informação da carta POS, através da qual se estimaram as densidades populacionais. Esta técnica que recorre, invulgarmente, a duas informações auxiliares, obtém, com efeito, os melhores resultados. A correlação sobe para 0,80 e o RMSE desce ainda 6 a 7 pontos face aos modelos 2, 4 e 5. Também, neste caso, o erro absoluto médio é menor e a distribuição do erro tem a menor amplitude, como se deduz pelos percentis 5 e 95.

Quadro 14. Síntese dos indicadores de qualidade para os Modelos Digitais da População 1 a 6.

	Modelo					
	MDP1	**MDP2**	**MDP3**	**MDP4**	**MDP5**	**MDP6**
Erro absoluto médio	23,38	17,08	19,02	16,98	17,09	14,35
Percenti 5 do erro	-49,47	-37,97	-41,75	-37,10	-37,62	-31,68
Percenti 95 do erro	63,44	40,41	46,22	40,62	40,66	34,34
Erro quadrático médio	49,17	33,68	38,29	34,10	34,17	27,73
Coeficiente de correlação	0,53	0,70	0,65	0,71	0,71	0,80

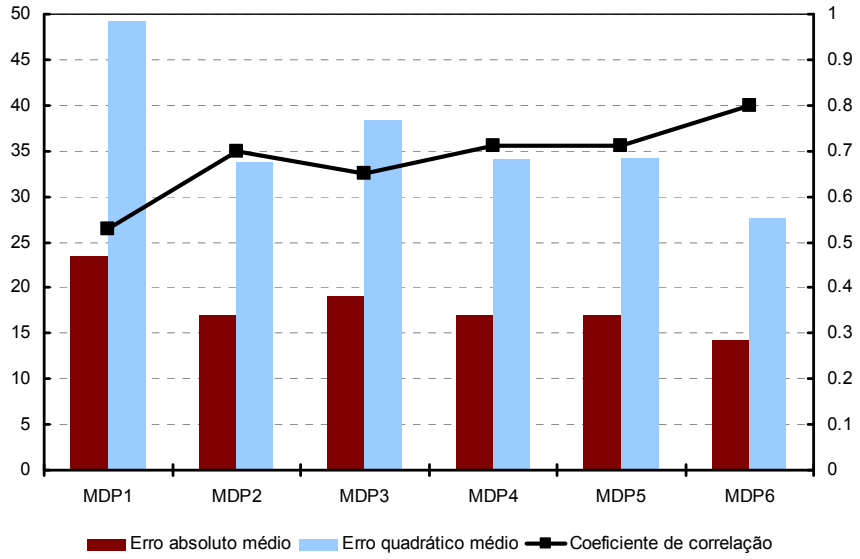


Figura 30. Desempenho dos modelos da distribuição da população 1 a 6.

Os resultados obtidos pela modelação do edificado evidenciam as mesmas conclusões obtidas para a modelação da população. Se tivermos em consideração que, em termos de produção técnica, a interpolação zonal (IZ) de MDEr1 é igual à de MDP2, que a IZ de MDEr2 igual à de MDP3 e que a IZ de MDEr3 é igual à de MDP6, verificamos o mesmo padrão de performance. Os modelos que recorrem ao ER10k produzem melhores estimativas e, de entre estes, o modelo que recorre ao MDI (MDEr3) supera largamente o modelo que assume a distribuição homogénea no interior da informação auxiliar (MDEr1): note-se o grande aumento do coeficiente de correlação, de 0,69 para 0,82.

Quadro 15. Síntese dos indicadores de qualidade para os Modelos Digitais do Edificado Residencial 1 a 3.

	Modelo		
	MDEr1	**MDEr2**	**MDEr3**
Erro absoluto médio	6,21	7,17	5,24
Percenti 5 do erro	-13,74	-15,30	-11,30
Percenti 95 do erro	14,80	18,58	13,27
Erro quadrático médio	11,02	12,64	8,56
Coeficiente de correlação	0,69	0,65	0,82

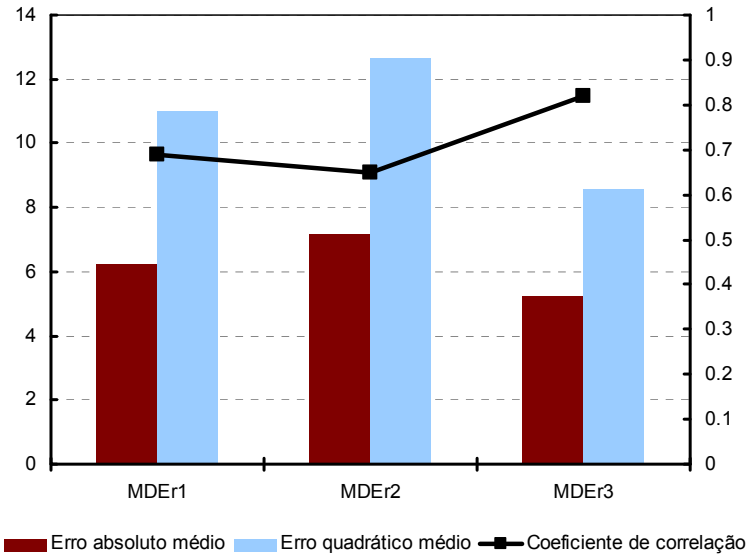


Figura 31. Desempenho dos modelos da distribuição do edificado residencial 1 a 3.

Além da informação aqui sintetizada, consulte-se também, nos anexos 1 a 4, os diagramas de dispersão e os histogramas de erro produzidos para cada modelo.

4.3.1 Análise de variância

Como já se referiu em 4.2.1, a utilização da ANOVA destinou-se comparar melhor os modelos produzidos, verificando a existência de diferenças significativas entre eles. Para cada variável modelada foram feitas análises de variância separadas. Assim, os resultados dos modelos MDP 1, 2, 3, 4, 5 e 6 foram sujeitos a uma ANOVA, e os resultados dos modelos MDEr 1, 2 e 3 foram sujeitos a outra. Como *input* para os testes foram utilizados os valores de RMSE para cada zona de origem (secção), normalizados pela população real, derivando assim um coeficiente de variação CV por zona de origem o:

$$CV_o = RMSE_o / P_o$$

onde:

P_o = população da zona de origem (secção)

$$RMSE_o = \sqrt{\frac{\sum_{s \in o} (P_s - \hat{P}_s)^2}{n}}$$

onde:

$RMSE_o$ = Erro Médio Quadrático na zona de origem o (secção)

P_s = População na zona de origem s (subsecção)

$\hat{P}_s$ = População estimada na zona de origem s (subsecção)

n = número de subsecções contidas em o

Os quadros 16 e 17 sintetizam as estatísticas descritivas dos CV obtidos para cada modelo da população e do edificado.

Quadro 16. Estatísticas descritivas dos coeficientes de variação para os modelos digitais da população

	Coeficientes de Variação					
	MDP1	**MDP2**	**MDP3**	**MDP4**	**MDP5**	**MDP6**
Média	0.082036	0.057666	0.065655	0.060042	0.060187	0.049833
Mediana	0.064450	0.040992	0.045436	0.040056	0.040237	0.034251
Variância	0.004064	0.002736	0.004243	0.004245	0.004198	0.002219
Desvio-Padrão	0.063746	0.052308	0.065140	0.065154	0.064794	0.047105
Mínimo	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Máximo	0.649000	0.497607	1.000000	1.000000	1.000000	0.604326

Quadro 17. Estatísticas descritivas dos coeficientes de variação para os modelos digitais do edificado

	Coeficientes de Variação		
	MDEr1	**MDEr2**	**MDEr3**
Média	0.048673	0.059994	0.043337
Mediana	0.036639	0.043713	0.030889
Variância	0.001562	0.003100	0.001649
Desvio-Padrão	0.039523	0.055676	0.040607
Mínimo	0.000000	0.000000	0.000000
Máximo	0.341554	1.000000	0.522303

A hipótese nula (H_0) da ANOVA é a homogeneidade das médias, ou seja:

$$H_0 = \mu_{CV_MDP1} = \mu_{CV_MDP2} = \mu_{CV_MDP3} = \mu_{CV_MDP4} = \mu_{CV_MDP5} = \mu_{CV_MDP6}$$

$$H_0 = \mu_{CV_MDEr1} = \mu_{CV_MDEr2} = \mu_{CV_MDEr3}$$

A hipótese nula foi rejeitada em ambos os testes, para um nível de confiança de 99%. Isto permite afirmar que, no seu conjunto, as médias são significativamente diferentes entre si (quadros 18 e 19).

Quadro 18. Resultados da ANOVA dos CV dos seis MDP.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significância
Between Groups	780	5	156,198	43,179	0,000
Within Groups	28870	7980	3,617		
Total	29650	7985			

Quadro 19. Resultados da ANOVA dos CV dos três MDEr.

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Significância
Between Groups	0,193	2	0,096	45,774	0,000
Within Groups	8,393	3990	0,002		
Total	8,586	3992			

O teste de Levene efectuado rejeitou a igualdade das variâncias do CV entre modelos, daí que tenha sido usado o teste *post-hoc* de Tamhanes para determinar a existência de diferenças significativas nas médias dos CV entre cada par de modelos. Os resultados sintetizam-se nos quadros 20 e 21. Esta análise da significância da diferença entre médias dos CV permite, então, esquematizar, nos quadros 22 e 23, que modelos são significativamente diferentes entre si (≠), e que modelos podem ser considerados não significativamente diferentes entre si (≡).

Quadro 20. Resultados do teste de Tamhanes, de existência de diferença significativa entre cada par de MDP.

(I) Metodo	(J) Metodo	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	24,36981*	2,26025	,000	17,7461	30,9935
	3	16,38025*	2,49821	,000	9,0594	23,7011
	4	21,99324*	2,49847	,000	14,6716	29,3149
	5	21,84885*	2,49144	,000	14,5479	29,1499
	6	32,20225*	2,17259	,000	25,8351	38,5694
2	1	-24,36981*	2,26025	,000	-30,9935	-17,7461
	3	-7,98956*	2,28990	,007	-14,7002	-1,2789
	4	-2,37657	2,29019	,995	-9,0881	4,3350
	5	-2,52095	2,28252	,991	-9,2100	4,1681
	6	7,83244*	1,92944	,001	2,1783	13,4866
3	1	-16,38025*	2,49821	,000	-23,7011	-9,0594
	2	7,98956*	2,28990	,007	1,2789	14,7002
	4	5,61299	2,52533	,330	-1,7873	13,0133
	5	5,46861	2,51837	,367	-1,9113	12,8485
	6	15,82200*	2,20342	,000	9,3645	22,2795
4	1	-21,99324*	2,49847	,000	-29,3149	-14,6716
	2	2,37657	2,29019	,995	-4,3350	9,0881
	3	-5,61299	2,52533	,330	-13,0133	1,7873
	5	-,14438	2,51864	1,000	-7,5251	7,2363
	6	10,20901*	2,20372	,000	3,7506	16,6674
5	1	-21,84885*	2,49144	,000	-29,1499	-14,5479
	2	2,52095	2,28252	,991	-4,1681	9,2100
	3	-5,46861	2,51837	,367	-12,8485	1,9113
	4	,14438	2,51864	1,000	-7,2363	7,5251
	6	10,35340*	2,19574	,000	3,9184	16,7884
6	1	-32,20225*	2,17259	,000	-38,5694	-25,8351
	2	-7,83244*	1,92944	,001	-13,4866	-2,1783
	3	-15,82200*	2,20342	,000	-22,2795	-9,3645
	4	-10,20901*	2,20372	,000	-16,6674	-3,7506
	5	-10,35340*	2,19574	,000	-16,7884	-3,9184

*. A diferença de médias é significativa ao nível 0,05.

Quadro 21. Resultados do teste de Tamhanes, de existência de diferença significativa entre cada par de MDEr.

(I) Metodo	(J) Metodo	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
1	2	-11,32070*	1,87152	,000	-15,7925	-6,8489
	3	5,33594*	1,55322	,002	1,6249	9,0470
2	1	11,32070*	1,87152	,000	6,8489	15,7925
	3	16,65664*	1,88888	,000	12,1434	21,1699
3	1	-5,33594*	1,55322	,002	-9,0470	-1,6249
	2	-16,65664*	1,88888	,000	-21,1699	-12,1434

*. A diferença de médias é significativa ao nível 0,05.

Quadro 22. Semelhança (≡) e dissemelhança (≠) entre os modelos populacionais.

	MDP1	MDP2	MDP3	MDP4	MDP5	MDP6
MDP1		≠	≠	≠	≠	≠
MDP2	≠		≠	≡	≡	≠
MDP3	≠	≠		≡	≡	≠
MDP4	≠	≡	≡		≡	≠
MDP5	≠	≡	≡	≡		≠
MDP6	≠	≠	≠	≠	≠	

Quadro 23. Semelhança (≡) e dissemelhança (≠) entre os modelos do edificado residencial.

	MDEr1	MDEr2	MDEr3
MDEr1		≠	≠
MDEr2	≠		≠
MDEr3	≠	≠	

Em síntese, conclui-se que os modelos que produzem resultados mais distintos são o MDP1 e o MDP6, o primeiro com os piores resultados e o segundo com os melhores. Os modelos MDP 2, 4 e 5 não podem ser considerados significativamente diferentes entre si.

No que respeita aos modelos do edificado, as três técnicas testadas produziram modelos todos eles significativamente diferentes entre si, sobressaindo o MDEr3 com a melhor aderência à realidade.

A principal conclusão é que a técnica que produz os modelos MDP6 e MDEr3, conjugando uma interpolação zonal inteligente, com informação auxiliar do edificado, obtém os melhores resultados, sendo significativamente diferentes de todos os restantes modelos produzidos.

4.4 Superfícies finais da população e do edificado

Os modelos finais da população e do edificado foram produzidos através das mesmas opções técnicas que serviram para gerar os modelos MDP6 e MDEr3 (quadro 5). Também as fracções de densidade utilizadas foram as estimadas para os modelos experimentais (quadros 12 e 13).

A única diferença reside no facto de terem sido usadas, como zonas de origem, não as secções, mas sim as subsecções estatísticas da BGRI. Esta alteração permite esperar, sem qualquer dúvida, o aumento da exactidão dos modelos – o número de unidades de enumeração sobe de 1.331 para 27.463, o que constitui uma desagregação das zonas de origem muitíssimo superior. Contudo, o erro criado por estes novos modelos, ainda que certamente menor, não é passível de ser aferido de forma sistemática, visto que não existe uma desagregação maior com dados reais e conhecidos. Os modelos finais, apesar de mais rigorosos do que os modelos experimentais, têm um grau de incerteza quanto à distribuição interna das variáveis nas subsecções que não é possível quantificar.

A figura 32 compara, para a área de Peniche, um mapa coropleto com um mapa dasimétrico da densidade populacional, este baseado no MDP final. As melhorias gráficas da representação são evidentes. Por exemplo, na representação de tipo coropleto (figura 32 A), um conjunto de incertezas associadas à localização dos povoamentos existe em áreas onde as subsecções têm proporções muito grandes, ao passo que o mapa dasimétrico (figura 32 B) permite esclarecer melhor essas localizações. Repare-se também como, visualmente, as subsecções de grande dimensão distorcem e desequilibram a leitura global da distribuição. No mapa dasimétrico é atingido um equilíbrio total, dado que as unidades do zonamento são regulares e uniformes.

No Anexo 5 encontram-se os mapas da distribuição da população e do edificado, baseados nos MDP e MDEr finais. Estes mapas encontram-se reproduzidos à escala 1:310.000. Os mapas da

distribuição da população e do edificado baseados nos modelos experimentais encontram-se no mesmo anexo, mas reproduzidos a uma escala menor.

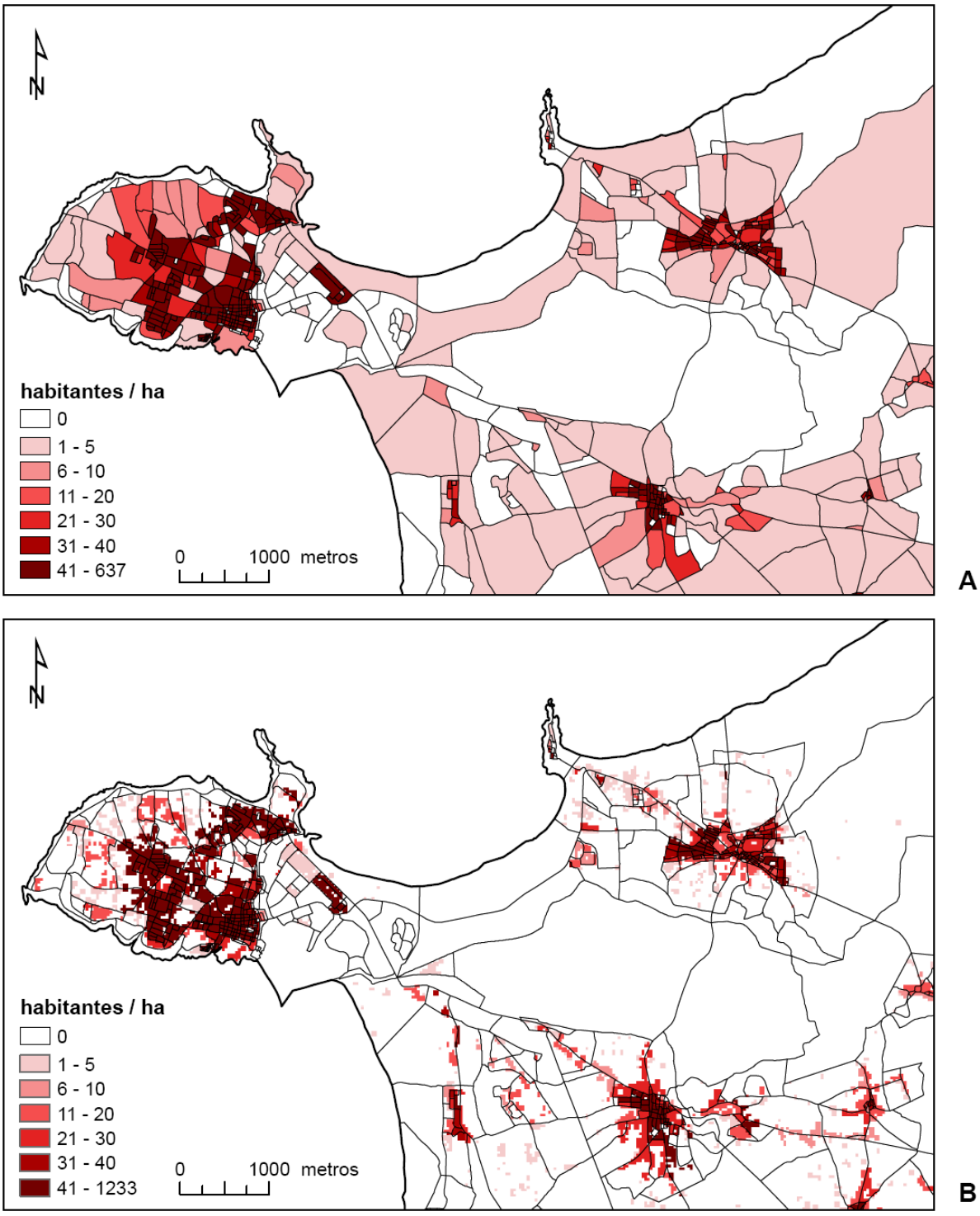


Figura 32. Representações coropleta (A) e dasimétrica (B) da densidade populacional na área de Peniche, 2001.

