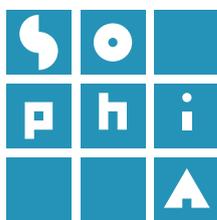


SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

análise espacial



CONHECIMENTO PARA A GESTÃO DO AMBIENTE MARINHO



DGRM

Avenida Brasília
1449-030 Lisboa
Portugal
Tel.: +351 213 035 700
Fax: +351 213 035 702
dgrm@dgrm.mam.gov.pt
www.dgrm.mam.gov.pt

SOPHIA

sophia-dqem@dgrm.mam.gov.pt
www.sophia-mar.pt

COPYRIGHT

Logótipo SOPHIA © DGRM 2016. Todos os direitos reservados. Marca registada. Não é permitida qualquer reprodução ou retroversão, total ou parcial, do logótipo SOPHIA sem prévia autorização escrita do Editor.

Guia 4 - Sistemas de Informação Geográfica: Análise Espacial.
Licença Creative Commons Atribuição Não Comercial Compartilha Igual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

Título

Sistemas de Informação Geográfica: Análise Espacial

Autores

Ana Nobre Silva¹, Cristina Lira¹, Rui Taborda¹, Elisabete Dias²,
João Catalão³, Alexandra Amorim⁴

¹ IDL - Instituto Dom Luiz, Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

² Divisão de Monitorização Ambiental, Direção de Serviços de Ambiente Marinho e Sustentabilidade, Direção-Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos

³ Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

⁴ Departamento de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Coordenação do Guia Técnico

Ana Nobre Silva

Coordenação do Projeto SOPHIA na FCUL

Ana C. Brito, MARE - Centro de Ciências do Mar e do Ambiente, Departamento de Biologia Vegetal, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Edição

DGRM - Direção-Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos
Edição Eletrónica - 2016

Design Gráfico

ESCS - Escola Superior de Comunicação Social
(coordenação: João Abreu; paginação: Joana Souza; infografia: Ricardo Rodrigues; colaboração: Joana Paraíba, Joana Torgal Marques, Pedro Ribeiro, Renata Farinha, Rita Oliveira)

Referência ao Guia Técnico

Silva, A. N.; Lira, C.; Taborda, R.; Dias, E., Catalão, J. e Amorim, A., (2016). Sistemas de Informação Geográfica: Análise Espacial. DGRM, Lisboa, Portugal. E-book disponível em www.sophia-mar.pt.

ISBN

978-989-99601-2-1

Documentação de apoio ao módulo de formação SOPHIA –
Sistemas de Informação Geográfica: Análise Espacial.

SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

análise espacial



CONHECIMENTO PARA A GESTÃO DO AMBIENTE MARINHO





PREFÁCIO	7
INTRODUÇÃO - Sistemas de Informação Geográfica	9
CAPÍTULO 1 - Aplicações ArcGIS	13
Principais aplicações ArcGIS	14
CAPÍTULO 2 - Sistemas de referência espacial	18
2.1 Referência espacial	19
2.2 Sistema de coordenadas	24
2.3 Alteração entre sistemas de coordenadas	35
CAPÍTULO 3 - Modelos de dados	39
3.1 Modelo de dados vetorial	40
3.2 Modelo de dados matricial	41
CAPÍTULO 4 - Superfícies	44
4.1 Modelos Digitais de Terreno (MDT)	45
4.2 <i>Triangulated Irregular Network</i> (TIN)	45
CAPÍTULO 5 - Interoperabilidade e metadados (diretiva INSPIRE)	48
REFERÊNCIAS	53
ANEXOS	55



Prefácio

A vastidão do “Mar Português” coloca Portugal numa posição privilegiada, mas também traz a responsabilidade de conhecer e proteger os ambientes marinhos. A Diretiva-Quadro “Estratégia Marinha” (DQEM) está em linha com este objetivo, tendo a ambição de garantir a sustentabilidade do oceano e das atividades marítimas.

*Acreditamos que o desígnio da preservação e valorização do ambiente marinho só poderá ser cumprido se se encontrar devidamente alicerçado no pilar do **conhecimento**. Torna-se assim fundamental capacitar os técnicos de organismos públicos e empresas que lidam diretamente com o “nosso mar”, com os conhecimentos e as ferramentas adequadas para poderem responder de forma eficaz a este enorme desafio.*

Foi este o mote para todas as atividades de formação desenvolvidas no âmbito do projeto SOPHIA.

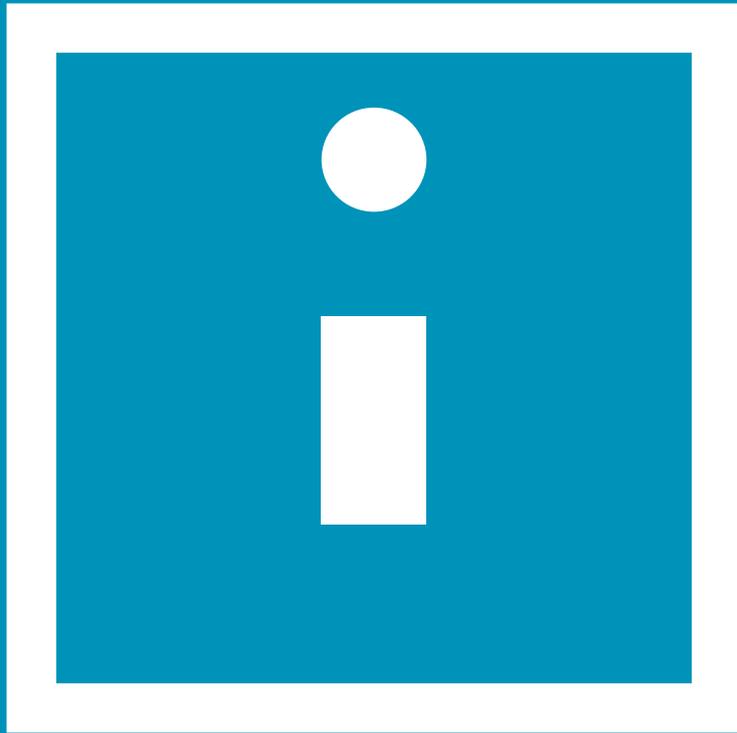
*O módulo de formação **Sistemas de Informação Geográfica (SIG): análise espacial**, no qual este guia se inclui, integra conteúdos associados às tecnologias de informação espacial que têm como suporte ferramentas informáticas vocacionadas para adquirir, gerir, visualizar, analisar e partilhar dados e informação espacial.*

Este documento apresenta uma introdução aos SIG e define de forma objetiva e sucinta alguns dos seus conceitos essenciais. Sendo que a análise em SIG depende de dados espacialmente referenciados, é dada particular atenção aos conceitos relacionados com os sistemas de referência e são descritos os sistemas de coordenadas mais frequentemente utilizados em Portugal.

Este guia foi elaborado para apoiar a componente prática deste módulo, suportada em estudos de caso relacionados com o “Mar Português”. Apesar da formação ser realizada com recurso a um software de SIG específico (ArcMap da ESRI), os conceitos e aplicações lecionados podem ser facilmente transpostos para outras plataformas, quer proprietárias quer de código aberto.

Este documento pretende ser uma ajuda para aqueles que estão agora a dar os primeiros passos em SIG, particularmente para todos aqueles que trabalham no “Mar Português”.

Os autores



INTRODUÇÃO SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA



Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) podem ser definidos como um conjunto integrado de *software* e dados que permitem a visualização e gestão de informação relativa a lugares, analisar relações espaciais e modelar processos espaciais. Os SIG fornecem uma estrutura que permite a aquisição e organização de dados de natureza espacial e informação relacionada para que estes possam ser visualizados e analisados (ESRI, 2015).

Na sua definição mais abrangente os SIG são sistemas de informação com capacidade para a aquisição, armazenamento, gestão, análise e visualização de dados geográficos cuja interpretação permite compreender relações e padrões espaciais assim como avaliar tendências temporais. Estes sistemas compreendem cinco componentes distintos, que incluem *hardware*, *software*, dados, procedimentos e recursos humanos, interligados entre si (Longley *et al.*, 2005).