5. APLICAÇÃO DOS MODELOS EM DIFERENTES DOMÍNIOS TEMÁTICOS

5.1 Enquadramento e objectivos do capítulo

Neste capítulo pretende-se demonstrar a utilidade dos modelos finais produzidos em diferentes domínios temáticos. Os modelos produzidos estimam a população e o número de edifícios através de uma superfície semi-contínua de pixéis com a resolução espacial de 30 metros. Por este motivo, os modelos permitem uma fácil integração em SIG e o cruzamento com outras bases de informação geográfica matriciais e vectoriais é possível recorrendo às ferramentas de análise espacial adequadas. Outro aspecto fundamental dos modelos produzidos é o facto de permitirem quantificações bastante realistas da população residencial e dos edifícios residenciais, dada a precisão e exactidão conseguidas.

Num universo muito vasto, foram escolhidos três domínios de aplicação para demonstrar a utilidade dos modelos:

- Planeamento de situações de emergência;
- Avaliação de políticas públicas de saúde;
- Planeamento urbano.

Para cada um dos domínios foi concebido um exercício que envolvesse a contagem de residentes e/ou edifícios por um determinado zonamento (zonamento de destino). Com base nos modelos produzidos, a contagem é um processo simples que envolve uma nova agregação da variável pelo dado zonamento de destino. Essa agregação de dados é feita pelo simples somatório do valor dos pixéis contidos na nova zona. Sem um modelo dasimétrico matricial, uma de três estratégias seria possível (Langford e Higgs 2006):

- Contagem de centróides;
- Contagem de zonas de origem totalmente contidas na zona de destino;
- Interpolação zonal ponderada pela área (*areal wheighting*).

O primeiro método consiste determinar os centróides (de zonas de origem) contidos no interior da zona de destino. A contagem corresponderá ao somatório da população representada pelos centróides. Com este método é alocada toda a população de uma zona de origem com base, apenas, num ponto representativo (Langford e Higgs 2006). Por sua vez, a

contagem da população das zonas de origem totalmente contidas na zona de destino subestima frequentemente a estimação, pois não considera outras zonas de origem intersectadas pela zona de destino. Por último, a interpolação zonal ponderada pela área de intersecção, apesar de ser mais aceite e, provavelmente superior aos métodos anteriores, assume a distribuição homogénea da população nas zonas de origem. Langford e Higgs (2006) defendem que a estimação de população para áreas de destino, feita a partir de modelos dasimétricos matriciais, permite obter contagens/estimativas mais próximas da realidade do que as abordagens acima enumeradas.

É importante ressalvar que os exercícios que se seguem valem estritamente como tal: exercícios demonstrativos da utilidade dos modelos produzidos, e não como caracterização ou diagnóstico extensivo e definitivo sobre os três domínios de aplicação.

5.2 População e edifícios em risco

5.2.1 Enquadramento

O modelo conceptual de Risco compreende a Perigosidade, os Elementos em Risco e a Vulnerabilidade, assim entendidos:

> A perigosidade é *entendida como a probabilidade de ocorrência de um fenómeno com uma determinada magnitude, num determinado período de tempo e numa dada área.* Os elementos em risco são *representados pela população, equipamentos, propriedades e actividades económicas vulneráveis num território.* A vulnerabilidade corresponde *ao grau de perda de um elemento ou conjunto de elementos vulneráveis, resultante da ocorrência do fenómeno (…). O risco exprime a possibilidade de ocorrência, e a respectiva quantificação em termos de custo, de consequências gravosas, económicas ou mesmo para a segurança das pessoas, em resultado do desencadeamento de um fenómeno natural ou induzido pela actividade antrópica. A avaliação quantitativa do risco é obtida através do produto da perigosidade pela vulnerabilidade e pelo valor dos elementos em risco (R = P x V x E). Deste modo, verifica-se que o risco pode ser mitigado a partir da intervenção em qualquer um dos seus componentes (perigosidade, vulnerabilidade, valor dos elementos expostos), sendo nulo se um deles for eliminado* (Zêzere, Pereira e Morgado 2006: 2-3).

De acordo com este modelo, não há risco sem elementos expostos ao perigo. Dos muitos elementos em risco que existem no território, podem ser referidas as construções e infra-

estruturas, as actividades económicas e a organização social, as potencialidades do território e a paisagem. No entanto, o elemento de maior valor é a vida humana. Por seu lado, os fenómenos perigosos são as actividades de origem natural ou humana potencialmente causadoras de dano. Os fenómenos perigosos são geralmente agrupados em três grandes tipologias: os Riscos Naturais, correspondentes às ocorrências associadas aos sistemas naturais (ex.: actividade sísmica e vulcânica, fenómenos climáticos extremos, cheias e inundações, movimentos de vertente), os Riscos Tecnológicos, correspondentes a "acidentes, frequentemente súbitos e não planeados, que decorrem da actividade humana" (ex.: acidentes industriais, acidentes associados ao transporte de matérias perigosas) e os Riscos ambientais, resultantes da "interacção, cada vez mais acentuada e complexa, das actividades humanas com o funcionamento dos sistemas naturais" (ex.: desertificação, poluição, incêndios florestais) (Zêzere, Pereira e Morgado 2006: 3).

O conceito de catástrofe é controverso, mas pode dizer-se que ela existe quando um fenómeno perigoso ocorre causando dano e levando ao accionamento de mecanismos de emergência.

A gestão de situações de emergência tem sido, frequentemente, referida como um campo de aplicação da cartografia dasimétrica da distribuição populacional (Mennis e Hultgren 2006; Sleeter e Wood 2006; Freire 2007a; Slocum 2009). À gestão de situações de emergência acrescenta-se ainda a gestão prévia do risco, ou a prevenção, como campo fundamental de aplicação da cartografia dasimétrica. Com efeito, não se pode gerir situações de emergência, assim como não se pode gerir o risco, sem conhecer a exacta localização e quantificação dos elementos expostos, a começar pelos de maior valor: a população (vida humana) e os edifícios (pela sua óbvia importância económica e social). A identificação das áreas mais vulneráveis a determinados perigos decorre, necessariamente, da quantificação dos elementos em risco e do seu valor. E da identificação dessas vulnerabilidades no território decorre todo o planeamento.

5.2.2 Aplicação e resultados

O PROT-OVT contemplou, numa das suas componentes sectoriais, o mapeamento das áreas sujeitas à ocorrência de perigos naturais, tecnológicos e ambientais (Zêzere *et al.* 2008). No entanto, o trabalho desenvolvido para aquele plano de OT não incluiu a estimação do risco, nem sequer a quantificação dos principais elementos em risco.

Os modelos da distribuição da população e do edificado, produzidos no âmbito desta dissertação, são produtos cruciais para se estimar a população e os edifícios expostos aos diferentes perigos. Como forma de demonstrar a utilidade prática dos modelos, estes serão usados como base de cálculo à população e edifícios em risco para quatro perigos naturais (figura 33):

- Perigo sísmico (elevado e moderado);
- Perigo de inundação por maremoto/tsunami (elevado e moderado);
- Perigo de inundação por cheias progressivas;
- Perigo de movimento de vertente (elevado).

A estimação das pessoas e edifícios em risco (quadro 24) foi feita através do simples somatório do valor dos pixéis dos MDP e MDEr contidos em cada área de perigo (figura 33) para cada concelho, recorrendo às delimitações dos perigos e dos concelhos em formato vectorial.

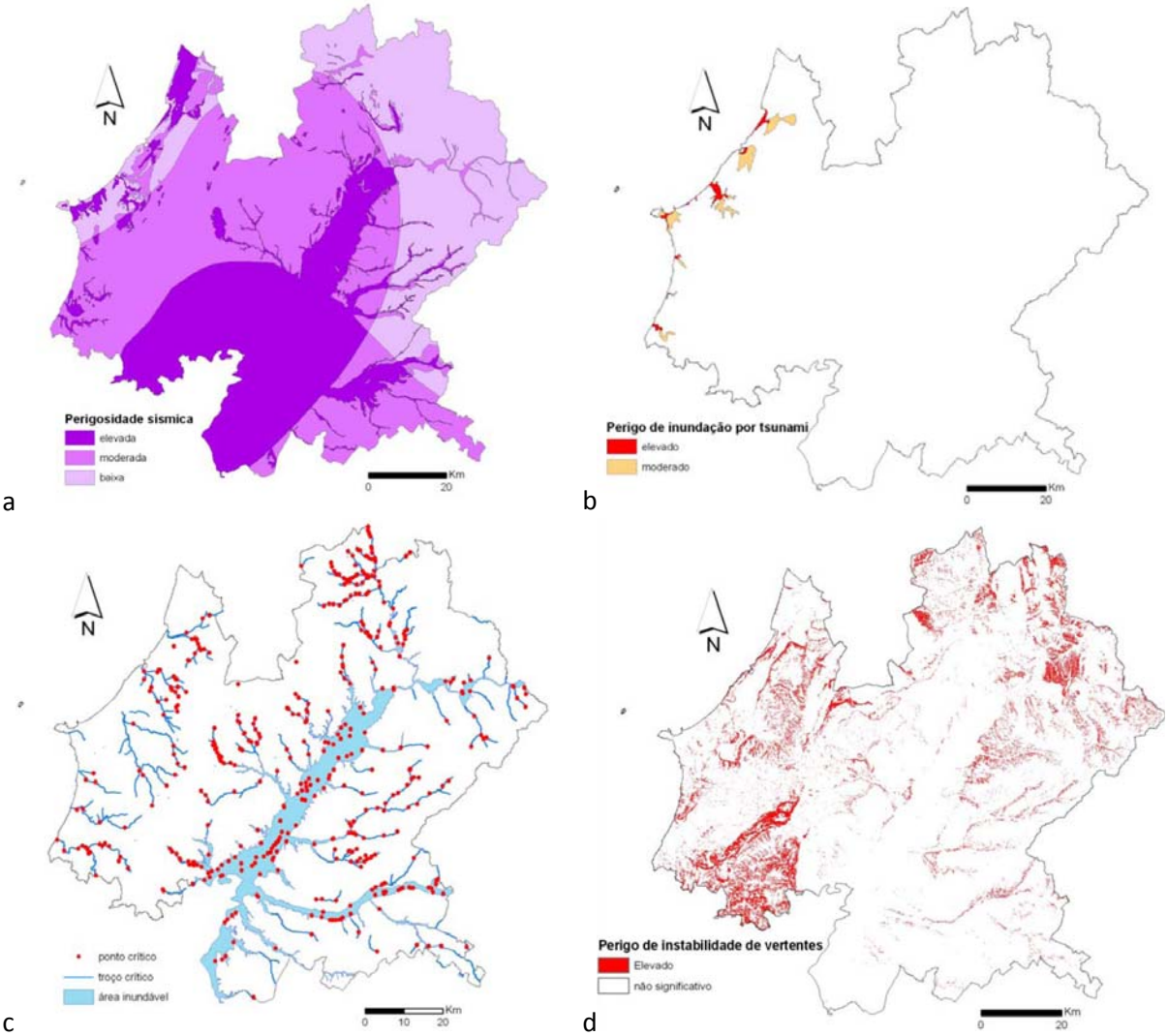


Figura 33. Mapas de perigo sísmico (a), de inundação por maremoto (b), de cheias progressivas (c) e de movimentos de vertente (d). Extraído de Zêzere *et al.* (2008: 9-17).

Quadro 24. População e edifícios em risco, por tipo de perigo natural, por concelho.

Concelho	Perigosidade Sísmica				Perigo de inundação por maremoto		Perigo de inundação por cheia progressiva		Perigo de movimento de vertente	
	Elevada		Moderada		Pop.	Edif.	Pop.	Edif.	Pop.	Edif.
	Pop.	Edif.	Pop.	Edif.						
Abrantes	128	72	3935	1565	-	-	4365	1598	1978	909
Alcanena	2193	971	12374	5143	-	-	-	-	82	35
Alcobaça	2946	1678	35498	13401	1912	1335	-	-	1314	686
Alenquer	36248	12472	2784	1419	-	-	188	78	4505	1917
Almeirim	21495	7827	469	218	-	-	1912	788	23	13
Alpiarça	7893	3207	125	53	-	-	215	128	-	-
Arruda dos Vinhos	10135	3860	-	-	-	-	-	-	1132	549
Azambuja	18365	7053	1857	831	-	-	1685	263	206	98
Benavente	23199	7508	18	6	-	-	5093	1490	2	1
Bombarral	1305	610	11974	5119	-	-	-	-	263	115
Cadaval	373	214	13553	6894	-	-	-	-	785	445
Caldas da Rainha	3436	1465	35255	11107	326	210	-	-	871	518
Cartaxo	23387	8854	-	-	-	-	1112	617	11	5
Chamusca	8815	4122	1561	803	-	-	973	485	1108	480
Constância	-	-	1	1	-	-	23	15	46	24
Coruche	7154	3430	13066	6178	-	-	1534	761	674	268
Entroncamento	11390	2377	6788	1334	-	-	2	1	-	-
Ferreira do Zêzere	-	-	100	64	-	-	-	-	311	247
Golegã	3632	1752	2086	959	-	-	3185	1490	-	-
Lourinhã	1478	569	21757	10651	754	233	-	-	563	325
Nazaré	3768	1547	3121	1406	2143	907	-	-	625	255
Óbidos	1209	906	7366	3590	85	81	-	-	739	441
Ourém	788	340	24820	9207	-	-	-	-	1359	688
Peniche	8818	2749	1193	613	7589	2707	-	-	50	24
Rio Maior	9292	2818	11740	5470	-	-	72	47	405	187
Salvaterra de Magos	20211	8833	-	-	-	-	1951	934	24	10
Santarém	9232	4053	54310	17796	-	-	1642	827	923	271
Sardoal	-	-	23	17	-	-	-	-	7	6
Sobral Monte Agraço	8851	3371	-	-	-	-	-	-	1996	845
Tomar	4251	1394	10064	2621	-	-	2367	719	474	312
Torres Novas	8711	3439	27778	11261	-	-	562	182	197	91
Torres Vedras	14241	6496	57872	21490	64	78	-	-	6786	2591
Vila Nova Barquinha	4483	1759	1665	695	-	-	364	166	51	21
Total	**277427**	**105746**	**363153**	**139912**	**12873**	**5551**	**27245**	**10589**	**27510**	**12377**

5.2.3 Conclusões

A estimação da população e dos edifícios expostos a diferentes perigos é um processo muito fácil de implementar num SGIG. Basta que estejam disponíveis os polígonos do zonamento censitário, com os respectivos dados, e os polígonos que delimitam as áreas de perigo. A estimação pode ser feita através de uma simples interpolação zonal do tipo *areal wheighting*, em que a população e o edificado são obtidos, para as áreas de perigo, na proporção da área

intersectada entre zonamento censitário (zonas de origem) e zonamento de perigosidade (zonas de destino).

Contudo, os modelos dasimétricos, pela sua grande desagregação e resolução espaciais, bem como pela sua maior conformidade com a realidade geográfica da distribuição, permitem estimações mais realistas e, por conseguinte, de maior valor para a gestão do risco ou das situações de emergência. Como é fácil de compreender, melhores estimativas sobre os elementos em risco conduzem a melhor tomada de decisão no que concerne a questões como a alocação de meios operacionais no terreno ou a evacuação.

Por fim, é importante relembrar que, neste exercício, a informação utilizada foi a distribuição nocturna (ou residencial) da população. A produção de um modelo da distribuição diurna da população é, igualmente, um elemento essencial na gestão do risco, já que os episódios perigosos não ocorrem só de noite.

5.3 Acessibilidade e população servida por serviços de Urgência Hospitalar

5.3.1 Enquadramento

O Ministério da Saúde desencadeou, em 2006, um processo de reforma da rede nacional dos Serviços de Urgência (SU), proclamando, como principais objectivos, a qualificação da prestação de cuidados de saúde nesses serviços e a redução da percentagem da população a mais de 60 minutos de um ponto da rede.

O trabalho da comissão técnica criada para o efeito culminou em Janeiro de 2007, com a divulgação de um relatório final que propunha a requalificação e redistribuição geográfica dos pontos da rede de urgências, tipificados em três níveis: Serviço de Urgência Polivalente (SUP), Serviço de Urgência Médico-Cirúrgico (SUMC) e Serviço de Urgência Básico (SUB). Após discussão pública, negociações entre os poderes Central e Local e todo o mediatismo inerente a esta problemática, o Ministério da Saúde, através do Despacho n.º 5414/2008, de 28 de Fevereiro, definiu e classificou os serviços de urgência que constituem os pontos da nova rede. De acordo com esta determinação, o país passa a dispor de 89 SU (14 SUP, 30 SUMC e 45 SUB), contra os 73 existentes antes da reforma, o que se traduz no fecho de algumas unidades e na abertura de novas.

O objectivo deste exercício foi avaliar a eficácia da nova configuração geográfica dos serviços de Urgência em termos da acessibilidade da população. A estratégia seguida consistiu em produzir, primeiramente, dois mapas de acessibilidade: um para a rede de urgências anterior à reforma e outro para a nova rede de urgências. Posteriormente, e com base nos dois mapas de acessibilidade e no Modelo Digital da População, estimou-se a população servida a diferentes limiares de acessibilidade: 10, 20, 30, 45, 60 e mais de 60 minutos, por concelho.

Os mapas de acessibilidade foram produzidos para o território de Portugal continental, no âmbito de um trabalho prévio de Silva e Marques (2008).

5.3.2 Aplicação e resultados

Segundo Silva e Marques (2008), a primeira decisão conceptual para a elaboração dos mapas de acessibilidade consistiu em definir a acessibilidade em termos de tempo percorrido (minutos) entre pontos de origem (distribuídos por todo o território) e pontos de destino (serviços de Urgência) através da rede rodoviária. Esta opção permitiu simular os tempos de acesso aos serviços de Urgência através de viaturas particulares e ambulâncias. A produção dos mapas de acessibilidade foi feita através de modelação vectorial (ou modelação de redes) em ambiente SIG, tendo sido incorporados três níveis de informação georreferenciada:

- Pontos de Origem: 4037 sedes de freguesia + 5558 pontos de uma malha regular espaçada de 4 km;
- Pontos de Destino: Serviços de Urgência;
- Rede de Estradas hierarquizada em 6 classes de velocidade (km/h).

No processo de produção dos mapas de acessibilidade, os seguintes passos metodológicos foram seguidos:

- Passo 1: Aquisição, edição e produção da informação georreferenciada (base de dados geográfica);
- Passo 2: Cálculo de uma matriz origem-destino com os valores de tempo percorrido, em caminho óptimo, entre cada ponto de origem e o ponto de destino mais próximo;
- Passo 3: Execução do produto final (mapa de acessibilidade em formato matricial, com resolução de 200 metros) através do interpolador geoestatístico *kriging*, com base no valor de acessibilidade registado nos pontos de origem.

Os passos 2 e 3 foram executados duas vezes: uma vez para cada um dos dois mapas de acessibilidade, antes e após a reforma. No primeiro caso, foram usados como pontos de

destino os 73 SU existentes antes da reforma e, no segundo caso, os 89 SU previstos após a implementação da reforma (figura 34).

A estimação da população servida foi obtida para os limiares de acessibilidade considerados, e os resultados estão expressos no quadro 25, por concelho.

Numa análise agregada à região (quadro 26), verifica-se que, com a introdução da reforma, deixa de existir, no OVT, população a uma distância-tempo superior a 45 minutos. No entanto, os melhores níveis de acessibilidade registaram apenas ligeiras melhorias. Esta situação deve-se ao facto de, na região em estudo, a reforma ter contemplado apenas a criação de um novo SU, em Coruche, e não ter determinado o encerramento de nenhum SU previamente existente (figura 34).

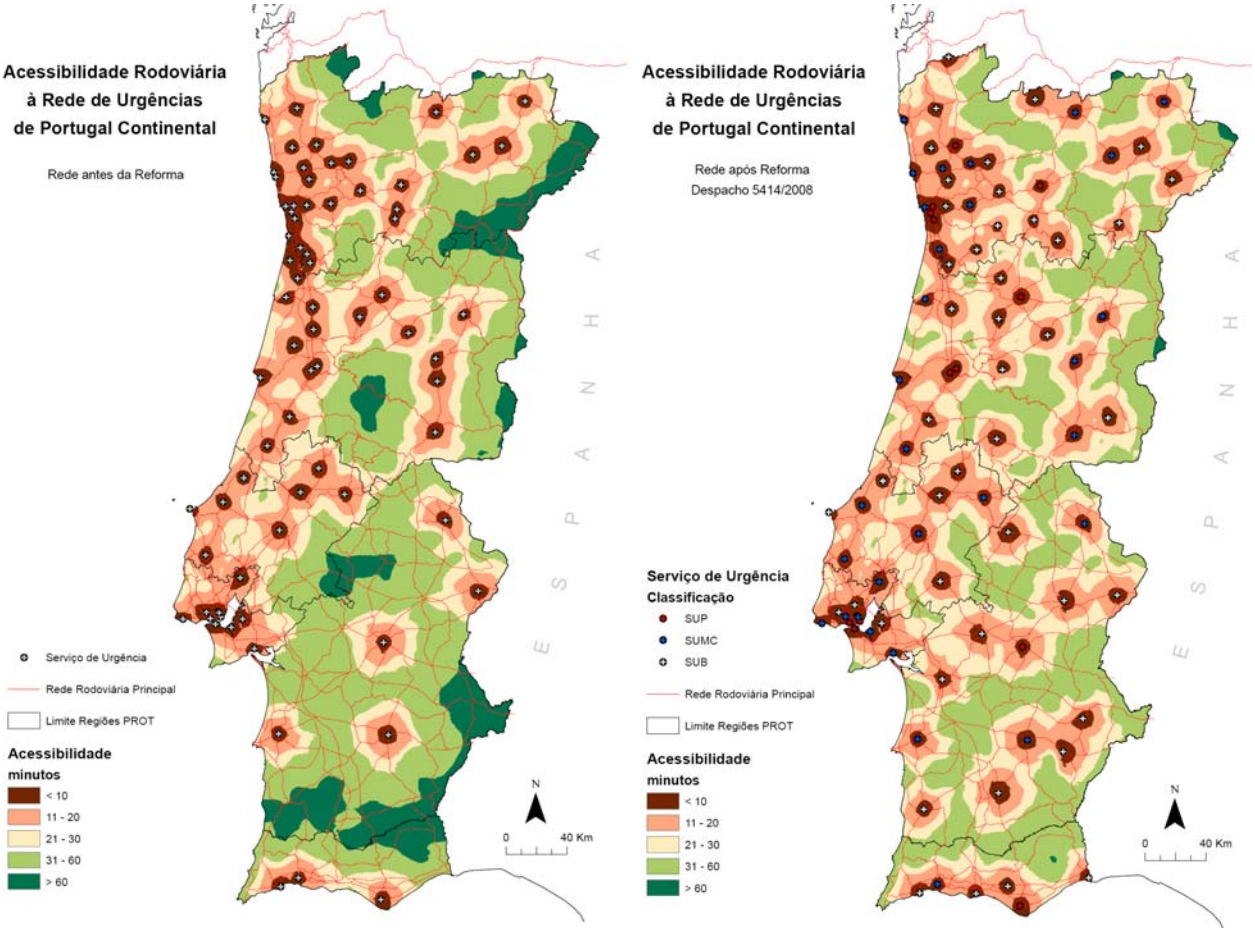


Figura 34. Mapas de acessibilidade rodoviária à rede de urgências de Portugal continental, antes e após a reforma. Segundo Silva e Marques (2008).

Quadro 25. População servida por intervalos de acessibilidade (em minutos) à rede de urgências, antes e após a reforma, por concelho.

Concelho	População servida antes da reforma, por classe de acessibilidade						População servida após a reforma, por classe de acessibilidade			
	< 10	10 - 20	20 - 30	30 - 45	45 - 60	> 60	< 10	10 - 20	20 - 30	30 - 45
Abrantes	25312	11612	5018	258	-	-	25618	12624	3960	-
Alcanena	-	12071	2494	-	-	-	-	12004	2561	-
Alcobaça	15655	28935	10568	27	-	-	15709	28875	10602	-
Alenquer	1218	22557	15228	33	-	-	650	23101	15250	35
Almeirim	417	18259	3095	192	-	-	417	18348	2875	323
Alpiarça	-	7800	219	-	-	-	-	7866	153	-
Arruda dos Vinhos	681	9247	119	-	-	-	682	9297	68	-
Azambuja	-	5015	15216	-	-	-	-	5100	15131	-
Benavente	-	12540	7939	2710	-	-	-	12549	9359	1281
Bombarral	-	13279	-	-	-	-	-	13279	-	-
Cadaval	-	835	13091	3	-	-	-	834	12975	120
Caldas da Rainha	31649	16414	695	-	-	-	31707	16349	701	-
Cartaxo	1	13912	9472	-	-	-	1	13864	9520	-
Chamusca	-	432	8281	2775	10	-	-	466	8294	2737
Constância	-	3628	129	-	-	-	-	3628	129	-
Coruche	-	-	336	11986	6245	2745	8844	6629	5700	139
Entroncamento	13761	4422	-	-	-	-	13761	4422	-	-
Ferreira do Zêzere	-	4347	4405	665	-	-	-	4711	4471	235
Golegã	-	3999	1710	-	-	-	-	3999	1710	-
Lourinhã	-	7938	15254	-	-	-	-	7721	15472	-
Nazaré	116	14284	6	-	-	-	115	14287	3	-
Óbidos	2591	8275	-	-	-	-	2615	8250	-	-
Ourém	-	3628	42456	-	-	-	-	3572	42512	-
Peniche	19214	7720	-	-	-	-	19221	7713	-	-
Rio Maior	-	4515	16539	-	-	-	-	4457	16596	-
Salvaterra de Magos	-	1	12257	7953	-	-	-	2	20209	-
Santarém	31593	18687	11978	1277	-	-	31584	18581	11953	1418
Sardoal	-	2850	1242	-	-	-	-	2850	1242	-
Sobral Monte Agraço	-	8592	212	-	-	-	-	8614	190	-
Tomar	26026	16705	215	-	-	-	26152	16677	116	-
Torres Novas	25494	11336	-	-	-	-	25517	11314	-	-
Torres Vedras	28342	41600	2181	-	-	-	28521	42216	1386	-
Vila Nova Barquinha	739	6848	-	-	-	-	934	6653	-	-
Total	222809	342283	200355	27879	6255	2745	232048	350852	213138	6288

Quadro 26. População e percentagem de população servida por intervalos de acessibilidade à rede de urgências, antes e após a reforma. Síntese para o OVT.

Acessibilidade (min.)	Antes Reforma		Após Reforma	
	População	%	População	%
< 10	222809	27,8	232048	28,9
10 – 20	342283	42,7	350852	43,7
20 – 30	200354	25,0	213138	26,6
30 – 45	27879	3,5	6288	0,8
45 – 60	6255	0,8	-	0,0
> 60	2745	0,3	-	0,0

5.3.3 Conclusões

Este exercício permitiu demonstrar, antes de tudo, que os SIG, com as suas vastas potencialidades de análise espacial, constituem uma ferramenta de grande utilidade no domínio avaliação de políticas públicas de OT. Por fim, ficou demonstrada a utilidade do MDP no cálculo da população servida por equipamentos de grande interesse público.

A aplicação de modelos dasimétricos da população neste domínio é do maior interesse. As políticas públicas, sobretudo na área da Saúde, são alvo de um constante escrutínio social. A avaliação de reformas, a planificação e programação de equipamentos, o seu arranjo geográfico e a sua capacidade de servir as populações podem ser melhor optimizadas através da existência, não apenas de uma base populacional de grande resolução, mas também de outras bases demográficas modeladas por interpolação dasimétrica. Modelos da população pelas diferentes faixas etárias, ou da população empregada em sectores de actividade com elevada incidência de acidentes de trabalho, são apenas dois dos muitos exemplos possíveis.

Bases geográficas multivariadas, completas e espacializadas com a devida exactidão e desagregação, são um ponto de partida para qualquer planificação em matéria de equipamentos.

5.4 Urbanismo e Ordenamento do Território

5.4.1 Enquadramento

A LBPOTU tem como um dos seus princípios fundadores assegurar a "transmissão às gerações futuras de um território e de espaços edificados correctamente ordenados" e, como alguns dos seus principais fins, o aproveitamento racional dos recursos naturais, a preservação do equilíbrio ambiental, a reabilitação e modernização dos centros urbanos, promovendo a coerência dos sistemas em que se inserem, e a funcionalidade dos espaços edificados. Neste sentido, foram definidos um conjunto de objectivos específicos, dos quais se realça:

- "A preservação e defesa dos solos com aptidão natural ou aproveitados para actividades agrícolas, pecuárias ou florestais, restringindo-se a sua afectação a outras utilizações aos casos em que tal for comprovadamente necessário";

- "A adequação dos níveis de densificação urbana, impedindo a degradação da qualidade de vida";
- "A rentabilização das infra-estruturas, evitando a extensão desnecessária das redes e dos perímetros urbanos e racionalizando o aproveitamento das áreas intersticiais";
- A garantia de que "as edificações, isoladas ou em conjunto, se integram na paisagem, contribuindo para a valorização da envolvente".

A LBPOTU surgiu já num contexto de "crescente descaracterização das paisagens e degradação dos recursos naturais em virtude da ocupação desordenada de vastas áreas, na periferia dos principais centros urbanos ou em espaço rural" (Ferreira *et al.* 2008: 3). Por este motivo, a LBPOTU transparece a preocupação pela preservação dos solos e dos recursos naturais, em geral, seriamente ameaçados pela expansão de áreas edificadas dispersas e não ordenadas. É preciso que a ocupação construída do território se ajuste às reais necessidades da população e da economia e que a sua expansão se balize por critérios de contenção – pela rentabilização das infra-estruturas existentes e pela racionalidade de novas construções – e de concentração – pela compactação e consolidação de áreas previamente urbanizadas.

Estas orientações verteram globalmente para a primeira geração de PDM, onde a delimitação de perímetros urbanos surgiu como uma das suas preocupações centrais.

No entanto, por motivos que não cabe aqui discutir, a verdade é que a ocupação edificada do território continuou a crescer, até à actualidade, sem respeito pelos princípios bem intencionados do legislador. Na região Oeste e Vale do Tejo, a carta dos Padrões da Ocupação do Solo fornece um dado muito interessante. Do total de áreas edificadas, constata-se que 62,3% correspondem a áreas classificadas do tipo disperso ou linear descontínuo. A estas áreas somam-se ainda as áreas fragmentadas, que correspondem a 10,6% do total de áreas edificadas (Rego *et al.* 2008). Com isto, pelo menos 70% do território edificado do OVT apresenta padrões que põem em causa os princípios e objectivos consagrados na LBPOTU.

A extensão das áreas de edificação dispersa ao nível regional demonstra a importância que este tipo de ocupação tem tido no processo de crescimento urbano. "A ocorrência de edificações com diferentes arquitecturas e volumetrias numa paisagem com qualidade (…) tende a ser um factor que desvaloriza o território" (Rego *et al.* 2008: 16). As áreas edificadas de morfologia linear desenvolvem-se ao longo de vias de importância municipal ou regional e carecem de hierarquia e núcleos definidos. Por fim, as áreas edificadas fragmentadas, apesar de se serem, geralmente, adjacentes ou próximas a áreas edificadas compactas, são territórios com grande dinâmica urbanística que apresentam problemas "como a falta de identidade,

infra-estruturas insuficientes, rede de acessibilidade incompleta e espaço público ausente" (Rego *et al.* 2008: 14).

No espírito da LBPOTU, o PROT-OVT (CCDR-LVT 2008) define um conjunto de orientações e directrizes específicas para o ordenamento do território, importando destacar algumas bem direccionadas para a racionalização, concentração e contenção das áreas edificadas:

- A polinucleação e integração territorial numa estrutura hierárquica de centros urbanos municipais;
- A concentração do edificado em aglomerados urbanos, contrariando as "formas de povoamento disperso ou linear e a expansão difusa e extensiva dos aglomerados urbanos, privilegiando a reconversão, reestruturação ou requalificação dos espaços edificados existentes já servidos por infra-estruturas e equipamentos, face a proposta de novas áreas de expansão";
- Contenção, proporcionalidade e programação das áreas urbanas, adequando "o dimensionamento e a estruturação do solo urbano com as necessidades existentes e previstas";
- Planeamento das áreas urbanas "com base em critérios exigentes de qualidade urbanística";
- Protecção e valorização dos recursos e valores naturais, "impedindo utilizações que ponham em causa a sua integridade e qualidade".

Estas orientações são materializadas num conjunto de directrizes concretas – de condicionamentos e interdições à expansão urbana e à edificação – cuja base de aplicação parte da prévia classificação de solo rural e solo urbano (regime do uso do solo).

O Decreto-Lei n.º 380/99, de 22 de Setembro, que estabelece o regime jurídico dos instrumentos de gestão territorial, com a redacção dada pelo Decreto-Lei n.º 316/2007 de 19 de Setembro, enquadra a definição do regime do uso do solo ao nível dos PMOT, cuja reclassificação ou requalificação se processa "através dos procedimentos de revisão ou alteração" dos planos municipais. A classificação do solo assenta na "distinção fundamental entre solo rural e solo urbano", entendendo-se:

- "Solo rural, aquele para o qual é reconhecida vocação para as actividades agrícolas, pecuárias, florestais ou minerais, assim como o que integra os espaços naturais de protecção ou de lazer, ou que seja ocupado por infra-estruturas que não lhe confiram o estatuto de solo urbano;
- Solo urbano, aquele para o qual é reconhecida vocação para o processo de urbanização e de edificação, nele se compreendendo os terrenos urbanizados ou cuja urbanização seja programada, constituindo o seu todo o perímetro urbano."

Embora o PROT-OVT avance com critérios para a classificação do solo nas duas categorias, rural e urbano, o Decreto-Lei n.º 380/99 adianta que "serão estabelecidos critérios uniformes aplicáveis a todo o território nacional por decreto regulamentar". Com efeito, prevê-se que, a breve trecho, seja aprovado em Conselho de Ministros, um decreto regulamentar que venha definir os critérios de classificação e de reclassificação, a adoptar pelos PMOT.

Actualmente, os únicos critérios existentes são os do PROT-OVT, e estes desdobram-se em critérios de carácter qualitativo e quantitativo. Por exemplo, a subcategoria do solo urbano "núcleos históricos" é definida como as "áreas edificadas antigas ou históricas inseridas nos aglomerados urbanos em que prevalecem valores arquitectónicos e patrimoniais a preservar, conservar, reabilitar e valorizar". Já a subcategoria de "áreas urbanizadas consolidadas" é definida como correspondente "a uma concentração de edificações destinadas a residência e/ou funções e usos urbanos, afastadas entre si a menos de 50 metros, em áreas com densidade superior a 7 edifícios/hectare, tendo por referência um mínimo de 80 edifícios".