Os SIG têm como objetivo principal representar e analisar informação geográfica. No entanto, esta pode ser representada e analisada numa grande multiplicidade de formas, que vão desde a clássica sobreposição em camadas (ou níveis) até à utilização de ferramentas de análise espacial sofisticadas, permitindo não só manipular, analisar e visualizar os dados originais como gerar nova informação perfeitamente enquadrada do ponto de vista geográfico.



Os **dados espaciais** são caracterizados por terem uma **localização**, representada pelas suas coordenadas, a que se pode associar informação alfanumérica, de natureza não espacial (os **atributos**).

As principais funções de um SIG são: 1) captura e recolha de dados, que na origem podem ser de natureza analógica ou digital; 2) armazenamento de dados de acordo com diferentes modelos e que usualmente se classificam em alfanumérico, vetorial e matricial; 3) pesquisa de elementos pelas suas características (geográficas ou não espaciais); 4) análise e edição de dados pelas relações de proximidade, sobreposição e/ou pelas operações numéricas aos dados; 5) visualização espacial através da criação de mapas, gráficos e visualizações 3D, e 6) geração de um produto final (*output*) como, por exemplo, mapas em papel, mapas na internet, imagens e relatórios.



Os **modelos de dados espaciais** definem a estrutura de organização dos dados e a forma como eles se relacionam. Os modelos mais comuns são o **vetorial**, em que a informação geográfica é organizada em pontos, linhas ou polígonos, e o modelo **matricial**, onde a informação é representada sob a forma de uma matriz de dados. O modelo vetorial é geralmente utilizado para representar informação discreta, com fronteiras bem definidas, enquanto o modelo matricial é utilizado para representar dados espacialmente contínuos ou imagens.

Os SIG são ferramentas de análise e comunicação de informação geográfica, de natureza intrinsecamente multidisciplinar. Os SIG relacionam-se e integram diferentes tecnologias de aquisição e análise de dados geográficos como o CAD (*Computer-Aided Design*), o GNSS (*Global Navigation Satellite System*), e a deteção remota. O *software* SIG é representado por uma grande diversidade de aplicações informáticas de natureza livre ou comercial, dos quais se destacam, pela sua relevância, o ArcGIS (www.esri.com), MapInfo (www.mapinfo.com), Geomedia (www.hexagongeospatial.com), na categoria comercial, e QGIS (www.qgis.org), Grass (<http://grass.osgeo.org>) e gvSIG (www.gvsig.com), na categoria de código-fonte aberto. As aplicações comerciais, que apresentam custos com a aquisição de licenças, geralmente apresentam uma interface de utilização mais amigável e um suporte e documentação mais desenvolvidos relativamente às aplicações de código-fonte aberto. Por outro lado, as aplicações de código-fonte aberto são, pela sua natureza, gratuitas e têm muitas vezes associadas uma vasta comunidade de utilizadores que partilham experiências e contribuem ativamente para o seu desenvolvimento e aperfeiçoamento. No entanto, o suporte é geralmente inferior ao disponibilizado pelas aplicações comerciais e, na maior parte dos casos, requerem maiores competências em informática e programação.

Entre as aplicações comerciais destaca-se o ArcGIS, desenvolvido pela ESRI (*Environmental Systems Research Institute*), que é provavelmente o programa SIG mais completo e mais utilizado em todo o mundo, especialmente no que diz respeito à elaboração de cartografia temática; a grande variedade de aplicações que inclui, associada a uma vastíssima gama de ferramentas de análise espacial, faz com que esta aplicação seja uma das mais versáteis e completas.

No contexto do projeto SOPHIA, no qual esta formação se inclui, optou-se por ensinar as competências básicas em SIG orientadas para as ciências do mar com o ArcGIS. As competências e conceitos adquiridos nesta aplicação são facilmente transportados para outras aplicações e plataformas.



CAPÍTULO 1

APLICAÇÕES

ARCGIS



O ArcGIS agrupa uma variedade de aplicações através das quais se podem executar as diferentes tarefas de análise, edição, visualização e gestão de bases de dados, de acordo com os objetivos particulares de cada projeto SIG. Como aplicações mais relevantes destacam-se o ArcMap, ArcCatalog, ArcToolbox e ArcScene, cujas principais funcionalidades se descrevem seguidamente.

PRINCIPAIS APLICAÇÕES ARCGIS



ArcMap

O ArcMap é a aplicação principal do ArcGIS. É nesta aplicação que se reúnem a maior parte das funções, incluindo as relacionadas com a visualização, edição, análise espacial e criação de mapas. Nesta aplicação são também efetuadas as operações fundamentais para a compatibilização de dados de diferentes origens como a transformação de coordenadas, até funções mais específicas como a álgebra de mapas e outras ferramentas de processamento geoespacial.



ArcCatalog

O ArcCatalog é uma aplicação orientada para a organização e gestão dos dados envolvidos num projeto SIG. O ArcCatalog funciona como um explorador de pastas e ficheiros que está vocacionado para a sua gestão. As operações efetuadas aos ficheiros ArcGIS (p. ex. copiar, cortar, colar) através desta aplicação aplicam-se a todos os ficheiros de dados com o mesmo nome (ficheiros principais e respetivos ficheiros auxiliares, ver caixa informativa).



Em **ArcGIS** os dados são gravados em formatos constituídos por um conjunto de ficheiros que compreendem as diferentes componentes da informação (gráfica e alfanumérica).

Um dos formatos nativos da ESRI, para dados de natureza vetorial, é o formato **shapefile**. Neste formato, a geometria é gravada num ficheiro com extensão **.shp**. Associados a este ficheiro (e com o mesmo nome) existem ficheiros com outras extensões e que incluem informação auxiliar como a tabela com os atributos (**.dbf**) ou o sistema de coordenadas (**.prj**).

Aos dados de natureza matricial (ou *raster*), cujo formato nativo é denominado **GRID**, também se associam vários ficheiros auxiliares organizados numa pasta.

No entanto, alguns dos formatos suportados pelo ArcGIS, quer para o modelo matricial quer para o vetorial, podem ser constituídos por um só ficheiro como é o caso de imagens em formato **.tiff**, **.jpg**, **.img** ou vetores em formato **.dxf**, **.dwg** ou **.kml**. Contudo, convém salientar que, em muitos casos, o ArcGIS gera um conjunto de ficheiros auxiliares relacionados, por exemplo, com a definição do sistema de coordenadas ou a otimização da visualização.

Para além da sua função primordial de gestão, o ArcCatalog também permite pré-visualizar, pesquisar, criar/editar metadados¹ e executar ferramentas de edição e geoprocessamento em segundo plano (sem necessidade do ArcMap).



Arctoolbox

ArcToolbox, como o próprio nome sugere, é a caixa de ferramentas do ArcGIS. Esta aplicação reúne as ferramentas/funcionalidades de geoprocessamento do ArcGIS. Todas as ações que se efetuam diretamente nas aplicações ArcMap e ArcCatalog correspondem à execução de uma ferramenta incluída no ArcToolbox.

As diferentes ferramentas encontram-se organizadas por categorias funcionais ou *toolsets* (p. ex. *3D Analysis Tools*, *Editing Tools* ou *Spatial Analyst Tools*, entre muitas outras).

¹ Informação sobre metadados no [Capítulo 5 - Interoperabilidade e metadados \(diretiva INSPIRE\)](#).



Após uma primeira fase de ambientação às ferramentas do ArcGIS, a funcionalidade de procura (**Search**) de ferramentas pelo nome é a forma mais simples para encontrar, rapidamente, a ferramenta pretendida.