Durante a revisão do PDM, cada município deve aplicar os critérios definidos para determinar (entenda-se, cartografar) as áreas de solo rural e urbano. De acordo com as directrizes do PROT-OVT, os perímetros urbanos devem ser reconfigurados tendo em conta as necessidades espectáveis de crescimento, podendo, em muitos casos, impor-se mesmo a reversão do solo urbano em solo rural.

Da parte das instâncias regionais (CCDR) importa, não só averiguar a concordância entre os critérios definidos superiormente e a sua implementação ao nível dos PMOT (artigo 78º do Decreto -Lei n.º 380/99, republicado pelo Decreto-Lei n.º 316/2007), mas também monitorizar a evolução das dinâmicas urbano-rurais.

Neste contexto, o exercício aqui delineado destinou-se a conceber um produto de rápida produção, grande utilidade e fácil manuseamento para as instâncias regionais, no quadro das suas responsabilidades de avaliação das políticas de OT municipais e monitorização da realidade cambiante.

5.4.2 Aplicação e resultados

O objectivo do exercício é produzir uma cartografia digital vectorial para toda a região OVT, constituída pelas áreas de contiguidade edificada, a que se associam os seguintes atributos tabulares:

- Área (hectares);
- Número de residentes;
- Densidade populacional (residentes/hectare);
- Número de edifícios;
- Densidade de edifícios (edifícios/hectare).

Partindo das construções e edifícios existentes na região, extraídas da Série Cartográfica Nacional 1:10.000 – Modelo Numérico Topográfico (MNT), do IGP, construiu-se um *buffer* de 25 metros em torno de cada objecto vectorial. Dos polígonos resultantes, foram dissolvidos num só polígono todos aqueles que se intersectassem, constituindo assim áreas de contiguidade, dentro das quais se garante um espaçamento máximo de 50 metros entre edifícios.

Dado o enorme volume de informação, o processo de criação de áreas de contiguidade por *buffering* teve de ser realizado concelho a concelho, para evitar o *crash* do *software*. Posteriormente, a informação foi reunida para toda a região. Nesta fase, fez-se ainda um procedimento adicional para dissolver os *buffers* que se intersectavam na proximidade dos limites dos concelhos, de modo a garantir contiguidades edificadas inter-concelhias.

Para cada um dos polígonos de contiguidade edificada associou-se uma tabela de dados, com os atributos acima listados. A área foi calculada recorrendo a ferramentas disponíveis no SGIG. A informação sobre o número de residentes e edifícios foi estimada, para cada área de contiguidade, recorrendo ao procedimento de *zonal statistics* já descrito no começo deste capítulo (somatório do valor dos pixéis no interior de cada zona de destino), com base nos modelos de distribuição da população e do edificado (MDP e MDEr). O resultado final é uma tabela em que cada linha corresponde a uma área de contiguidade edificada e, por coluna, são descritos os atributos (figura 35).

Attributes of OVT_edif_buffer25m

Shape *	Codigo	PopRes	Dens_pop	Edificios	Dens_edif	Area_ha
Polygon	31071	405	26.64	175	11.54	15.2
Polygon	8229	404	13.92	219	7.54	29.04
Polygon	52056	402	13.54	205	6.9	29.69
Polygon	704	401	13.49	151	5.07	29.71
Polygon	55452	401	12.86	274	8.79	31.16
Polygon	217	400	15.3	174	6.64	26.12
Polygon	11614	400	19.22	195	9.38	20.79
Polygon	28969	399	17.48	199	8.72	22.85
Polygon	23509	399	19.28	241	11.66	20.71
Polygon	50996	398	16.51	207	8.6	24.13
Polygon	31089	398	21.19	163	8.66	18.77
Polygon	1059	394	12.22	181	5.63	32.2
Polygon	47758	391	10.72	168	4.62	36.5
Polygon	30714	391	16.92	178	7.69	23.11

Record: 0 Show: All Selected Records (0 out of 55952

Figura 35. Tabela de atributos das áreas de contiguidade edificada do OVT.

A informação produzida é susceptível de ser cartografada. Note-se, no mapa da figura 36, como a unidade básica de representação não é nenhum zonamento normativo, nem o pixel, mas as áreas de contiguidade edificada, em formato vectorial. A informação também pode ser consultada e inquirida interactivamente em SIG, partindo dos dados tabulares (figura 35).

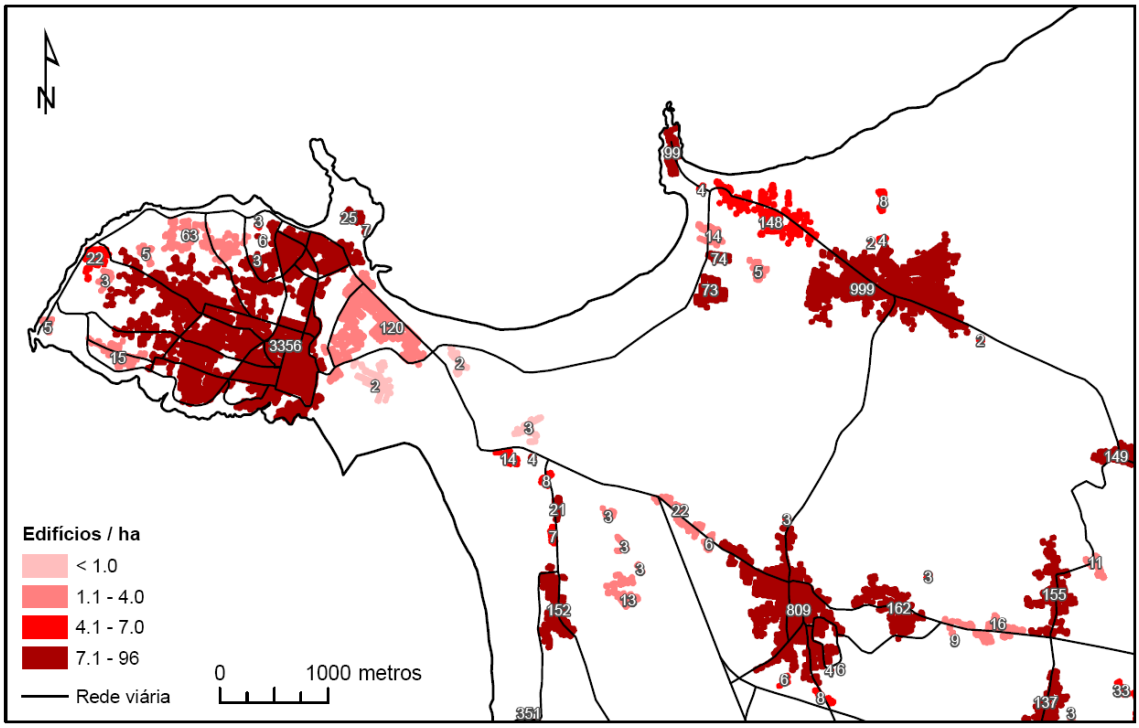


Figura 36. Densidade e número de edifícios residenciais por área de contiguidade para a área de Peniche, 2001. Classificação: Classe 4 a 7 edifícios/ha: áreas passíveis de serem classificadas como solo urbano, de acordo com o decreto regulamentar sobre os critérios de classificação do solo (documento de trabalho); Classe > 7 edifícios/ha: áreas urbanas consolidadas definidas no Anexo 2 do PROT-OVT (CCDR-LVT 2008), cumulativamente com o critério de um mínimo de 80 edifícios.

No Anexo 5 consta um mapa das áreas de contiguidade edificada para toda a região OVT. As classes aí utilizadas foram as mesmas da figura 36. Os círculos proporcionais, constantes no referido mapa do Anexo 5, foram apenas representados para as áreas de contiguidade edificada com 80 ou mais edifícios. Áreas de contiguidade edificada com 80 ou mais edifícios e uma densidade edificada média superior a 7 edifícios por hectare correspondem, segundo os critérios definidos no PROT-OVT, a áreas urbanas consolidadas.

5.4.3 Conclusões

Analisando a cartografia (figura 36) e os dados tabulares (figura 35) que este exercício permitiu produzir, é fácil compreender a sua utilidade no âmbito da gestão urbanística, na aplicação de critérios definidores de solo rural e urbano, assim como no processo de monitorização. Além disso, o produto final constitui uma base aproximada da realidade, quer em termos da morfologia do fenómeno urbano, quer em termos da magnitude e intensidade da sua ocupação populacional e edificada.

O processo de produção é simples e bastante automatizado. A construção da tabela de atributos para as áreas contíguas "confia" nos modelos da distribuição da população e do edificado (MDP e MDEr). Outras informações podem ser acrescentadas facilmente à tabela de atributos, disponha-se, para tal, de modelos dasimétricos da distribuição de outras variáveis.

Para uma análise à escala regional, e apesar de ser possível introduzir ainda melhoramentos, sobretudo ao nível do refinamento da geometria das áreas de contiguidade, o produto apresenta já um detalhe adequado.

À escala municipal, a mesma metodologia pode ser aplicada. No entanto, no que concerne à geometria das áreas de contiguidade, sugerem-se, por exemplo, os refinamentos levados a cabo por Ferreira *et al.* (2008) no trabalho sobre a delimitação de áreas urbanas consolidadas no concelho de Tomar. No que concerne às contagens automáticas de edifícios/construções por área de contiguidade, as mesmas podem ser corrigidas a partir da interpretação visual de ortofotomapas actualizados.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

O trabalho desenvolvido para esta dissertação tinha como objectivo final a produção de dois modelos cartográficos da distribuição da população e do edificado residencial na região portuguesa Oeste e Vale do Tejo. Para se chegar a esse objectivo, foram, primeiramente, estudados e revistos (capítulos 2 e 3):

- Os principais conceitos sobre cartas, cartografia e cartografia temática;
- As formas mais comuns e convencionais utilizadas para representar a distribuição da população, em particular os mapas de pontos e os mapas coropletos;
- As principais limitações da cartografia convencional no âmbito da representação de distribuições populacionais;
- Os principais métodos e técnicas de interpolação zonal, em particular os destinados à produção de superfícies matriciais populacionais;
- As principais aplicações da cartografia dasimétrica, que recorre a informação auxiliar para informar a interpolação zonal.

Posteriormente, concebeu-se um esquema metodológico de trabalho conducente à produção de vários modelos experimentais da distribuição da população e do edificado residencial com recurso à interpolação zonal dasimétrica (capítulo 4). Cada modelo foi produzido utilizando diferentes opções técnicas, quer ao nível da informação auxiliar utilizada, quer ao nível do algoritmo, binário ou "inteligente".

O algoritmo binário redistribui a população das zonas de origem para as zonas de destino, considerando apenas a distinção entre áreas povoadas e não povoadas. A redistribuição é feita de forma proporcional à área ocupada pelas áreas povoadas. O algoritmo "inteligente" considera que as áreas povoadas podem ter densidades de ocupação (populacional ou edificada) diversas entre si. Para tal, a informação auxiliar é categorizada em diferentes classes de ocupação do solo, e as densidades de ocupação são estimadas. A estimação de densidades pode ser feita através de diferentes metodologias. A adoptada neste trabalho consistiu numa abordagem empírica, tendo sido amostradas zonas de origem representativas de cada classe de ocupação do solo para estimar as suas densidades de ocupação. O processo de amostragem foi seccionado nas três divisões NUT3 existentes no OVT, de forma a capturar eventuais diferenças de densidade existentes ao nível sub-regional.

Os modelos experimentais produzidos foram avaliados através de uma abordagem que compara a distribuição modelada com informação real e conhecida, associada a um zonamento censitário de maior desagregação (subsecções) do que o utilizado para produzir os modelos (secções). Para cada subsecção foram calculados os desvios, ou erros, produzidos pelo modelo, e derivado um conjunto de estatísticas. Os resultados foram ainda submetidos a uma análise de variância, para determinar se a qualidade dos vários modelos era significativamente diferente. Os melhores modelos utilizaram o Mapeamento Dasimétrico Inteligente (MDI) e a informação auxiliar relativa ao edificado residencial à escala 1:10.000 (ER10k). Os edifícios herdaram as densidades inferidas a partir de informação da ocupação do solo subjacente. Estas opções foram, então, utilizadas para gerar os modelos finais da população e do edificado residencial, utilizando como zonas de origem as subsecções.

Na última fase do trabalho, os modelos finais foram utilizados em três exercícios aplicados ao ordenamento do território (população e edificado em risco, população servida por equipamentos e urbanismo), demonstrando, assim, a utilidade e potencial dos modelos digitais produzidos (capítulo 5).

Das principais vantagens dos modelos, destacam-se:

- A grande desagregação e resolução espacial das variáveis, modeladas em superfícies semi-contínuas matriciais, com a resolução de 30 metros;
- A localização dos fenómenos cartografados às áreas em que eles realmente ocorrem;
- A sua fácil integração com outras bases geográficas, recorrendo a técnicas simples disponíveis em SGIG comerciais, que possibilitam, quer a reagregação dos dados para os mais diversos zonamentos, quer as operações de álgebra de mapas.

Os modelos produzidos para esta dissertação, apesar de garantirem a preservação do volume original dos dados por zona de origem (propriedade picnofilática), não estão isentos de erro. A desagregação de uma zona de origem em unidades mais básicas, como o pixel, assume pressupostos relacionados com a densidade relativa entre as diferentes classes do zonamento auxiliar utilizado. Mas o erro introduzido pela modelação dasimétrica restringe-se ao interior das zonas de origem. Este tipo de erro é admissível, sobretudo se se tiver em conta que a alternativa aos modelos dasimétricos é usar o zonamento censitário para qualquer aplicação: seja a representação cartográfica da distribuição populacional, seja a transformação do zonamento censitário num zonamento não compatível através de simples *areal wheighting*.

É importante referir ainda que as técnicas dasimétricas demonstradas nesta dissertação podem ser facilmente transportadas para outras regiões. Com efeito, a opção pela abordagem

empírica na estimação das densidades do zonamento auxiliar permite um processo adaptativo à modelação de cada região, devendo optar-se por um seccionamento sub-regional da amostragem.

A modelação de outras variáveis socioeconómicas é igualmente possível. Deve, no entanto, procurar-se sempre uma forte correlação territorial entre a variável a modelar e a informação auxiliar. Por exemplo, se o objectivo for cartografar o emprego, é preciso excluir das zonas edificadas as exclusivamente residenciais, e introduzir outro tipo de construções, como superfícies industriais, comerciais, edifícios públicos, etc.

A concordância temporal entre dados modelados e informação auxiliar nem sempre foi conseguida. Os erros produzidos por estas inconsistências são difíceis de identificar nos modelos dasimétricos. Contudo, é lógico que dados auxiliares mais antigos do que as variáveis a modelar produzam modelos que subestimem as áreas ocupadas e dados auxiliares mais recentes do que as variáveis a modelar tendem a produzir modelos que sobrestimam as áreas ocupadas. Num e noutro casos, os valores do modelo por pixel podem sofrer algumas distorções face à realidade. Numa situação ideal, a informação auxiliar deve ser contemporânea dos dados a modelar, o que, considerando os diferentes ritmos de produção de informação estatística e cartográfica, não é fácil de atingir.

Ainda relativamente à informação auxiliar, nem sempre é possível dispor da informação à melhor escala e com a maior relação com a variável a modelar, seja por custos de aquisição, seja pela sua inexistência. Nesses casos, é importante considerar outras fontes de informação auxiliar, como as relativas à ocupação do solo, derivadas de cartas temáticas de ocupação do solo ou de imagens de satélite. O custo-benefício das diferentes informações auxiliares disponíveis deve ser equacionado previamente à produção de um mapa. Por exemplo, no estudo experimental levado a cabo nesta dissertação, a informação da carta POS-OVT produziu resultados bastante aceitáveis quando utilizado o MDI. Na impossibilidade de usar informação sobre o edificado, uma carta de ocupação do solo com as características da POS pode constituir uma alternativa aceitável.

Ficou igualmente demonstrado o grande espectro de aplicações possíveis para os modelos produzidos. Contudo, no que concerne ao domínio dos Riscos, ou a outros não abordados, como o *Geomarketing*, é da maior importância produzir modelos da distribuição diurna da população. Estes modelos, contudo, oferecem mais desafios, já que necessitam de informação indicativa da localização das pessoas durante o dia, em deslocação, trabalho ou estudo.

Também os efeitos da sazonalidade, sobretudo em regiões turísticas, devem ser acautelados na modelação da distribuição da população para determinadas aplicações.

Mais investigação deve ser conduzida no sentido de comparar os métodos disponíveis para estimar as densidades das classes da informação auxiliar e conhecer as suas implicações na qualidade dos modelos produzidos. Também o efeito da resolução adoptada na qualidade dos modelos deve ser melhor conhecido.

A produção de cartografia dasimétrica é um processo demorado e exaustivo. Algum *software* desenvolvido por investigadores de interpolação zonal e de cartografia dasimétrica tem sido recentemente disponibilizado de forma gratuita na Internet[70], no sentido de automatizar e facilitar a produção de modelos. Por isso, a avaliação do *software* sucessivamente disponibilizado é um aspecto que também deve ser considerado futuramente.

Sobre os erros inerentes ao SIG e sobre a utilização dos métodos de interpolação zonal dasimétrica, ainda pouco generalizados na comunidade técnica e científica, cita-se Langford (2007: 22):

> *Most users are aware that assumptions, simplifications and errors are inherent in almost all aspects of data collection, storage, manipulation and analysis within a GIS. Thus, areal interpolation error might be seen as just one more source of inaccuracy amongst a long list of potential causes, with no particular reason to be singled out for attention. General familiarity with the simple areal weighting method, the perception that it seems good enough for other co-workers, and perhaps a lack of awareness of the alternatives, all help to build inertia and prevent the uptake of more accurate techniques.*

Em suma, os trabalhos desenvolvidos para esta dissertação e as conclusões conceptuais e metodológicas que daí advieram têm um carácter de grande utilidade para cientistas e técnicos que recorrem aos SIG, bem como para o ordenamento do território, nas suas múltiplas vertentes. Num país como Portugal, onde a linha de investigação aqui seguida é ainda muito incipiente, com apenas dois trabalhos prévios a esta dissertação, ambos de 2007, encoraja-se o aprofundamento e aperfeiçoamento das questões técnicas e metodológicas aqui abordadas, assim como difusão alargada da cartografia dasimétrica, aplicando-a a outras temáticas e regiões.