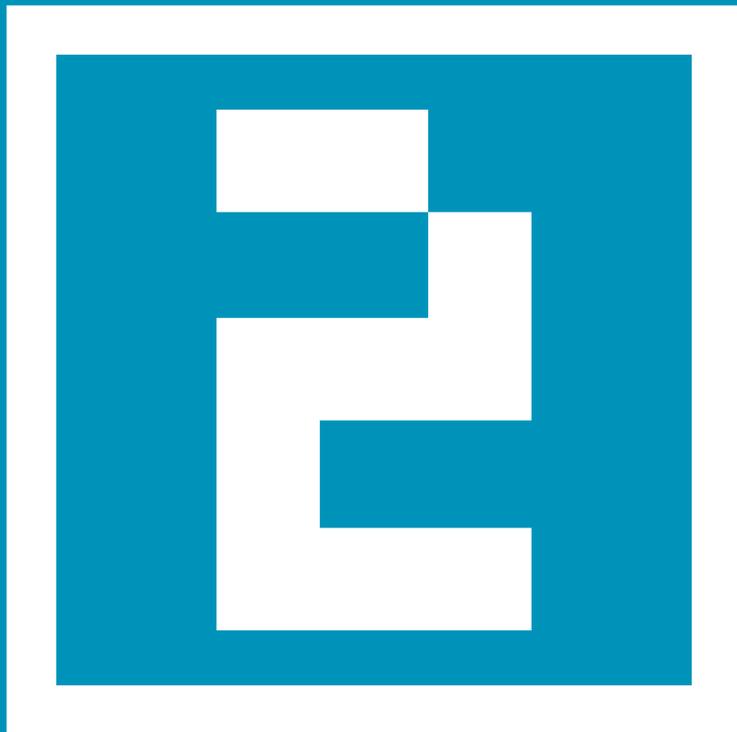
Algumas particularidades desta aplicação são poder ser executada tanto dentro do ArcMap como no ArcCatalog, sendo também possível criar novas ferramentas personalizadas.



ArcScene

ArcScene é uma aplicação para visualizar em 3D os dados espaciais. Através desta aplicação é possível atribuir relevo aos dados, seja este quantificado por um atributo altimétrico, por exemplo, para descrever a superfície terrestre (modelos digitais de terreno) ou quantificado por qualquer outro atributo de natureza numérica (contido nos dados).

As diferentes opções de visualização desta aplicação permitem gerar diferentes perspetivas, navegar interativamente por toda a extensão do mapa ou projeto e ainda gerar animações. O ArcScene está vocacionado para dados representados através de uma projeção planar, assim otimizado para representações mais locais, i.e., escalas de trabalho grandes. Em alternativa, e quando se pretende representar os dados à escala global, em que a curvatura terrestre é relevante, deverá recorrer-se à aplicação ArcGlobe.



CAPÍTULO 2

SISTEMAS DE REFERENCIAÇÃO ESPACIAL



2.1 REFERENCIAÇÃO ESPACIAL

A referenciação ou localização espacial dos diversos dados de natureza espacial, na superfície terrestre, implica a definição de posições de pontos, locais ou objetos num sistema de referenciação. Geralmente estes sistemas de referenciação apoiam-se em formulações matemáticas que permitem materializar esta representação através da atribuição de coordenadas.

Para representar elementos que se encontram sobre a superfície da Terra a solução natural seria projetá-los num globo terrestre. No entanto, por razões de ordem prática, na maior parte dos casos é conveniente representar esses elementos numa superfície plana passível de ser impressa em papel ou visualizada num ecrã. No entanto, uma vez que não é possível representar a superfície terrestre num plano sem a deformar, é necessário conhecer as diferentes projeções de forma a minimizar a deformação associada.

Irregularidades da superfície terrestre e achatamento dos polos

Assumindo a simplificação da Terra de forma esférica, a localização de um elemento na sua superfície é feita através de um sistema de meridianos e paralelos que definem as coordenadas geográficas longitude e latitude, respetivamente.

A latitude corresponde ao arco de meridiano entre o equador e o paralelo do lugar, e varia entre 90° e -90° (ou $N90^\circ$ e $S90^\circ$, respetivamente). Os valores positivos correspondem a lugares localizados no hemisfério norte e os negativos no hemisfério sul. Por outro lado, a longitude representa a distância angular entre o meridiano do lugar e o meridiano de referência, que corresponde (quase sempre) ao meridiano de Greenwich. Os valores variam entre -180° para oeste (designado geralmente por W180 ou -180°) e 180° para este (também designado E180 ou 180°) (Figura 1).

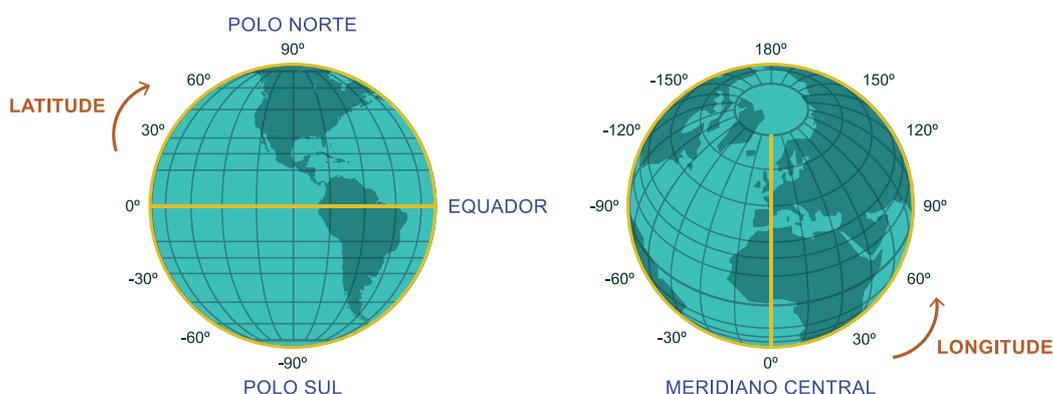


Fig. 1 - Latitude e Longitude.

Para efeitos de posicionamento rigoroso na Terra, a simplificação esférica não é suficiente, pelo que se torna necessário recorrer a alguns conceitos adicionais. Neste contexto, a forma da Terra pode ser definida com recurso a três superfícies: a superfície topográfica (que representa a superfície física da Terra), o geóide (superfície equipotencial de referência) e o elipsoide. O **geóide** foi definido por Gauss como a superfície equipotencial do campo gravítico da Terra que melhor se aproxima da superfície dos mares “em repouso” e proposto como superfície de referência vertical (Figura 2). Por isso, na generalidade dos países o sistema de referência vertical é definido pelo nível médio do mar (NMM) num determinado local e numa determinada data. Em Portugal designa-se por *Datum* Vertical Cascais e foi determinado através da média dos registos observados no marégrafo de Cascais entre 1882 e 1938.

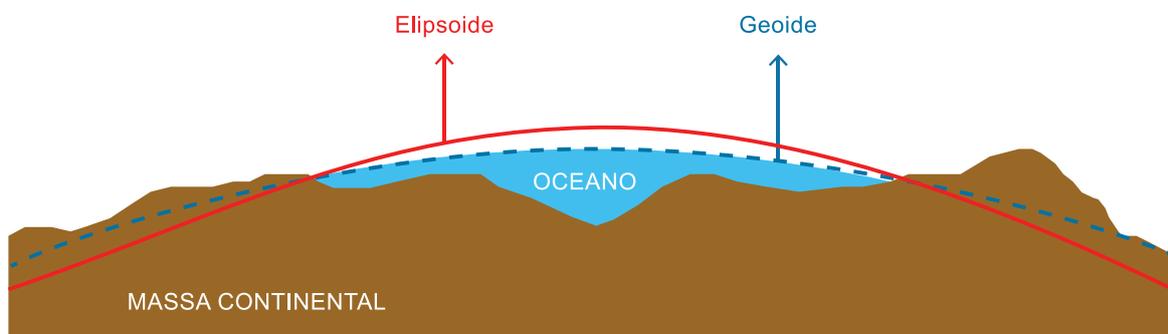


Fig. 2 - Elipsoide de referência e geóide.

No entanto, como a irregularidade geométrica do geóide torna complexa a sua expressão analítica, este é geralmente aproximado a uma forma matemática mais simples (porém realista) que é a de um **elipsoide de revolução**. A enorme vantagem da simplificação da superfície terrestre nesta forma geométrica conhecida (elipsoide) está no facto de assim ser possível matematicamente calcular com elevada precisão ângulos e distâncias sobre a superfície da Terra. Em 1981, a *International Union of Geodesy and Geophysics* adotou, em Assembleia Geral, o sistema geodésico de referência GRS80 (*Geodetic Reference System*) cujos parâmetros podem ser consultados em Moritz (2000). Alguns anos depois, em 1984, os EUA adotaram como sistema de referência do GPS (*Global Positioning System*) o WGS84 (*World Geodetic System*) que também se baseia no GRS80 com ajustes menores. Existem muitos outros elipsoides, amplamente utilizados, particularmente em áreas de trabalho mais pequenas, sendo nestes casos o elipsoide de referência posicionado por forma a minimizar as distorções locais.

O **datum geodésico** é o nome que se dá ao modelo matemático adotado (descreve a forma e origem do elipsoide), e o local onde ocorre uma coincidência perfeita entre o geóide e o elipsoide constitui a origem do *datum*, sendo este o local onde as distorções

induzidas pelo relevo se minimizam. Em Portugal existem vários *data*² geodésicos, essencialmente criados para Portugal continental e arquipélagos, como se descreve mais à frente; muitos deles constituem um elipsoide de referência do tipo Hayford (cujas dimensões foram definidas por John Fillmore Hayford) ou o elipsoide de Bessel.

Uma esfera não é planificável



Em Gaspar (2005) pode ler-se: “Para regiões suficientemente pequenas (alguns quilómetros de raio), o erro em se ignorar a forma esférica do nosso planeta pode, em geral, ser ignorado. Por outro lado, quando se pretende cartografar grandes regiões, por exemplo todo o **Oceano Atlântico**, é necessário ter em conta a sua curvatura geral: em alguns casos, bastará considerá-lo como esférico; noutros, será necessário recorrer a uma melhor aproximação, o elipsoide de revolução.”

A representação de uma superfície curva numa superfície plana envolve um processo designado por **projeção**, na qual a superfície curva de um modelo matemático da Terra (o elipsoide de referência) é projetada num plano tendo por base as regras, princípios e constrangimentos geométricos e matemáticos. Todas as projeções envolvem distorções de formas, áreas, direções ou distâncias e existe um variado número de tipos de projeções, concebidas para representar, o mais fielmente possível, cada uma destas características geométricas.

O problema comum das projeções globais advém do facto de uma esfera, ou um elipsoide, não serem planificáveis numa superfície plana única. A animação “*The Impossible Map*”, de Evelyn Lambart (1947) (https://www.youtube.com/watch?v=wkK_HsY7S_4), exprime essa dificuldade e ilustra as deformações que se podem obter ao planificar uma superfície esférica.

As projeções têm a vantagem de facilmente se poder calcular propriedades geométricas de entidades espaciais comparativamente aos cálculos que seriam necessários se considerássemos a superfície curva da Terra. Por exemplo, numa superfície plana os cálculos de distâncias, ângulos, direções e áreas podem ser feitos utilizando as relações geométricas clássicas (geometria euclidiana) (Voser, 2003).

Por outro lado, as distorções geométricas que o processo de projeção envolve constituem a sua maior desvantagem, estando estas distorções dependentes do tipo de projeção utilizada (Voser, 2003); por exemplo, as projeções que tentam preservar áreas

² *Data* corresponde ao plural de *datum*, palavra com origem no latim e que significa detalhe, aproximação, pormenor.

apresentam distorções a nível de escala, forma e ângulos, enquanto as que foram desenvolvidas para preservar distâncias não preservam relações geométricas angulares ou áreas. As projeções podem ser classificadas quanto às distorções: conforme (sem distorção angular) e equivalente (sem distorção da área).

Podemos, ainda, dividir as projeções em três classes fundamentais: planar, cónica e cilíndrica (Figura 3), dentro das quais se incluem diferentes variedades.

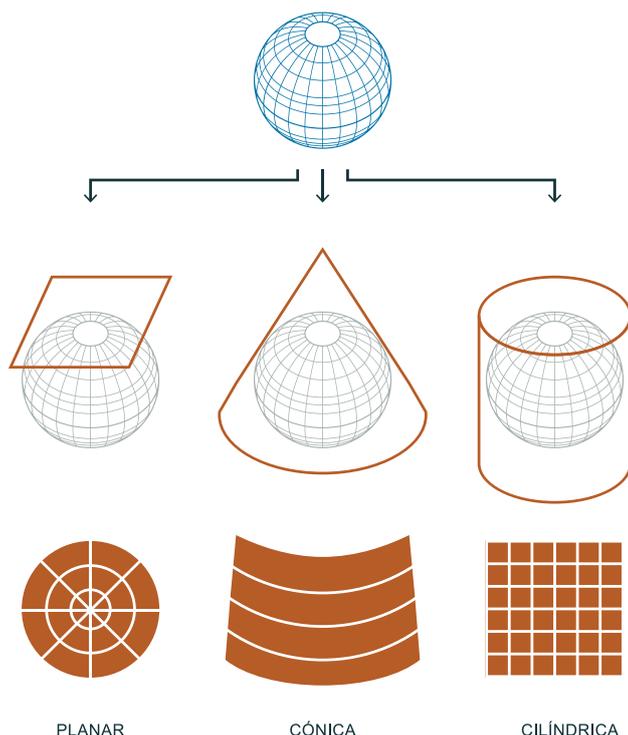


Fig. 3 - Classes fundamentais das projeções.³

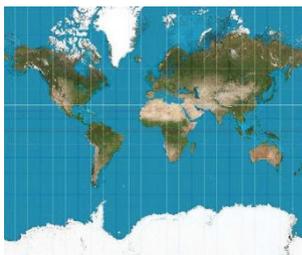
Segue-se uma breve descrição sobre algumas das projeções mais utilizadas nos sistemas de referência em Portugal. Descrições mais abrangentes e completas poderão ser encontradas em Gaspar (2005) e em Catalão (2010):



Projeção Bonne – é uma projeção cónica, equivalente, normal com linha de contacto tangente ao paralelo de referência (Catalão, 2010). Trata-se de uma projeção em que as áreas são mantidas e onde os paralelos são representados por arcos de circunferência concêntricos.

Para regiões como Portugal, alongadas na direção Norte/Sul e estreitas na direção Este/Oeste, este tipo de projeção tem deformações angulares pequenas e, como tal, pode considerar-se quase conforme, sendo verdadeiramente conforme sobre o meridiano central e sobre o paralelo central (Catalão, 2010).

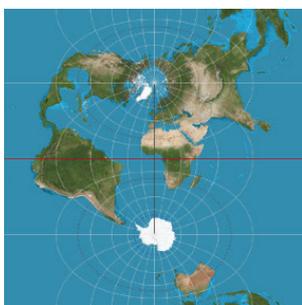
³ Adaptado de Geographic Information System Basics v. 1.0, 2012.



Projeção de Mercator – projeção incluída na classe cilíndrica do tipo conforme, i.e. mantém as formas e ângulos na sua representação, mas distorce as áreas terrestres, particularmente nos polos.

Neste tipo de projeção os meridianos são paralelos e os ângulos são preservados, sendo, por esta razão, o mais adequado à navegação (Liu & Mason, 2009), dadas as grandes distâncias de navegação em que não é possível ignorar a curvatura da Terra, mas também devido à importância que tem o Norte como referência de orientação no mar (Gaspar, 2005).

Nas projeções Mercator as áreas perto do equador apresentam menores distorções, enquanto que à medida que a latitude vai aumentando a representação das áreas é cada vez mais exagerada.