[70] O SurfaceBuilder (v2007), desenvolvido por Dave Martin, produz superfícies populacionais com base em centróides. A extensão Dasymetric Mapping Tool para ArcGIS 9.2 foi produzida pela USGS. O Raster Automated Dasymetric Script foi desenvolvido por Torrin Hultgren e modificado por Mark Hessenflow.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amaral, S. *et al.* (2002) – *Interpoladores espaciais para geração de superfícies de densidade populacional na Amazónia brasileira: problemas e perspectivas*. IV Simpósio Brasileiro de Geoinformática, Caxambu, 2002.

Amaral, S. *et al.* (2005) – *Estimativa da distribuição espacial da população na Amazónia brasileira com uso de sensoriamento remoto orbital: contribuições das imagens CCD/CBERS no caso do município do Marabá-PA*. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16 a 21 de Abril, 2005, Goiânia, Brasil. 765-773.

Balk, D. e Yetman, G. (2004) – *The global distribution of population: evaluating the gains in resolution refinement*. CIESIN, Columbia University, EUA. Disponível em http://sedac.ciesin.columbia.edu/gpw/docs/gpw3_documentation_final.pdf

Bhaduri *et al.* (2002) – *LandScan: locating people is what matters*. Geoinformatics 5(3): 34-37. Disponível em http://www.ornl.gov/sci/landscan/landscanCommon/LandScan_Geoinformatics_article.pdf

Bielecka, E. (2005) – *A dasymetric population density map of Poland*. Actas da International Cartographic Conference, 9 a 15 de Junho, Corunha, Espanha.

Bispo, C.L.S. (2008) – *A territorialização do urbano e a sua representação*. Prova final da Licenciatura em Arquitectura. Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto. Não publicada.

CCDR-Algarve (2002) – *Plano Regional de Ordenamento do Território do Algarve – Volume II: Caracterização e Diagnóstico.* Disponível em http://www.territorioalgarve.pt/

CCDR-LVT (2008) – *Plano Regional de Ordenamento do Território do Oeste e Vale do Tejo*. Versão para discussão pública. Disponível em http://consulta-protovt.inescporto.pt/plano-regional/proposta-de-prot-ovt/Proposta_PROT_OVT.pdf

Comissão Técnica de Apoio ao Processo de Requalificação das Urgências (2007) – *Proposta da Rede de Urgências – Relatório Final*. Ministério da Saúde.

Crawford, C.G. e Young, L.J. (2004) – *Combining incompatible spatial data: an introductory overview of statistical issues and methods*. Workshop for the Statistical and Applied Mathematical Sciences Institute (SAMSI), 14 de Janeiro de 2004. Disponível em http://www.samsi.info/200304/multi/cgcrawford.pdf

Deichmann, U. (1996) – *A review of spatial population database design and modelling*. Paper prepared for the UNEP/CGIAR Initiative on the Use of GIS in Agricultural Research, National Center for Geographic Information and Analysis (NCGIA). University of California.

Dempster, A.P., Laird, N.M. e Rubin, D.B. (1977) – *Maximum likelihood estimation from incomplete data via the EM algorithm*. Journal of the Royal Statistical Society B 39(1): 1-38.

Dias, M.H. (1991) – *Leitura e comparação de mapas temáticos em Geografia* (livro baseado na dissertação de doutoramento em Geografia Física apresentada à Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa). Centro de Estudos Geográficos. Lisboa.

Dias, M.H. (1991) – *O mapa da distribuição da população portuguesa em 1981*. Centro de Estudos Geográficos. Lisboa.

Dias, M.H. (1995) – *Os mapas em Portugal – da tradição aos novos rumos da cartografia*. Edições Cosmos. Lisboa

Dias, M.H. (2007) – *Cartografia Temática: programa*. Centro de Estudos Geográficos. Lisboa.

Dobson, J.E. *et al.* (2000) – *LandScan: A global population database for estimating population at risk*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 66(7): 849-857.

Eicher, C.L. e Brewer, C.A. (2001) – *Dasymetric mapping and areal interpolation: implementation and evaluation*. Cartography and Geographic Information Science 28(2): 125-138.

Fernandes, M.G. (2008) – *Cartografia: programa, conteúdos e métodos de ensino*. Departamento de Geografia da Faculdade de Letras da Universidade do Porto. Relatório policopiado.

Ferreira, J.A.A *et al.* (2008) – *Metodologia para a delimitação de áreas consolidadas: uma aplicação ao concelho de Tomar*. Comunicação apresentada na conferência anual da Ad

Urbem, 12 de Dezembro de 2008. Disponível em: http://www.adurbem.pt/images/stories/ficheiros/encontro/Condessa.pdf

Florida, R., Gulden, T., Mellander, C. (2008) – *The rise of the mega-region*. Cambridge Journal of Regions, Economy and Society 1(3): 459-476.

Freire, S. (2007a) – *Onde estão as pessoas quando não estão em casa? Modelação em SIG das distribuições diurnas e nocturnas da população de Cascais e Oeiras para avaliação de risco e apoio a emergências*. Actas da Conferência Saúde e Tecnologias de Informação Geográfica, 31 de Maio a 1 Junho, Lisboa, Portugal.

Freire, S. (2007b) – *O projecto DemoCarto: modelação em SIG da distribuição espacial e temporal da população de Cascais e Oeiras com alta resolução*. Actas do VI Congresso da Geografia Portuguesa, 17 a 20 Outubro, Lisboa, Portugal.

Gallego, J. (2005) – *Mapping rural/urban areas from population density grids*. Disponível em http://www.ec-gis.org/docs/F11116/RURAL%20URBAN%20%20POPDENS.PDF

Gallego, J. (2006) – *Disaggregated Population Density to CLC*. Conferência ETC-TE, Barcelona, 12 de Julho de 2006. Disponível em http://eea.eionet.europa.eu/Public/irc/eionet-circle/leac/library?l=/meetings_workshops/urban-umz_barcelona/disaggregated_population/_EN_1.0_ &a=d

Gallego, J. (s.d.) – *Downscaling population density in the European Union with a land cover map and a point survey*. Disponível em http://dataservice.eea.europa.eu/download.asp?id= 18555&filetype=.pdf

Gallego, J. e Peedell, S. (2001) – *Using Corine Land Cover to map population density*. In European Environment Agency. "Towards agri-environmental indicators: Integrating statistical and administrative data with land cover information". Copenhaga. 94-105.

García, F.J.M. (2003) – *La representación gráfica de las variables regionalizadas: geoestadística lineal*. Servicio de Publicaciones. Universidad de Extremadura.

Gaspar, J.A. (2005) – *Cartas e projecções cartográficas*. 3ª ed. Lidel Edições Técnicas. Lisboa.

Gaspar, J.A. (2007) – *Ciências Cartográficas: Elementos de Cartografia (módulo 3)*. 3ª ed. Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação (ISEGI), Universidade Nova de Lisboa.

Gaspar, J.A. (2008) – *Dicionário de ciências cartográficas*. 2ª ed. Lidel Edições Técnicas. Lisboa.

Grancho, N.J.R. (2003) – *História dos SIG em Portugal*. Trabalho final de disciplina do Mestrado em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica, Instituto Superior de Estatística e Gestão da Informação da Universidade Nova de Lisboa (ISEGI-UNL). Disponível em http://www2.fcsh.unl.pt/docentes/rpj/docs/sig_hist.pdf

Harvey, J.T. (2002) – *Population estimation models based on individual TM pixels*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 68(11): 1181-1192.

Hultgren (2005) – *The Role of Resolution in Dasymetric Population Mapping*. Dissertação apresentada à Universidade do Colorado, EUA, para obtenção do grau de mestre. Não publicada. Disponível em http://torrin47.googlepages.com/Thesis.pdf

IGP (2005) – *Atlas de Portugal*. Versão *on-line* disponível em http://www.igeo.pt/atlas/

INE (2001) - *Recenseamento Geral da População e da Habitação*. Lisboa.

Johnston, K. *et al.* (2001) - *Using ArcGIS Geostatistical Analyst*. ESRI.

Langford, M. (2005) – *Dasymetric mapping of industry and commerce across Wales, UK, using geospatial integration of national mapping agency products*. American Congress on Surveying & Mapping. Disponível em http://www.acsm.net/sessions05/langford05.pdf

Langford, M. (2006) – *Obtaining population estimates in non-census reporting zones: an evaluation of the 3-class dasymetric method*. Computers, Environment and Urban Systems 30: 161-180.

Langford, M. (2007) – *Rapid facilitation of dasymetric-based population interpolation by means of raster pixel maps*. Computers, Environment and Urban Systems 31: 19-32.

Langford, M. e Higgs, G. (2006) – *Measuring potential access to primary healthcare services: the influence of alternative spatial representations of population*. The Professional Geographer 58(3): 294-306.

Langford, M. e Unwin, D.J. (1994) – *Generating and mapping population density surfaces within a geographical information system*. Cartographic Journal 31(1): 21-26.

Langford, M. *et al.* (2008) – *Urban population distribution models and service accessibility estimation*. Computers, Environments and Urban Systems 32: 66-80.

Lima, M.V.N. (editor) (2005) – *IMAGE2000 and CLC2000: Products and Methods*. Joint Research Centre, Comissão Europeia, Ispra, Itália.

Liu, X. e Liu, Y. (2008) – *The accuracy assessment in areal interpolation: an empirical investigation*. Science in China Series E: Technological Sciences 51: 62-71.

Liu, X.H., Kyriakidis, P.C. e Goodchild, M.F. (2008) – *Population-density estimation using regression and area-to-point residual kriging*. International Journal of Geographical Information Science 22(4) 431-447.

Machado, J.R. (1998) – *A Socio-Economic GIS: An Application to the Portuguese Census Data Using the 1 KM Square Grid*. Actas do GIS PLANET 1998 Annual Conference, Lisboa, Portugal. Disponível em http://www.igeo.pt/servicos/CDI/biblioteca/pdf/SIG_231_192.pdf

Marques, T.S. *et al.* (2008) – *Sistema Urbano e Equipamentos*. Relatório sectorial de caracterização e diagnóstico do PROT-OVT. Disponível em http://consulta-protovt.inescporto.pt/plano-regional/relatorio-do-plano/relatorios-sectoriais-de-caracterizacao-e-diagnostico/Sectorial_Sistema_Urbano_Equipamentos.pdf

Martin, D. (1989) – *Mapping population data from zone centroid locations*. Transactions of the Institute of British Geographers, New Series 14(1): 90-97.

Martin, D., Tate, N.J. e Langford, M. (2000) – *Refining population surface models: experiments with Northern Ireland Census Data*. Transactions in GIS 4: 343-360.

Matos, J.L. (2001) – *Fundamentos de Informação Geográfica*. 3ª edição. Lidel – Edições Técnicas. Lisboa.

Mennis, J. (2003) – *Generating Surface Models of population using dasymetric mapping*. The professional Geographer 55(1): 31-42.

Mennis, J. e Hultgren, T. (2006) – *Intelligent dasymetric mapping and its application to areal interpolation*. Cartography and Geographic Information Science 33(3): 179-194.

Néry, F. *et al.* (2007) – *Interpolação zonal de estatísticas socio-económicas*. Actas da V Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia. Lisboa. 89-100.

Openshaw, S. (1984) – *The modifiable areal unit problem*. Concepts and Techniques in Modern Geography, 38 (Geo Books, Norwich).

Painho, M. e Caetano, M. (coord.) (2006) – *Cartografia de ocupação do solo: Portugal continental, 1985-2000: CORINE Land Cover 2000*. Instituto do Ambiente. Amadora.

Peedell, S. (1999) – *Mapping Population Density: Distribution of Population using CORINE Land Cover*. Disponível em http://dataservice.eea.europa.eu/download.asp?id=9013&filetype=.pdf

Prat, E. *et al*. (2008) – *Estudio sobre la accesibilidad de los centros sanitarios públicos de Cataluña*. *In* "Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial". Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. 396-411.

Rase, D. (2001) – *Dealing with the modifiable areal unit problem: Spatial transformation methods for the analysis of geographic data*. *In* European Environment Agency, "Towards agri-environmental indicators: Integrating statistical and administrative data with land cover information". Copenhaga. 25-38.

Rego, J.S. *et al.* (2008) – *Padrões de Ocupação do Solo*. Relatório sectorial de caracterização e diagnóstico do PROT-OVT. Disponível em: http://consulta-protovt.inescporto.pt/plano-regional/relatorio-do-plano/relatorios-sectoriais-de-caracterizacao-e-diagnostico/POS_Dianostico-Estategico-finalMAIO08.pdf

Reibel, M. e Agrawal, A. (2007) – *Areal Interpolation of Population Counts Using Pre-classified Land Cover Data*. Population Research and Policy Review 26: 619-633.

Reibel, M. e Bufalino, M. (2005) – *Street-weighted interpolation techniques for demographic count estimation in incompatible zone systems*. Environment and Planning A 37: 127-139.

Robinson, A. *et al.* (1995) – *Elements of Cartography*. 6ª ed. John Wiley & Sons.

Silva, F.B. e Marques, T.S. (2008) – *Elaboração do mapa de acessibilidade rodoviária à rede de urgências de Portugal*. Poster apresentado no VI Colóquio de Geografia de Coimbra, 12 e 13 de Dezembro de 2008, Coimbra, Portugal.

Sleeter, R. (2004) – *Dasymetric mapping techniques for the San Francisco Bay region, California*. Actas da conferência anual da Urban and Regional Information Systems Association, 7 a 10 de Novembro, 2004, Reno.

Sleeter, R. e Gould, M. (2007) – *Geographic information system software to remodel population data using dasymetric mapping methods*. U.S. Geological Survey Techniques and Methods 11-C2.

Sleeter, R. e Wood, N. (2006) – *Estimating daytime and nighttime population density for coastal communites in Oregon*. Actas da conferência anual da Urban and Regional Information Systems Association, 26 a 29 de Setembro, 2006, Vancouver.

Slocum, T.A. (1999) – *Thematic cartography and visualization*. 1ª edição. Prentice Hall. Upper Saddle River.

Slocum, T.A. *et al.* (2009) – *Thematic cartography and geovisualization*. 3ª edição. Pearson Prentice Hall. Upper Saddle River.

Smith, M.J., Goodchild, M.F. e Longley, P.A. (2007) – *Geospatial analysis: A comprehensive guide do principles, techniques and software tools*. Winchelsea Press. Leicester.

Steiner, P. e Paulus, G. (2007) – *Dasymetric mapping for public health planning*. Comunicação apresentada no 10th AGILE International Conference on Geographic Information Science, 8 a 11 de Maio de 2007, Aalborg University, Dinamarca.

Tobler, W.R. (1979) – *Smooth pycnophylactic interpolation for geographical regions*. Journal of the American Statistical Association 74(367): 519-530.

Vega, R.S., Peñate, D.S. e González, P.D. (2008) – *Generación de un modelo superficial de la población de Gran Canaria*. *In* "Tecnologías de la Información Geográfica para el Desarrollo Territorial". Servicio de Publicaciones y Difusión Científica de la ULPGC. Las Palmas de Gran Canaria. 183-193.

Vidal, C., Gallego, J. e Kayadjanian, M. (2001) – *Geographical use of statistical data*. *In* European Environment Agency. "Towards agri-environmental indicators: Integrating statistical and administrative data with land cover information". Copenhaga. 11-24.

Voss, P.R., Long, D.D. e Hammer, R.B. (1999) – *When Census Geography Doesn't Work: Using Ancillary Information to Improve the Spatial Interpolation of Demographic Data*. Center for Ecology and Demography, University of Wisconsin-Madison. Disponível em http://www.ssc.wisc.edu/cde/cdewp/99-26.pdf

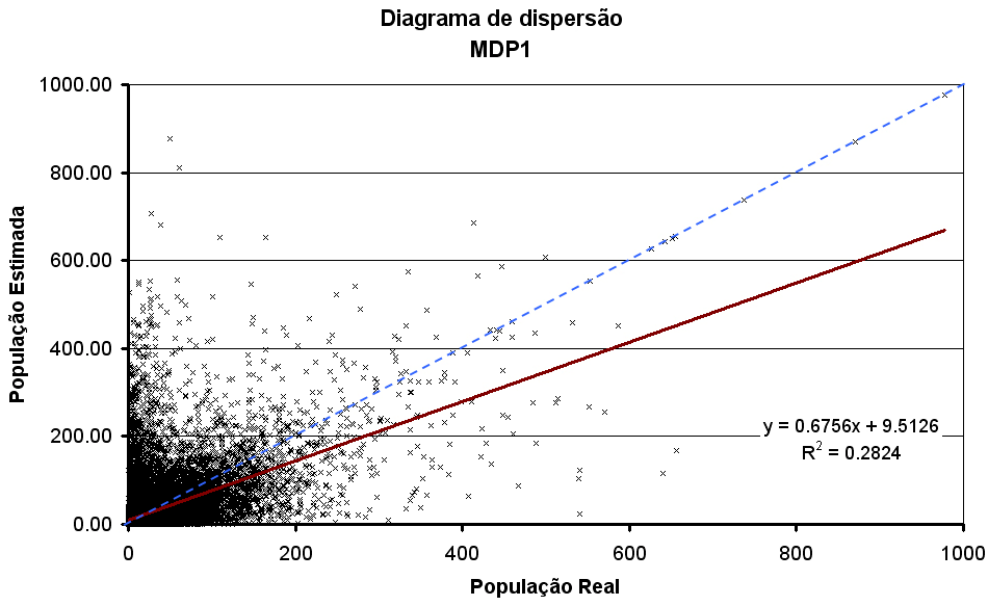
Wright, J.K. (1936) – *A Method of Mapping Densities of Population*. The Geographical Review 26(1): 103-110.