Projeção Gauss-Kruger ou Transversa Mercator – corresponde a uma modificação da projeção anterior com a intenção de minimizar as distorções nas zonas afastadas do equador (Liu & Mason, 2009). Neste caso a projeção cilíndrica ocorre em torno dos polos (ao contrário da anterior que ocorre em torno do equador). Nesta projeção o cilindro é colocado de modo a tangenciar um determinado meridiano (Gaspar, 2005) (o meridiano central ou outro meridiano padrão). Sendo uma transformação conforme, também a projeção transversa de Mercator preserva as formas e ângulos em representações pequenas e está otimizada para representar grandes áreas que se distribuem essencialmente na direção norte-sul. À medida que aumenta a distância ao meridiano padrão (para este e oeste), a escala aumenta rapidamente, provocando grandes deformações areais (Gaspar, 2005). Quando se utiliza o elipsoide como superfície de referência, a projeção Mercator transversa é conhecida por projeção Gauss ou projeção Gauss-Kruger.

Desta projeção surgiu a quadrícula **UTM (*Universal Transverse Mercator*)**, inicialmente com aplicações militares, mas que é, atualmente, amplamente utilizada. Esta quadrícula (UTM) apresenta 60 zonas em função do meridiano considerado como secante na projeção cilíndrica, i.e. fazendo variar a secante por meridianos espaçados entre si, por frações de 6° de longitude, resultam 60 zonas distintas com projeções distintas (Liu & Mason, 2009). Em cada uma das zonas, os paralelos e meridianos apresentam-se curvos, com exceção do equador e do meridiano central da projeção (em torno do qual as distorções são mínimas, e progressivamente maiores em direção à sua periferia).

2.2

SISTEMA DE COORDENADAS

Um sistema de coordenadas é, como o seu nome sugere, um sistema que serve para definir posições de pontos num determinado espaço, podendo este espaço ser em duas ou três dimensões. No contexto da representação da superfície da Terra sobre um plano, são geralmente utilizados sistemas de Coordenadas Cartesianas (designadas por coordenadas projetadas ou retangulares).

O elevado número de projeções cartográficas possíveis e os inúmeros *data* existentes fazem com exista, em todo o globo, uma grande variedade de sistemas de coordenadas. Em SIG, qualquer sistema de coordenadas é representado por formulações matemáticas que na sua essência descrevem, matematicamente, os conceitos atrás apresentados: **elipsoide de referência, datum de referência e projeção**.

Os sistemas de coordenadas fazem uso de valores (coordenadas) que representam a localização geográfica de qualquer objeto; estes valores podem diferir na sua forma (linear ou angular), consoante se trate de um sistema de coordenadas projetado ou por outro lado, de um sistema de coordenadas geográfico (respetivamente).

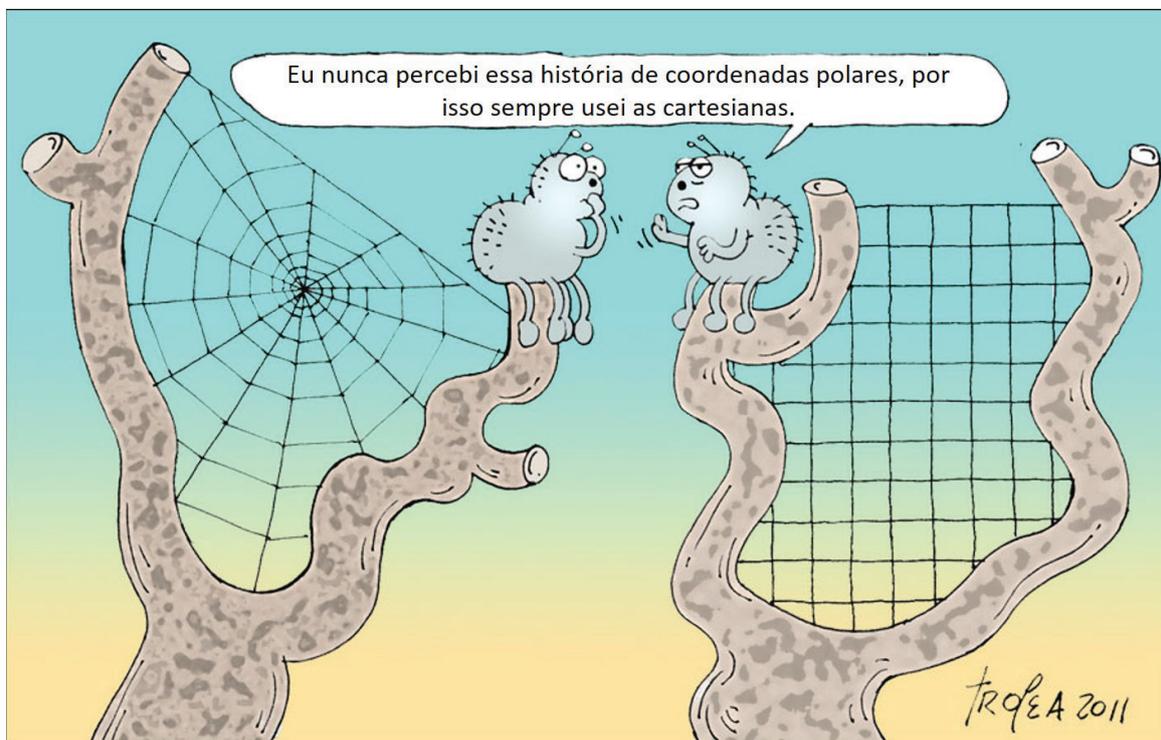


 Fig. 4 - Coordenadas polares e coordenadas retangulares.⁴

⁴ Adaptado de Alejandro Tropea, 2011.



As **coordenadas projetadas** (também designadas por retangulares) são representadas através de distâncias à origem do referencial adotado; estas distâncias são lineares (geralmente em metros) e incluem coordenadas x e y , frequentemente designadas em língua inglesa por ***easting*** e ***northing***, respetivamente.

Nos sistemas de **coordenadas geográficas** as posições são identificadas através de distâncias angulares relativas ao paralelo e ao meridiano de referência. Estas distâncias constituem a **latitude** e a **longitude** e podem apresentar-se em diferentes formatos (graus, minutos e segundos, graus decimais e graus minutos decimais).

É fácil perceber que um objeto possa ser caracterizado por coordenadas distintas conforme o sistema de coordenadas em que se encontra. Dando como exemplo a Torre de Belém em Lisboa, esta localiza-se num ponto com coordenadas 105684, 192315 no sistema de coordenadas das cartas militares (Hayford-Gauss-Militares). Através do conhecimento do valor destas coordenadas é possível deduzir que o ponto se localiza a cerca de 106 km a este e 192 km a norte da origem do referencial, que neste caso se localiza ao largo de Sagres. Se por outro lado localizarmos a Torre de Belém no sistema de coordenadas que tem como origem o centro geométrico de Portugal (Melriça), o mesmo ponto terá como coordenadas os valores (-94207, -107859), respetivamente para x e y . Um princípio semelhante aplica-se aos sistemas de coordenadas geográficas, em que um mesmo ponto pode ser representado por coordenadas distintas. Neste caso, as diferenças terão origem nas diferenças do modelo geodésico de referência (*Geodetic Reference System*).

É, assim, fundamental conhecer o sistema de coordenadas em que os dados são apresentados, bem como os princípios associados à sua referência espacial. A identificação de um sistema de coordenadas envolve geralmente a **descrição do datum** e da **projeção utilizada**.

Na cartografia portuguesa, para além de uma grande diversidade de *data* utilizados, adotaram-se diferentes tipos de projeções, resultando numa lista de sistemas de coordenadas relativamente extensa, quer para Portugal continental (Figura 5) quer para as regiões autónomas dos Açores e da Madeira (Figura 6).

Sistemas de coordenadas comuns em Portugal	Sistema Geodésico de Referência			Projeção			Observações	
	Elipsoide de referência	Datum	Ponto de fixação do datum	Projeção	Origem do referencial	Fuso		
Puissant-Bonne -Lisboa	Puissant	Datum Lisboa	Lisboa (Castelo de S.Jorge)	Bonne	Lisboa - Castelo S.Jorge	n.a.	Sistemas considerados obsoletos na cartografia portuguesa substituídos pelo datum ETRS89 (coordenadas geográficas ou projetadas)	
Bessel-Bonne -Lisboa	Bessel			Bonne	Ponto central - Melriça	n.a.		
Hayford-Gauss -Lisboa	Hayford			Gauss-Kruger	Ponto central - Melriça	n.a.		
Hayford-Gauss -Militar				Gauss-Kruger	Ponto central com translação ($\Delta x - 200\text{km}$; $\Delta y - 300\text{km}$)	n.a.		
Hayford-Gauss Melriça		Datum 73	Vértice geodésico Melriça	Gauss-Kruger	Ponto central - Melriça	n.a.		
ED50	Hayford (ou internacional 1924)	Datum ED50	Postdam, Alemanha	Coordenadas Geográficas (sem Projeção)			Sistemas de referência internacionais	
ED50-UTM				UTM	500km para oeste do meridiano de referência (-9), sobre o equador	29N		
WGS84	WGS84	WGS84	Não tem (datum global)	Coordenadas Geográficas (sem Projeção)				
WGS84-UTM				UTM	500km para oeste do meridiano de referência (-9), sobre o equador	29N		
ETRS89	GRS80	ETRS89	Fixado na parte estável da placa Euro-Asiática	Coordenadas Geográficas (sem Projeção)				Diretiva INSPIRE recomenda a utilização do ETRS89 na área geográfica ETRS89
ETRS89-TM06				TM	Ponto central - Melriça	n.a.	Para mapear mantendo formas a escalas superiores a 1/500 000	
ETRS89-LAEA				Azimutal de Lambert (áreas iguais)	Cruzamento entre Greenwich e Equador	n.a.	Para análises estatísticas e visualização	
ETRS89-LCC				Cónica Conforme de Lambert	Cruzamento entre Greenwich e Equador	n.a.	Para mapear mantendo formas a escalas menores ou iguais a 1/500 000	



Fig. 5 - Sistemas de coordenadas comuns em Portugal - Portugal continental

Sistemas de coordenadas comuns em Portugal	Sistema Geodésico de Referência			Projeção			Observações
	Elipsoide de referência	Datum	Ponto de fixação do datum	Projeção	Origem do referencial	Fuso	
UTM-Datum Base SE	Hayford (ou internacional 1924)	Datum Porto Santo	Base SE - Porto Santo, Madeira	UTM (Fuso 28)	500km para oeste do meridiano de referência (-33), sobre o equador	28N	Sistemas considerados obsoletos na cartografia portuguesa substituídos pelo datum ITRF93 (coordenadas geográficas ou projetadas)
UTM-Datum S.Braz		Datum S.Braz	S.Braz - S.Miguel, Grupo Oriental	UTM (Fuso 26)	500km para oeste do meridiano de referência (-27), sobre o equador	26N	
UTM-Datum Base SW		Datum Graciosa Base	Base SW - Graciosa, Grupo Central	UTM (Fuso 26)	500km para oeste do meridiano de referência (-27), sobre o equador	26N	
UTM-Datum Observatório		Datum Observatório	Observatório - Flores, Grupo Ocidental	UTM (Fuso 25)	500km para oeste do meridiano de referência (-15), sobre o equador	25N	
PTRA08 (Regiões Autónomas)	GRS80	ITRF93	Não tem (datum global)	Coordenadas Geográficas (sem Projeção)			Diretiva INSPIRE recomenda a utilização do ITRS fora da área geográfica ETRS89
PTRA08-UTM				UTM (fusos 25, 26, 26 e 28) (Açores Ocidental, Central, Oriental e Madeira, respetivamente)	500km para oeste do meridiano de referência (-15, -27, -27 e -33), sobre o equador	25N, 26N, 26N, 28N	Para mapear mantendo formas a escalas superiores a 1/500 000
PTRA08-LAEA				Azimutal de Lambert (áreas iguais)	Cruzamento entre Greenwich e Equador	n.a.	Para análises estatísticas e visualização
PTRA08-LCC				Cónica Conforme de Lambert	Cruzamento entre Greenwich e Equador	n.a.	Para mapear mantendo formas a escalas menores ou iguais a 1/500 000



Fig. 6 - Sistemas de coordenadas comuns em Portugal - Regiões Autónomas.

DATUM LISBOA

O **Datum Lisboa** constitui o *datum* mais antigo, em que a origem das coordenadas geodésicas se localizava em Lisboa, no Castelo de S. Jorge. Este *datum* serve de base a diversos sistemas de referência, quer pela sua associação a elipsoides de referência distintos quer pela implementação de projeções distintas. Associados ao *Datum Lisboa* podemos enumerar os seguintes sistemas de coordenadas:

- **Sistema Bessel-Bonne-Lisboa⁵** – Este sistema caracteriza-se pela adoção do elipsoide de referência de Bessel fixado no Castelo de S. Jorge, Lisboa (*Datum Lisboa*), (local onde o geóide e elipsoide são coincidentes e como tal as distorções de relevo são menores). A projeção associada a este sistema é uma projeção Bonne, cónica equivalente (Catalão, 2010), com o seu ponto de origem definido pelo ponto central (centro geométrico de Portugal continental).
Neste sistema o referencial cartesiano é caracterizado pelo eixo positivo das abcissas orientado para oeste, enquanto o eixo positivo das ordenadas se dirige para sul (Matos, 2001). O sistema Bessel-Bonne-Lisboa encontra-se representado na Carta de Portugal, produzida pela DGT, na escala 1/50 000 (Gaspar, 2005) (Figura 7, esquerda).
- **Sistema Hayford-Gauss-Lisboa (*Datum Lisboa*)** – Sistema de coordenadas que utiliza o elipsoide Hayford com origem das coordenadas geodésicas no Castelo de S. Jorge, Lisboa. Utiliza a projeção Gauss-Kruger com origem do sistema de coordenadas no ponto central (Gaspar, 2005).
O referencial cartesiano é distinto do sistema anterior, no qual os eixos positivos se direcionam para este e norte, respetivamente para as abcissas e ordenadas. Tal como o sistema anterior, o território português (continental) pode ser descrito tanto por coordenadas positivas como por coordenadas negativas, em que posições no sudoeste português terão valores negativos, enquanto posições no nordeste de Portugal serão descritas por coordenadas x e y positivas (Figura 7, ao centro).
- **Sistema Hayford-Gauss-Militar (*Datum Lisboa militar*)** – Sistema de coordenadas do sistema militar português, i.e. representado nas cartas militares. É em tudo semelhante ao sistema de coordenadas anterior (elipsoide Hayford e projeção Gauss-Kruger) à exceção da origem do referencial que foi deslocado, relativamente ao ponto central, 200 km para oeste e 300 km para sul, para que o território de Portugal continental seja, sempre, descrito por coordenadas positivas (Figura 7, direita) (Gaspar, 2005).

⁵ O Sistema Bonne inicialmente adotou um elipsoide de referência Puissant, *Datum Lisboa*, num sistema de referência designado por Puissant-Bonne-Lisboa.