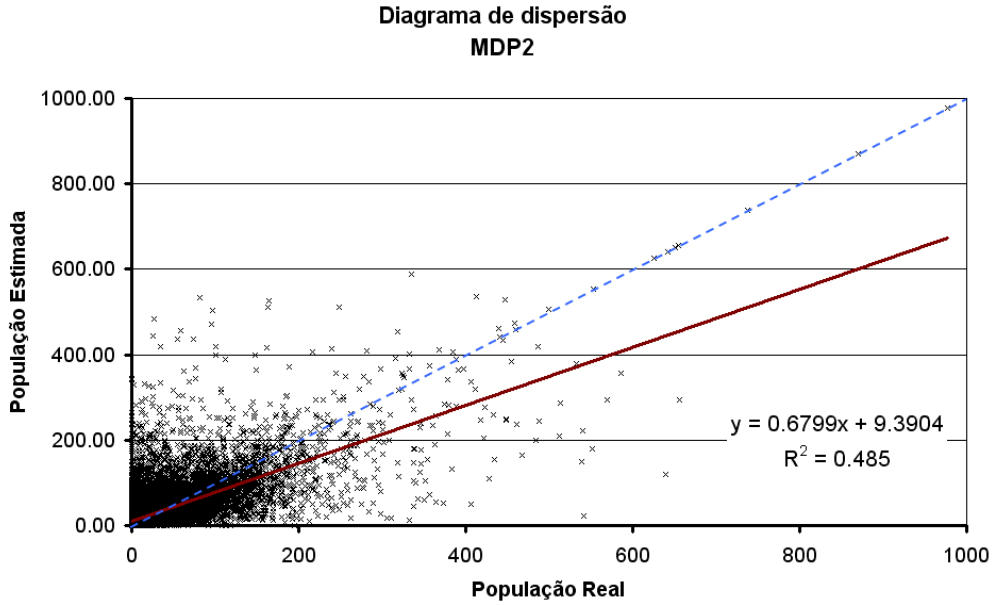
Wu, S., Qiu, X. e Wang, L. (2005) – *Population estimation methods in GIS and remote sensing: a review*. GIScience and Remote Sensing 42(1): 58-74.

Zêzere, J.L, Pereira, A.R e Morgado, P. (2006) – *Perigos naturais e tecnológicos no território de Portugal continental*. Centro de Estudos Geográficos. Lisboa.

Zêzere, J.L. *et al.* (2008) – Riscos e Protecção Civil. Relatório sectorial de caracterização e diagnóstico do PROT-OVT. Disponível em http://consulta-protovt.inescporto.pt/plano-regional/relatorio-do-plano/relatorios-sectoriais-de-caracterizacao-e-diagnostico/POS_Dianostico-Estategico-finalMAIO08.pdf

ANEXO 1: DIAGRAMAS DE DISPERSÃO DOS MODELOS DIGITAIS DA POPULAÇÃO (1 A 6)





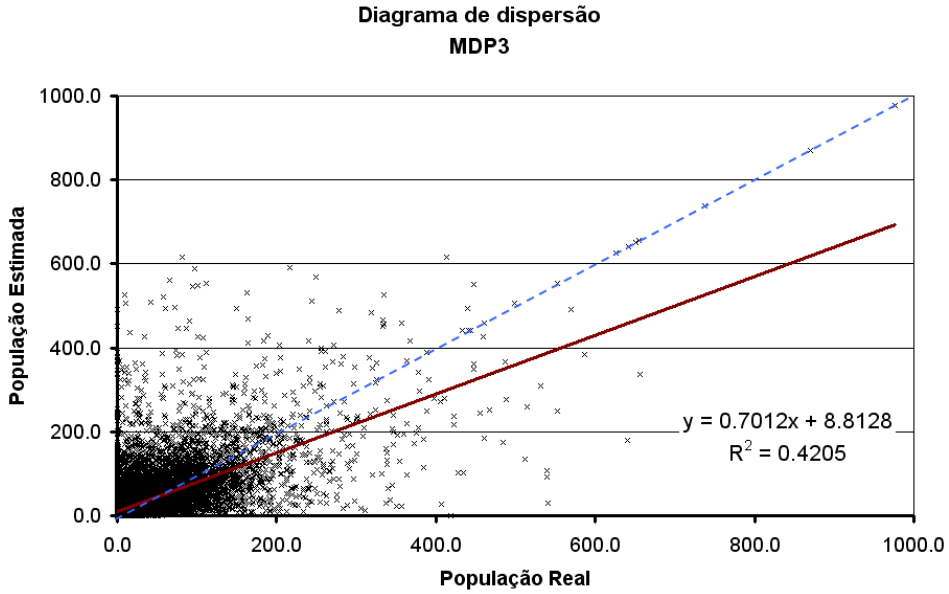


Diagrama de dispersão
MDP3
1000.0
800.0
600.0
400.0
200.0
0.0
População Estimada
0.0
200.0
400.0
600.0
800.0
1000.0
População Real
y = 0.7012x + 8.8128
R2 = 0.4205

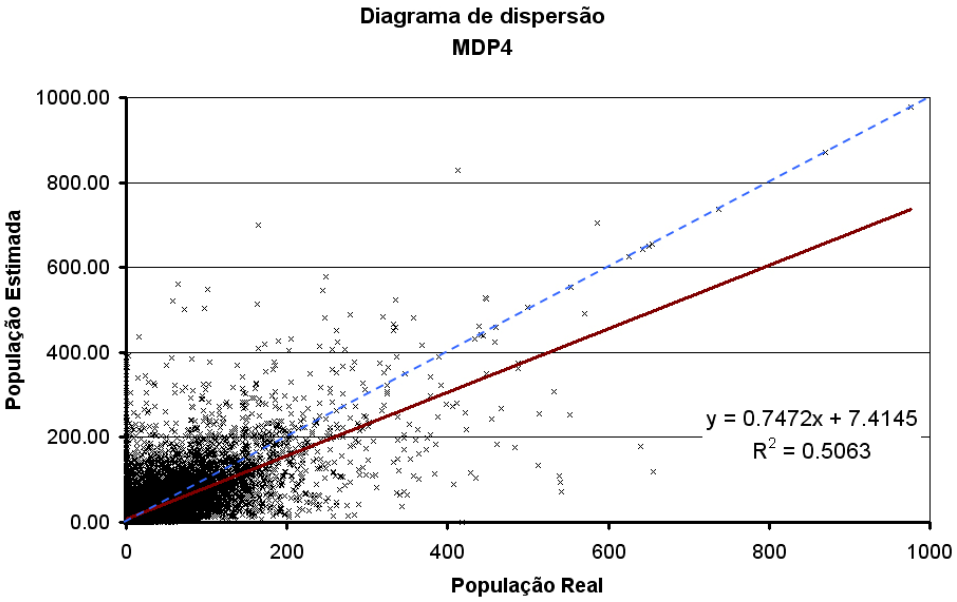


Diagrama de dispersão
MDP4
1000.00
800.00
600.00
400.00
200.00
0.00
População Estimada
0
200
400
600
800
1000
População Real
y = 0.7472x + 7.4145
R2 = 0.5063

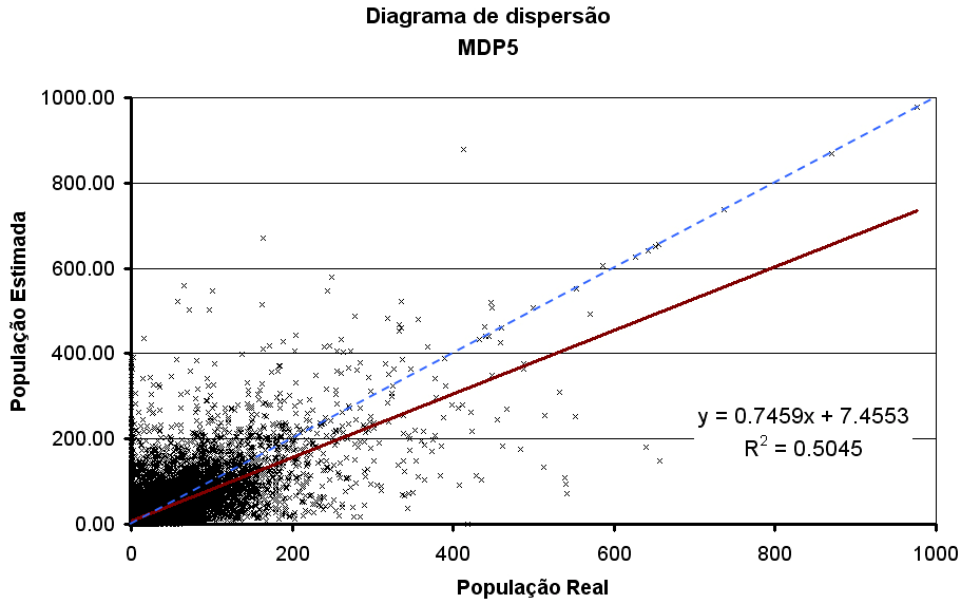


Diagrama de dispersão
MDP5
1000.00
800.00
600.00
400.00
200.00
0.00
População Estimada
0
200
400
600
800
1000
População Real
y = 0.7459x + 7.4553
R2 = 0.5045

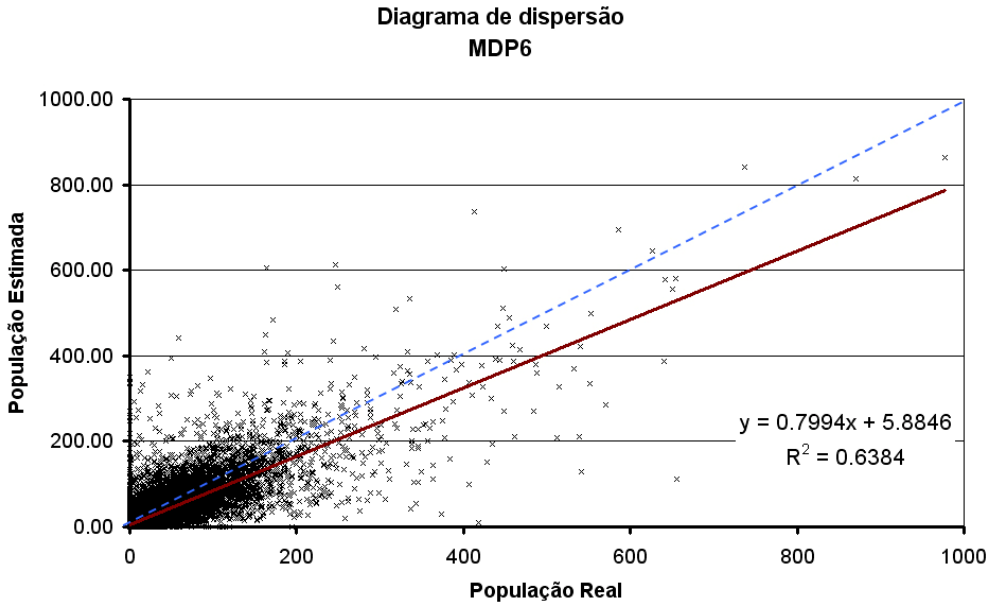
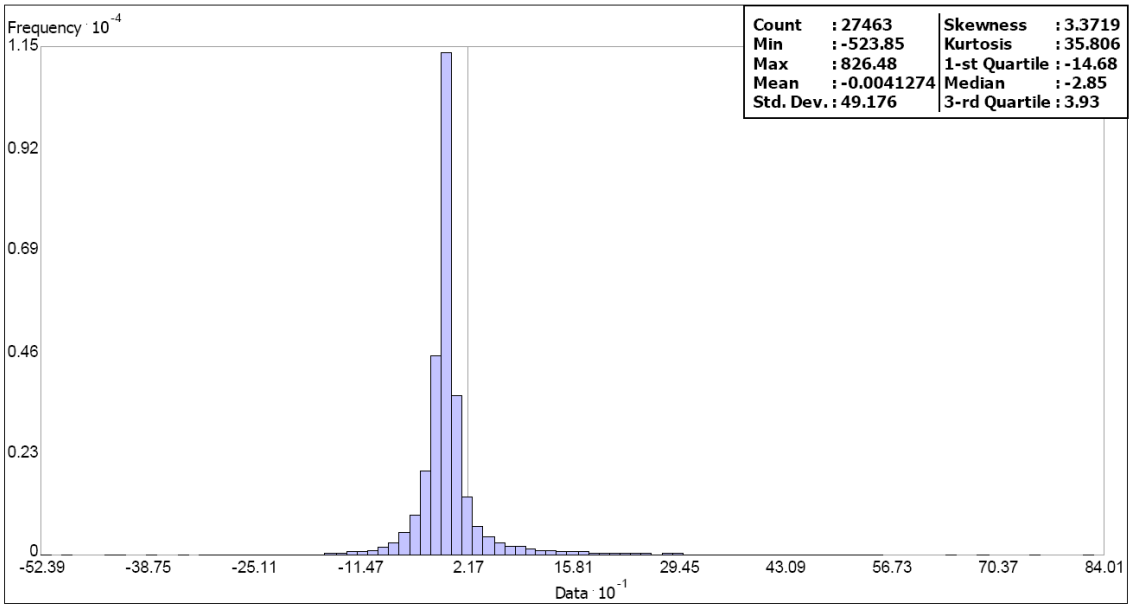


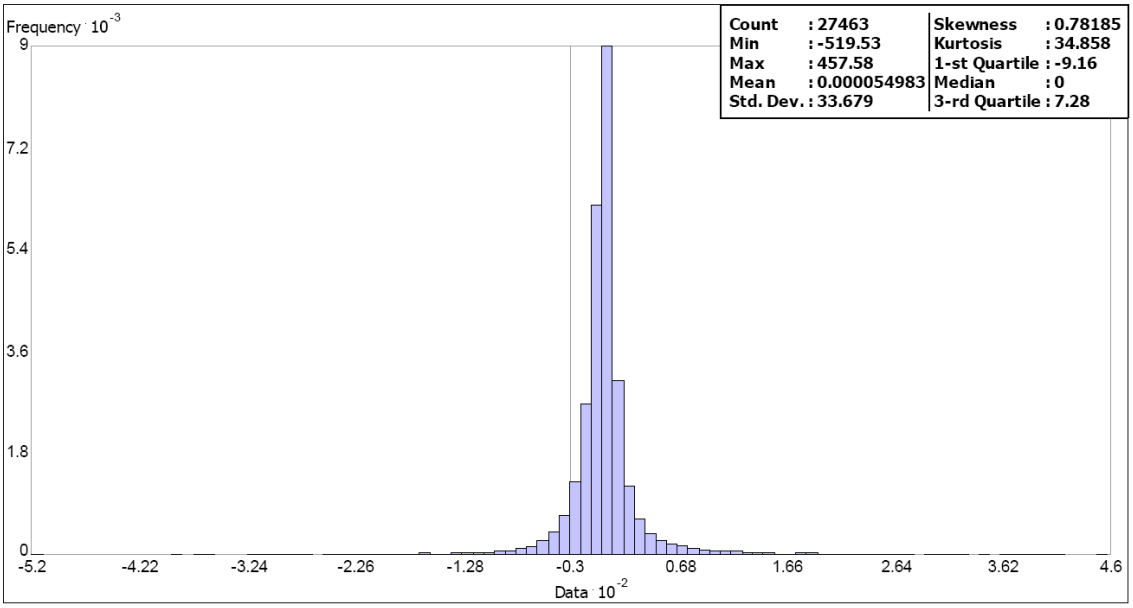
Diagrama de dispersão
MDP6
1000.00
800.00
600.00
400.00
200.00
0.00
População Estimada
0
200
400
600
800
1000
População Real
y = 0.7994x + 5.8846
R2 = 0.6384

ANEXO 2: HISTOGRAMAS DE ERROS DOS MODELOS DIGITAIS DA POPULAÇÃO (1 A 6)