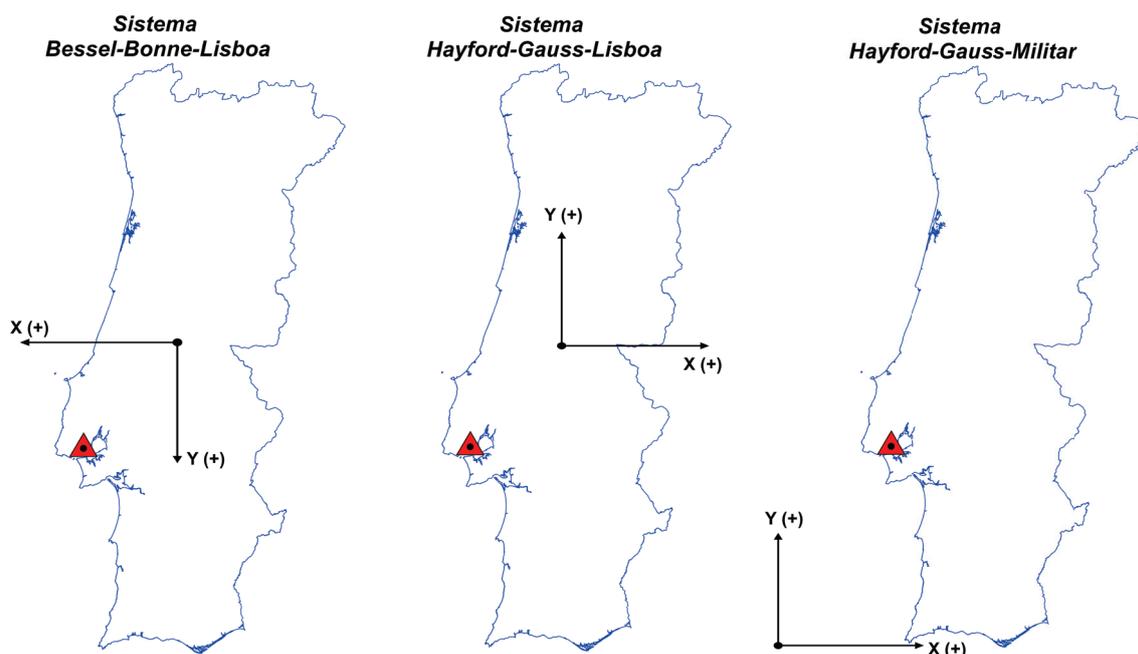


Fig. 7 - Sistemas de coordenadas utilizando o *Datum* Lisboa, com a representação da origem e orientação dos eixos do referencial e ponto de fixação do elipsoide de referência (triângulo vermelho).

DATUM 73

Outro *datum* utilizado em Portugal continental é o **Datum 73**. Este *datum* foi definido pela mudança de origem do referencial de Lisboa para o vértice de Melriça, no centro do país, concelho de Vila do Bispo (Gaspar, 2005). A este *datum* associa-se o sistema de referência:

Sistema Hayford-Gauss-Melriça (*Datum* 73) – Sistema de coordenadas, usualmente descrito como *Datum* 73, adota um elipsoide de referência do tipo Hayford com ponto de fixação no vértice geodésico Melriça (centro geográfico de Portugal continental). O tipo de projeção adotada é a projeção do tipo Gauss-Kruger, cuja origem das coordenadas corresponde ao ponto central, Melriça (Figura 8) (Gaspar, 2005).

Este sistema está muito representado na cartografia topográfica do antigo IGP - Instituto Geográfico Português (atual Direção-Geral do Território, DGT).

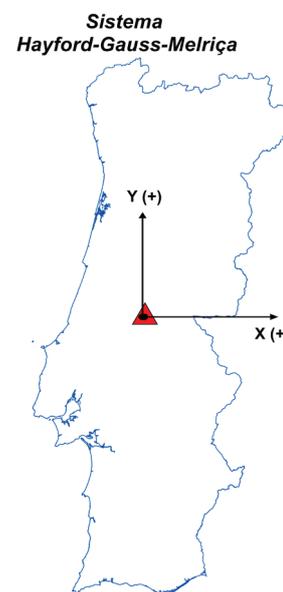


Fig. 8 - Sistemas de coordenadas utilizando o *Datum* 73, com a representação da origem e orientação dos eixos do referencial e ponto de fixação do elipsoide de referência (triângulo vermelho).

DATUM ED50

Com o objetivo de uniformizar os sistemas de coordenadas geodésicas europeias foi criado o **Datum Europeu ED50** - *European Datum 1950*. Este *datum* resultou da junção da informação proveniente do conjunto de redes geodésicas europeias e associa-se ao elipsoide de referência Hayford (também designado por Internacional 1924) com origem no vértice de Postdam na Alemanha (Catalão, 2010).

- **Sistema *European Datum 1950 (ED50)* em coordenadas geográficas** – Embora ao ED50 se associe normalmente uma projeção do tipo UTM, este *datum* também pode ser utilizado na sua componente geográfica, sem projeção.
- ***European Datum 1950-UTM (UTM-ED50)*** – Este sistema utiliza o *Datum* ED50 com uma projeção do tipo Transversa Universal de Mercator (UTM). A projeção toma como origem do sistema de coordenadas, o ponto localizado a 500 km para oeste do meridiano de referência, sobre o equador. A definição do meridiano de referência depende da latitude em que se está a trabalhar e é definida através de fusos. Para Portugal continental adota-se o fuso 29 que corresponde ao meridiano 9° W.



Os fusos UTM em Portugal continental e Ilhas:

Portugal continental: 9° W (fuso 29)

Arquipélago da Madeira: 15°W (fuso 28)

Arquipélago dos Açores - Grupo Oriental e Grupo Central: 27°W (fuso 26)

Arquipélago dos Açores - Grupo Ocidental: 33°W (fuso 25).

Fonte: DGT – Direção-Geral do Território

DATUM WGS84

O *datum World Geodetic System de 1984 (WGS84)* constitui um *datum* de melhor ajuste a todo o globo terrestre. Corresponde a um *datum* geocêntrico que utiliza o elipsoide de referência⁶ com o mesmo nome (WGS84). Este *datum* geralmente utiliza-se sob a forma de:

- **Sistema *World Geodetic System de 1984 (WGS84)* em coordenadas geográficas** – Neste sistema as coordenadas correspondem a distâncias angulares em que a origem do referencial é o meridiano de Greenwich e o paralelo Equador, respetivamente para a longitude e para a latitude.

⁶ Originalmente o sistema WGS84 utilizava como elipsoide de referência o GRS80 (*Geodetic Reference System 1980*) que posteriormente sofreu pequenos melhoramentos, dando origem ao elipsoide WGS84.

O ETRS89 está já amplamente implementado a nível europeu, sendo mesmo recomendado o seu uso pela Comissão Europeia através da diretiva INSPIRE (Annoni et al., 2001) aos seus estados membros e também a nível nacional pela entidade responsável pelo ordenamento do território português (a DGT), que determina que “este sistema deverá substituir completamente os anteriormente usados, que se consideram obsoletos”.

O *Datum* ETRS89 é fixado na parte estável da placa Euro-Asiática e utiliza um elipsoide de referência designado por GRS80 - Geodetic Reference System 1980. O GRS80 é um elipsoide muito semelhante ao elipsoide WGS84, com uma consistência entre ambos na ordem do metro. Assim, as diferenças posicionais entre estes *data* são muitas vezes negligenciáveis e estes dois sistemas são considerados virtualmente idênticos (sem necessidade de aplicar transformações de coordenadas).

- **Sistema *European Terrestrial Reference System 1989 (ETRS89)* em coordenadas geográficas** – À semelhança do que acontece com os *data* descritos anteriormente, o ETRS89 pode ser aplicado na sua componente geográfica, descrevendo distâncias angulares relativamente ao equador (latitude) e ao meridiano de Greenwich (longitude).
- **Sistema *ETRS89-TM06*** – A utilização do *Datum* ETRS89 utilizando uma projeção do tipo Transversa de Mercator constitui o sistema designado por ETRS89-TM06. Em Portugal continental esta projeção apresenta um referencial cartesiano cuja origem se localiza no centro geométrico de Portugal. (Figura 10).



A diretiva INSPIRE obriga os estados membros a gerirem e disponibilizarem os dados e serviços informáticos de acordo com princípios e regras comuns (e.g. metadados, interoperabilidade de dados e serviços nos quais se incluem normas associadas aos sistemas de referência geográfica, entre outros), por forma a promover a disponibilização de dados espaciais no território da União Europeia.

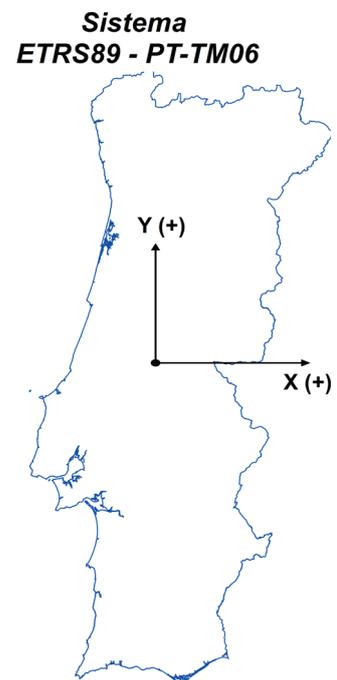


Fig. 10 - Sistemas de coordenadas utilizando o sistema ETRS89-TM06 com a representação da origem e eixos do referencial.