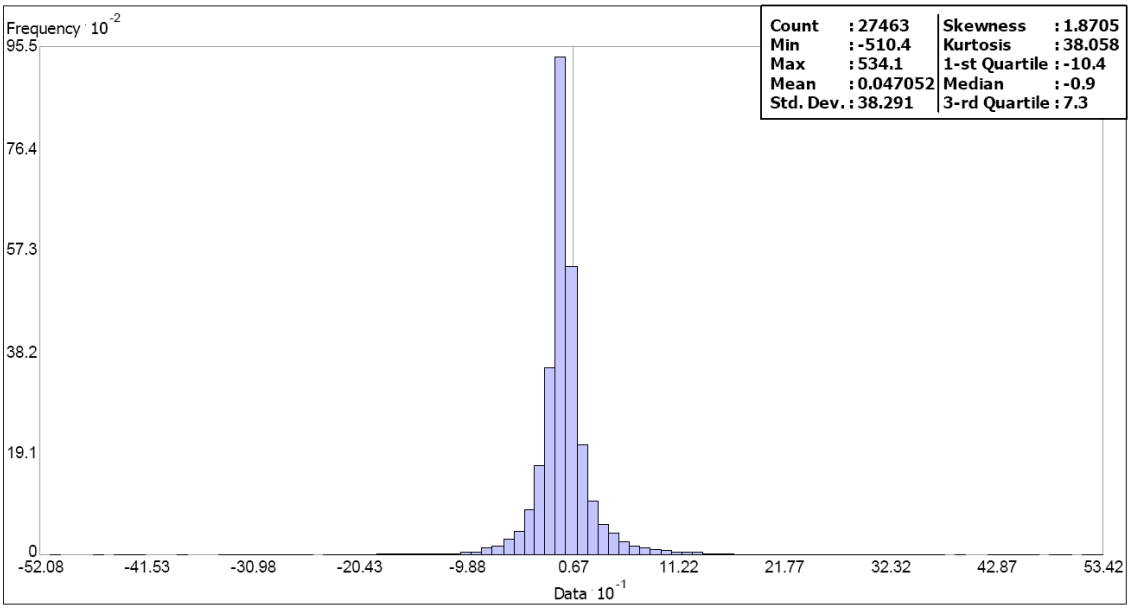
Histograma de erros: MDP1



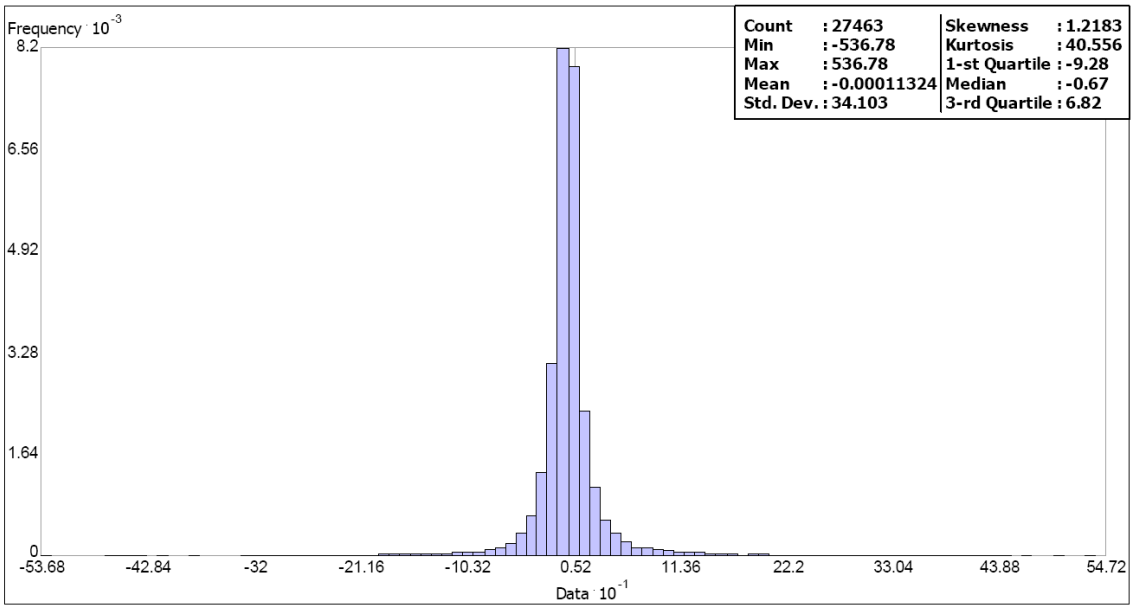
Histograma de erros: MDP2



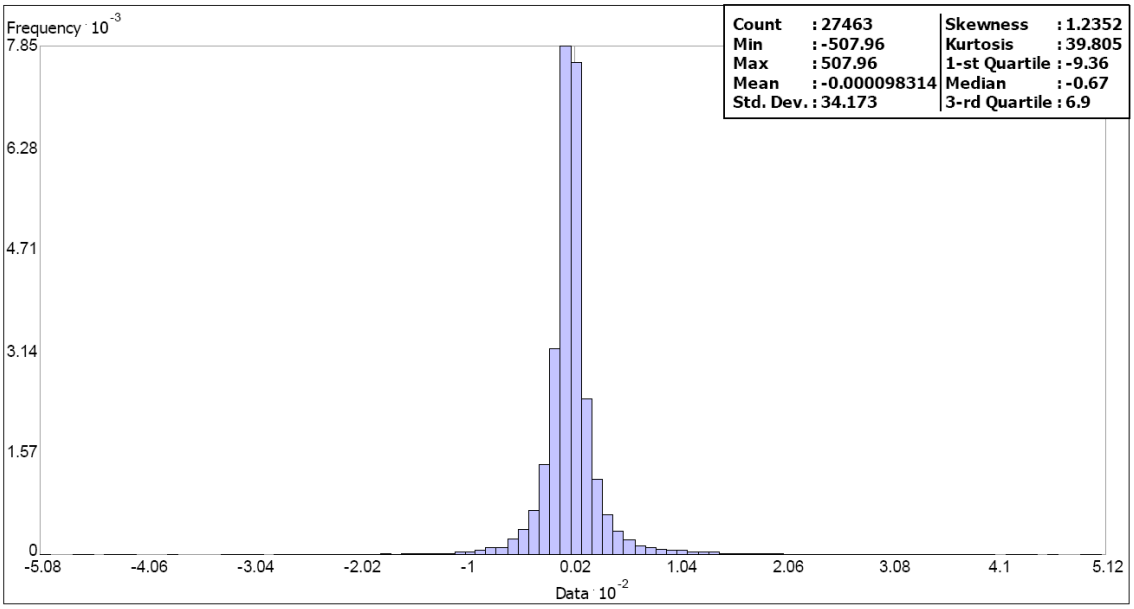
Histograma de erros: MDP3



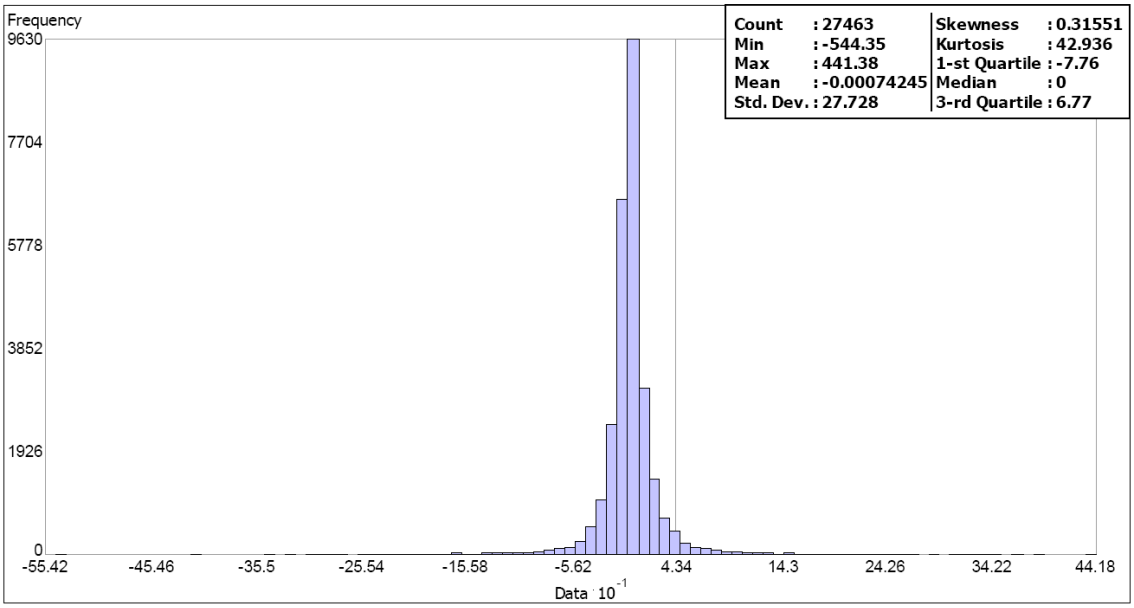
Histograma de erros: MDP4



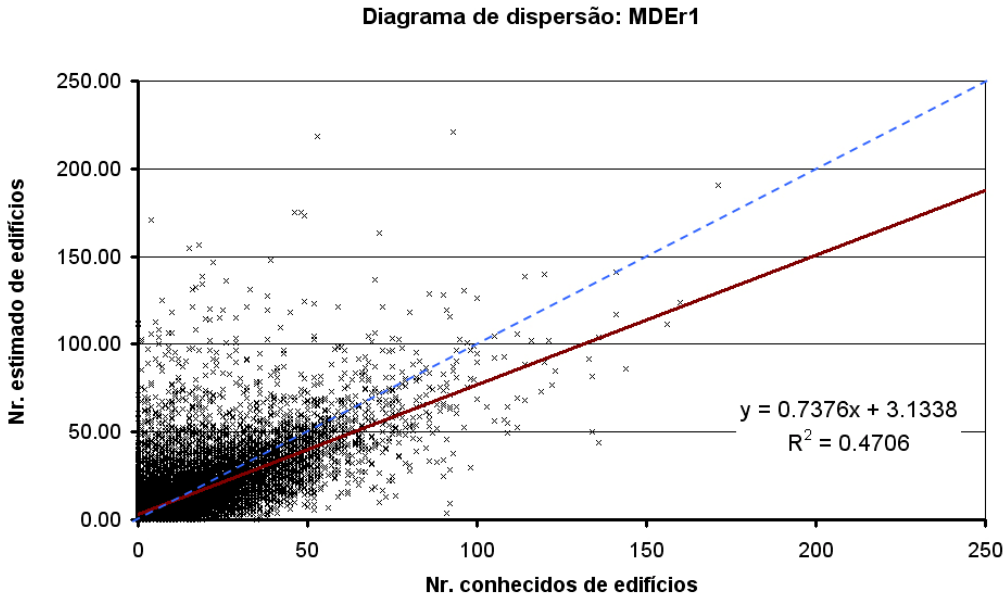
Histograma de erros: MDP5

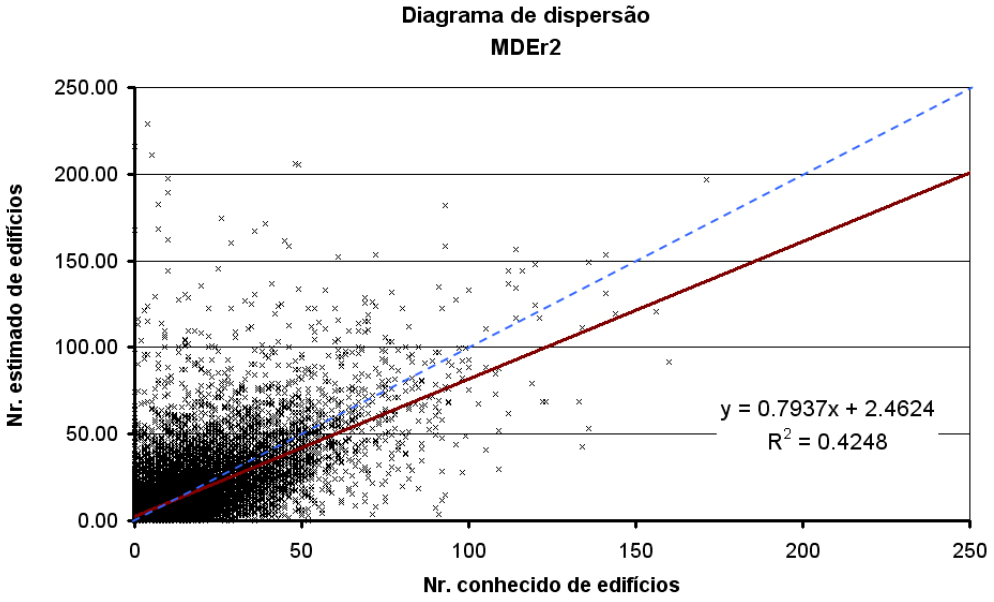


Histograma de erros: MDP6



ANEXO 3: DIAGRAMAS DE DISPERSÃO DOS MODELOS DIGITAIS DO EDIFICADO RESIDENCIAL (1 A 3)





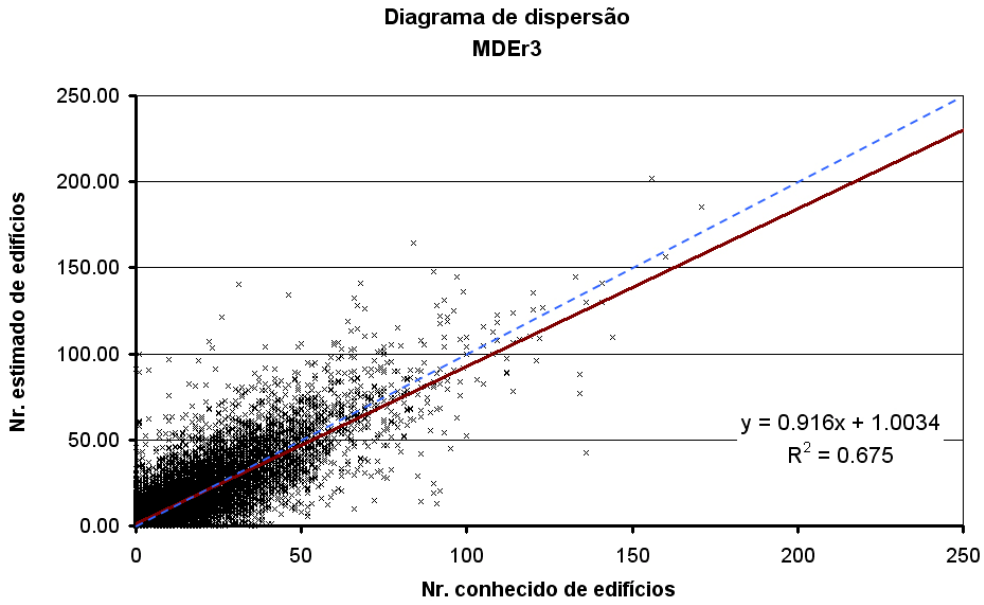
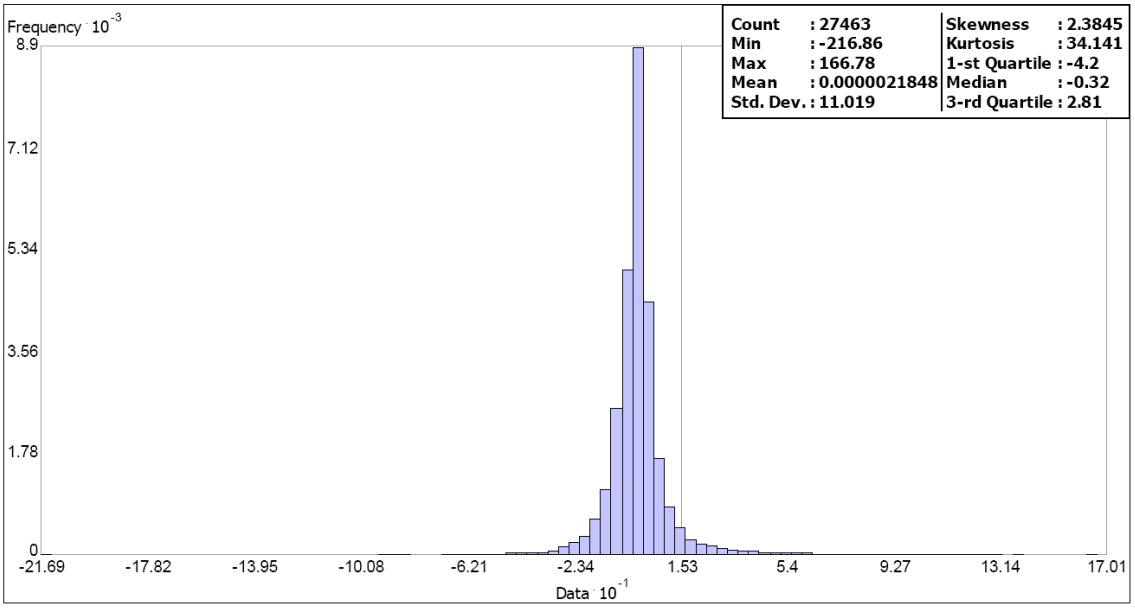


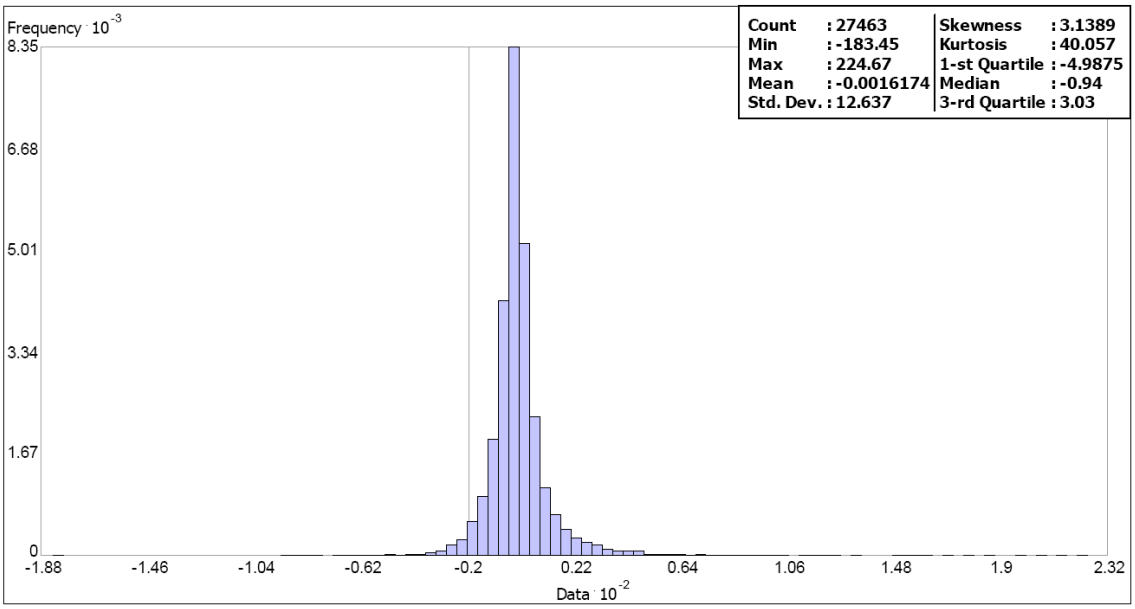
Diagrama de dispersão
MDEr3
Nr. estimado de edifícios
250.00
200.00
150.00
100.00
50.00
0.00
0
50
100
150
200
250
Nr. conhecido de edifícios
y = 0.916x + 1.0034
R2 = 0.675

ANEXO 4: HISTOGRAMAS DE ERROS DOS MODELOS DIGITAIS DO EDIFICADO RESIDENCIAL (1 A 3)

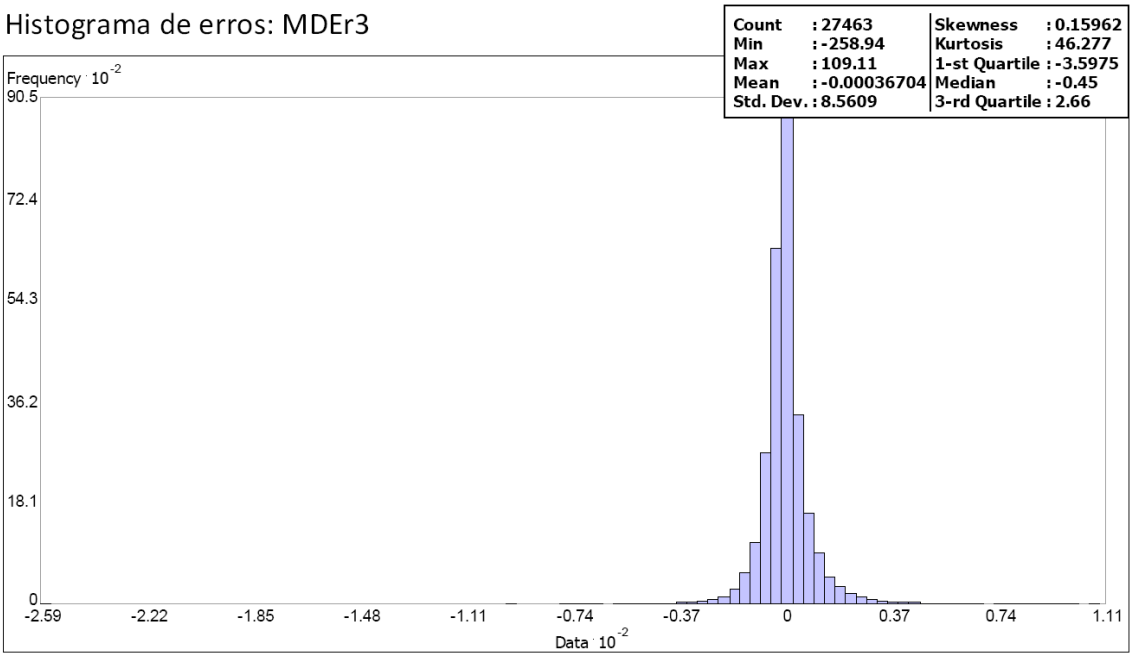
Histograma de erros: MDEr1



Histograma de erros: MDEr2



Histograma de erros: MDEr3



ANEXO 5: CARTOGRAFIA PRODUZIDA

- Modelos experimentais:
  - MDP 1 a 6
  - MDEr 1 a 3
- Modelos finais da população e do edificado:
- Densidade e número de edifícios residenciais por área de contiguidade, OVT, 2001

80000 100000 120000 140000 160000 180000 200000 220000

300000 280000 260000 240000 220000 200000

N

Oceano Atlântico

C E N T R O

A L E N T E J O

A . M . L I S B O A

Nazaré
Alcobaça
Caldas da Rainha
Peniche
Óbidos
Bombarral
Lourinhã
Cadaval
Rio Maior
Torres Vedras
Alenquer
Sobral Monte Agraço
Arruda dos Vinhos
Ourém
Ferreira do Zêzere
Tomar
Sardoal
Torres Novas
Alcanena
Entroncamento
Vila Nova da Barquinha
Constância
Abrantes
Golegã
Chamusca
Santarém
Alpiarça
Almeirim
Cartaxo
Azambuja
Salvaterra de Magos
Benavente
Coruche

DISTRIBUIÇÃO DA POPULAÇÃO
OESTE E VALE DO TEJO, 2001 - MDP1

- Limite da região OVT
- Rede ferroviária
- Rede rodoviária
- Superfícies de água
- Rios

residentes / pixel

- < 2
- 2.1 - 6
- 6.1 - 10
- 10.1 - 16
- 16.1 - 71.6

Hipsometria (metros)

< 50 100 200 400 600 800 1200 > 1200

Projecção: Gauss
Elipsóide: Hayford (Internac.)
Datum: Lisboa (Coord. Militares)

0 6 Km

80000 100000 120000 140000 160000 180000 200000 220000

300000 280000 260000 240000 220000 200000

N

Oceano Atlântico

C E N T R O

A L E N T E J O

A. M. LISBOA

Nazaré
Alcobaça
Caldas da Rainha
Peniche
Óbidos
Bombarral
Lourinhã
Cadaval
Rio Maior
Torres Vedras
Alenquer
Sobral Monte Agraço
Arruda dos Vinhos
Ourém
Tomar
Ferreira do Zêzere
Sardoal
Torres Novas
Alcanena
Entroncamento
Vila Nova da Barquinha
Constância
Abrantes
Golegã
Chamusca
Santarém
Alpiarça
Almeirim
Cartaxo
Azambuja
Salvaterra de Magos
Benavente
Coruche

DISTRIBUIÇÃO DA POPULAÇÃO
OESTE E VALE DO TEJO, 2001 - MDP2

- Limite da região OVT
- Rede ferroviária
- Rede rodoviária
- Superficies de água
- Rios

residentes / pixel

- < 2
- 2.1 - 6
- 6.1 - 10
- 10.1 - 16
- 16.1 - 472.7

Hipsometria (metros)

< 50 100 200 400 600 800 1200 > 1200

Projecção: Gauss
Elipsóide: Hayford (Internac.)
Datum: Lisboa (Coord. Militares)

0 6 Km

80000 100000 120000 140000 160000 180000 200000 220000

300000 280000 260000 240000 220000 200000

N

Oceano Atlântico

REGIÃO OESTE E VALE DO TEJO

AM. LISBOA

ALENTEJO

Nazaré
Alcobaça
Caldas da Rainha
Peniche
Óbidos
Bombarral
Lourinhã
Cadaval
Torres Vedras
Rio Maior
Alenquer
Sobral Monte Agraço
Arruda dos Vinhos
Ourém
Tomar
Ferreira do Zêzere
Torres Novas
Entroncamento
Vila Nova da Barquinha
Constância
Abrantes
Sardoal
Alcanena
Golegã
Chamusca
Santarém
Alpiarça
Almeirim
Cartaxo
Azambuja
Salvaterra de Magos
Benavente
Coruche

DISTRIBUIÇÃO DA POPULAÇÃO
OESTE E VALE DO TEJO, 2001 - MDP3

- Limite da região OVT
- Rede ferroviária
- Rede rodoviária
- Superfícies de água
- Rios

residentes / pixel

- < 2
- 2.1 - 6
- 6.1 - 10
- 10.1 - 16
- 16.1 - 709

Hipsometria (metros)

< 50 100 200 400 600 800 1200 > 1200

Projecção: Gauss
Elipsóide: Hayford (Internac.)
Datum: Lisboa (Coord. Militares)

0 6 Km

80000 100000 120000 140000 160000 180000 200000 220000

300000 280000 260000 240000 220000 200000

N

Oceano Atlântico

C E N T R O

A L E N T E J O

A. M. LISBOA

Nazaré
Alcobaça
Caldas da Rainha
Peniche
Óbidos
Bombarral
Lourinhã
Cadaval
Torres Vedras
Rio Maior
Alenquer
Arruda dos Vinhos
Sobral Monte Agraço
Ourém
Tomar
Ferreira do Zêzere
Torres Novas
Alcanena
Entroncamento
Vila Nova da Barquinha
Constância
Abrantes
Sardoal
Golegã
Chamusca
Alpiarça
Santarém
Almeirim
Cartaxo
Azambuja
Salvaterra de Magos
Benavente
Coruche

DISTRIBUIÇÃO DA POPULAÇÃO
OESTE E VALE DO TEJO, 2001 - MDP4

- Limite da região OVT
- Rede ferroviária
- Rede rodoviária
- Superfícies de água
- Rios

residentes / pixel

- < 2
- 2.1 - 6
- 6.1 - 10
- 10.1 - 16
- 16.1 - 472.7

Hipsometria (metros)

< 50 100 200 400 600 800 1200 > 1200

Projecção: Gauss
Elipsóide: Hayford (Internac.)
Datum: Lisboa (Coord. Militares)

0 6 Km

80000 100000 120000 140000 160000 180000 200000 220000

300000 280000 260000 240000 220000 200000

N

Oceano Atlântico

C E N T R O

A L E N T E J O

A . M . L I S B O A

Nazaré
Alcobaça
Caldas da Rainha
Peniche
Óbidos
Bombarral
Lourinhã
Cadaval
Torres Vedras
Rio Maior
Alenquer
Sobral Monte Agraço
Arruda dos Vinhos
Ourém
Tomar
Ferreira do Zêzere
Torres Novas
Alcanena
Entroncamento
Vila Nova da Barquinha
Constância
Abrantes
Sardoal
Golegã
Chamusca
Alpiarça
Santarém
Almeirim
Cartaxo
Azambuja
Salvaterra de Magos
Benavente
Coruche

DISTRIBUIÇÃO DA POPULAÇÃO
OESTE E VALE DO TEJO, 2001 - MDP5

Limite da região OVT
Rede ferroviária
Rede rodoviária
Superfícies de água
Rios

residentes / pixel

< 2
2.1 - 6
6.1 - 10
10.1 - 16
16.1 - 39

Hipsometria (metros)

< 50 100 200 400 600 800 1200 > 1200

Projecção: Gauss
Elipsóide: Hayford (Internac.)
Datum: Lisboa (Coord. Militares)

0 6 Km

80000 100000 120000 140000 160000 180000 200000 220000

300000 280000 260000 240000 220000 200000

N

O C E A N O A T L Â N T I C O

C E N T R O

A L E N T E J O

A. M. LISBOA

Nazaré
Alcobaça
Caldas da Rainha
Peniche
Óbidos
Bombarral
Lourinhã
Cadaval
Rio Maior
Torres Vedras
Alenquer
Sobral Monte Agraço
Arruda dos Vinhos
Ourém
Tomar
Ferreira do Zêzere
Sardoal
Torres Novas
Alcanena
Entroncamento
Vila Nova da Barquinha
Constância
Abrantes
Golegã
Chamusca
Santarém
Alpiarça
Almeirim
Cartaxo
Azambuja
Salvaterra de Magos
Benavente
Coruche

DISTRIBUIÇÃO DA POPULAÇÃO
OESTE E VALE DO TEJO, 2001 - MDP6

Limite da região OVT
Rede ferroviária
Rede rodoviária
Superfícies de água
Rios

residentes / pixel

< 2
2.1 - 6
6.1 - 10
10.1 - 16
16.1 - 46.7

Hipsometria (metros)

< 50 100 200 400 600 800 1200 > 1200

Projecção: Gauss
Elipsóide: Hayford (Internac.)
Datum: Lisboa (Coord. Militares)

0 6 Km

80000 100000 120000 140000 160000 180000 200000 220000

300000 280000 260000 240000 220000 200000

N

Oceano Atlântico

C E N T R O

O E S T E

A L E N T E J O

A . M . L I S B O A

Nazaré
Alcobaça
Caldas da Rainha
Peniche
Óbidos
Bombarral
Lourinhã
Cadaval
Rio Maior
Torres Vedras
Alenquer
Sobral Monte Agraço
Arruda dos Vinhos
Ourém
Tomar
Ferreira do Zêzere
Torres Novas
Alcanena
Entroncamento
Vila Nova da Barquinha
Constância
Abrantes
Sardoal
Golegã
Chamusca
Santarém
Alpiarça
Almeirim
Cartaxo
Azambuja
Salvaterra de Magos
Benavente
Coruche

DISTRIBUIÇÃO DO EDIFICADO RESIDENCIAL OESTE E VALE DO TEJO, 2001 - MDEr1

- Limite da região OVT
- Rede ferroviária
- Rede rodoviária
- Superficies água
- Rios

edifícios / pixel

- < 0.6
- 0.7 - 1
- 1.1 - 2
- 2.1 - 4
- 4.1 - 64.6

Hipsometria (metros)

< 50 100 200 400 600 800 1200 > 1200

Projecção: Gauss
Elipsóide: Hayford (Internac.)
Datum: Lisboa (Coord. Militares)

0 6 Km

80000 100000 120000 140000 160000 180000 200000 220000

300000 280000 260000 240000 220000 200000

N

Oceano Atlântico

C E N T R O

A . L I S B O A

A L E N T E J O

Nazaré
Alcobaça
Caldas da Rainha
Peniche
Óbidos
Rio Maior
Bombarral
Lourinhã
Cadaval
Torres Vedras
Alenquer
Sobral Monte Agraço
Arruda dos Vinhos
Ourém
Tomar
Ferreira do Zêzere
Sardoal
Torres Novas
Alcanena
Entroncamento
Vila Nova da Barquinha
Constância
Abrantes
Golegã
Chamusca
Alpiarça
Santarém
Almeirim
Cartaxo
Azambuja
Salvaterra de Magos
Benavente
Coruche

DISTRIBUIÇÃO DO EDIFICADO RESIDENCIAL OESTE E VALE DO TEJO, 2001 - MDEr2

Limite da região OVT
Rede ferroviária
Rede rodoviária
Superficies água
Rios

edifícios / pixel

< 0.6
0.7 - 1
1.1 - 2
2.1 - 4
4.1 - 64.6

Hipsometria (metros)

< 50 100 200 400 600 800 1200 > 1200

Projecção: Gauss
Elipsóide: Hayford (Internac.)
Datum: Lisboa (Coord. Militares)

0 6 Km

80000 100000 120000 140000 160000 180000 200000 220000

300000 280000 260000 240000 220000 200000

N

Oceano Atlântico

C E N T R O

A L E N T E J O

A. M. LISBOA

Nazaré
Alcobaça
Caldas da Rainha
Peniche
Óbidos
Bombarral
Lourinhã
Cadaval
Torres Vedras
Rio Maior
Ourém
Ferreira do Zêzere
Tomar
Sardoal
Torres Novas
Alcanena
Entroncamento
Vila Nova da Barquinha
Constância
Abrantes
Golegã
Chamusca
Alpiarça
Santarém
Almeirim
Cartaxo
Azambuja
Alenquer
Sobral Monte Agraço
Arruda dos Vinhos
Salvaterra de Magos
Benavente
Coruche

DISTRIBUIÇÃO DO EDIFICADO RESIDENCIAL OESTE E VALE DO TEJO, 2001 - MDEr3

- Limite da região OVT
- Rede ferroviária
- Rede rodoviária
- Superficies água
- Rios

edifícios / pixel

- < 0.6
- 0.7 - 1
- 1.1 - 2
- 2.1 - 4
- 4.1 - 64.6

Hipsometria (metros)

< 50 100 200 400 600 800 1200 > 1200

Projecção: Gauss
Elipsóide: Hayford (Internac.)
Datum: Lisboa (Coord. Militares)

0 6 Km

80000 100000 120000 140000 160000 180000 200000 220000

300000 280000 260000 240000 220000 200000

N

Oceano Atlântico

C E N T R O

A L E N T E J O

A. M. LISBOA

Nazaré
Alcobaça
Caldas da Rainha
Peniche
Óbidos
Bombarral
Lourinhã
Cadaval
Rio Maior
Torres Vedras
Alenquer
Sobral Monte Agraço
Arruda dos Vinhos
Ourém
Tomar
Ferreira do Zêzere
Torres Novas
Alcanena
Entroncamento
Vila Nova da Barquinha
Constância
Abrantes
Sardoal
Golegã
Chamusca
Santarém
Alpiarça
Almeirim
Cartaxo
Azambuja
Salvaterra de Magos
Benavente
Coruche

DISTRIBUIÇÃO DA POPULAÇÃO
OESTE E VALE DO TEJO, 2001 - MDP FINAL

- Limite da região OVT
- Rede ferroviária
- Rede rodoviária
- Superficies água
- Rios

residentes / pixel

- 0.4 - 2
- 2.1 - 6
- 6.1 - 10
- 10.1 - 16
- 16.1 - 111

Hipsometria (metros)

< 50 100 200 400 600 800 1200 > 1200

Projecção: Gauss
Elipsóide: Hayford (Internac.)
Datum: Lisboa (Coord. Militares)

0 6 Km

80000
100000
120000
140000
160000
180000
200000
220000
300000
280000
260000
240000
220000
200000

N

Oceano Atlântico

N E C

N T R O

Ferreira do Zêzere
Ourém
Tomar
Nazaré
Alcobaça
Sardoal
Torres Novas
Alcanena
Entroncamento
Vila Nova da Barquinha
Constância
Abrantes
Golegã
Caldas da Rainha
Peniche
Óbidos
Rio Maior
Chamusca
Bombarral
Lourinhã
Cadaval
Alpiarça
Santarém
Almeirim
Cartaxo
Azambuja
Torres Vedras
Alenquer
Salvaterra de Magos
Sobral Monte Agraço
Arruda dos Vinhos
Benavente
Coruche

O
T E J O
A L E N T E J O

A. M. LISBOA

DISTRIBUIÇÃO DO EDIFICADO RESIDENCIAL OESTE E VALE DO TEJO, 2001 - MDEr FINAL

- Limite da região OVT
- Rede ferroviária
- Rede rodoviária
- Superficies água
- Rios

edifícios / pixel

- < 0.6
- 0.7 - 1
- 1.1 - 2
- 2.1 - 4
- 4.1 - 64.6

Hipsometria (metros)

< 50 100 200 400 600 800 1200 > 1200

Projecção: Gauss
Elipsóide: Hayford (Internac.)
Datum: Lisboa (Coord. Militares)

0 6 Km

80000
100000
120000
140000
160000
180000
200000
220000
300000
280000
260000
240000
220000
200000

N

Oceano Atlântico

Nazaré
Alcobaça
Caldas da Rainha
Peniche
Óbidos
Bombarral
Lourinhã
Cadaval
Torres Vedras
Alenquer
Sobral Monte Agraço
Arruda dos Vinhos
Rio Maior
Azambuja
Benavente
Salvaterra de Magos
Alcanena
Torres Novas
Entroncamento
Golegã
Chamusca
Vila Nova da Barquinha
Constância
Ferreira do Zêzere
Ourém
Tomar
Sardoal
Abrantes
Santarém
Almeirim
Cartaxo
Alpiarça
Coruche

ÁREAS DE CONTIGUIDADE EDIFICADA
OESTE E VALE DO TEJO, 2001

Limite da região OVT
Rede ferroviária
Rede rodoviária
Superfícies de água
Rios

Edifícios / ha
< 1.0
1.1 - 4.0
4.1 - 7.0
7.1 - 95.8

Nr. edifícios
1000
100
>= 80 edifícios

Hipsometria (metros)
< 50 100 200 400 600 800 1200 > 1200

Projecção: Gauss
Elipsóide: Hayford (Internac.)
Datum: Lisboa (Coord. Militares)

0 6 Km