A DGT recomenda a utilização deste sistema na cartografia portuguesa, tendo já sido adotado na carta administrativa oficial de Portugal (CAOP).

Segundo as recomendações da Comissão Europeia (expressas na diretiva INSPIRE) este tipo de projeção (TM – Transversa de Mercator) deverá ser utilizado para mapear áreas a escalas superiores a 1/500 000 (Annoni *et al.*, 2001).

- **Sistema ETRS89-LAEA** – A projeção Azimutal de Lambert (áreas iguais) é a projeção recomendada (pela Comissão Europeia e diretiva INSPIRE) para a realização de análises estatísticas e visualização na zona abrangida pelo ETRS89 (Annoni *et al.*, 2001). A sua natureza conservativa de áreas faz com que seja a projeção mais adequada para a realização de análises que envolvam quantificações de distâncias e áreas.
- **Sistema ETRS89-LCC** – Segundo as recomendações das entidades acima referidas, a projeção Cónica Conforme de Lambert deverá ser utilizada para mapear áreas a escalas inferiores ou iguais a 1/500 000 (Annoni *et al.*, 2001), por ser uma projeção conservativa de formas e assim representar corretamente áreas muito extensas.

DATA LOCAIS - REGIÕES AUTÓNOMAS

Na cartografia das Regiões Autónomas reconhece-se a utilização de 4 *data* locais, todos eles utilizando um elipsoide de referência Hayford (ou Internacional 1924):

- **O Datum Base SE** – Porto Santo, utilizado no Arquipélago da Madeira, com ponto de fixação no vértice geodésico Base SE na ilha de Porto Santo;
- **O Datum S. Braz** – S. Miguel, fixado no vértice S. Braz (ilha de S. Miguel) e associado à cartografia do grupo Oriental do Arquipélago dos Açores;
- **O Datum Base SW** – Graciosa, referência para o grupo central dos Açores cujo ponto de fixação se localiza no vértice Geodésico Base SW (ilha Graciosa);
- **O Datum Observatório** – Flores, *datum* adotado para as ilhas do grupo ocidental do Arquipélago dos Açores, fixado na ilha das Flores (vértice geodésico observatório).

A estes *data* locais associa-se geralmente uma projeção do tipo UTM com fusos de referência 28, 26, 26 e 25, respetivamente, para Madeira, grupo oriental dos Açores, grupo central dos Açores e grupo ocidental dos Açores.

DATUM ITRF93 – REGIÕES AUTÓNOMAS

A diretiva INSPIRE recomenda, fora da área geográfica de aplicação do ETRS89 (Figura 9), a utilização de um sistema de referência geográfica baseado no **Datum International Terrestrial Reference System (ITRS)**. Estando as Regiões Autónomas incluídas nesta premissa, as entidades responsáveis pelo território português optaram pela utilização oficial do Datum ITRS93, que resultou de campanhas onde foram observados, com GPS, vértices geodésicos em todas as ilhas. Naturalmente, os *data* utilizados localmente em cada grupo de ilhas, atualmente considerados obsoletos, deverão ser substituídos pelo ITRS93, que nas Regiões Autónomas portuguesas é geralmente descrito por **PTRA08⁸/ITRF93**. Este *datum* considera o elipsoide de referência GRS80, que mais uma vez apresenta semelhanças muito grandes com o WGS84 (resultando num sistema de referência virtualmente idêntico ao WGS84, sem necessidade de transformação de coordenadas).

- **Sistema International Terrestrial Reference System 1993 (ITRS93) em coordenadas geográficas** – Na sua componente geográfica o ITRS93, tal como os sistemas geográficos descritos anteriormente, representam posicionamentos através de distâncias radiais ao meridiano de Greenwich (longitude) e ao equador (latitude).
- **Sistema PTRA08-UTM** – A projeção UTM do *datum* ITRS93 utiliza diferentes fusos em função da longitude de cada grupo de ilhas. Assim para as Regiões Autónomas portuguesas aplicam-se os fusos 28, 26, 26 e 25, para a Madeira, grupo oriental, grupo central e grupo ocidental dos Açores. A cartografia oficial portuguesa, na carta administrativa oficial de Portugal (CAOP), já adota este *datum* e esta projeção nos dados disponibilizados. Também, neste caso, as recomendações da Comissão Europeia (expressas na diretiva INSPIRE) vão no sentido de se utilizar esta projeção no mapeamento de áreas a escalas superiores a 1/500 000 (Annoni *et al.*, 2001).
- **Sistema PTRA08-LAEA** – A projeção Azimutal de Lambert (áreas iguais) é a projeção recomendada para a realização de análises estatísticas e visualização fora da zona abrangida pelo ETRS89 (Annoni *et al.*, 2001). A conservação de áreas permite a sua correta aplicação na quantificação de distâncias e áreas.
- **Sistema PTRA08-LCC** – A projeção Cónica Conforme de Lambert deverá ser utilizada para mapear áreas a escalas inferiores ou iguais a 1/500 000 (Annoni *et al.*, 2001) por ser uma projeção conservativa de formas e, assim, representar a forma correta de áreas muito extensas.

⁸ PTRA08 constitui a designação para o *datum* ITRS93 nas Regiões Autónomas portuguesas.

Esta lista pretende resumir as características gerais dos sistemas de coordenadas mais utilizados em Portugal continental e nas Regiões Autónomas. Informação adicional poderá ser encontrada em Gaspar (2005), Catalão (2010), Annoni *et al.* (2001) e no sítio da Direção-Geral do Território (DGT, 2015). O Anexo I, do presente documento apresenta a designação e a localização dos sistemas de coordenadas descritos, em ambiente ArcMap.

Quando se olha para o território nacional como um todo, i.e. pretendendo representar a parte marítima incluindo a Zona Económica Exclusiva (ZEE) e a extensão da plataforma continental, surgem bastantes dificuldades, essencialmente relacionadas com o tipo de projeção a adotar (Gaspar, 2005). Esta extensa área está compreendida, aproximadamente, entre os meridianos 42°W e 7°W (numa distância radial que inclui aproximadamente 35°) e entre os paralelos 28°N e 49°N (distância radial aproximadamente 21°), razão pela qual qualquer projeção adotada terá inevitavelmente distorções e alterações de escala não negligenciáveis.

Naturalmente, a escolha da projeção está dependente das propriedades que se pretendem preservar (ou minimizar as deformações). Para efeitos de navegação ou meteorologia a preservação das relações angulares e direção do norte surgem como principais objetivos e, nestes casos, Mercator é a projeção de eleição (Liu & Mason, 2009). Por outro lado, se pretender privilegiar a conservação de distâncias e áreas, a projeção Azimutal de Lambert (áreas iguais) é a mais adequada, e até recomendada pela Comissão Europeia; no entanto a visualização espacial da informação aparecerá distorcida.

2.3 ALTERAÇÃO ENTRE SISTEMAS DE COORDENADAS

A compatibilização geométrica dos diferentes dados geográficos num sistema de referência comum é um passo essencial em qualquer projeto SIG.

Embora exista uma grande variedade de sistemas de coordenadas, a alteração entre diferentes sistemas é conseguida facilmente através de operações numéricas (tipicamente rotação e alteração de escala), onde os SIG são particularmente competentes (Longley *et al.*, 2005). A alteração de coordenadas compreende dois tipos de operações: a conversão de coordenadas e a transformação de coordenadas.

A **conversão de coordenadas** é uma alteração de coordenadas de um sistema de coordenadas para outro que tem por base o mesmo *datum*, por exemplo entre coordenadas

geográficas e cartesianas, ou alteração de unidades como alterações de radianos para graus, ou alterações de pés para metros. Estas alterações utilizam valores constantes nos seus parâmetros de conversão (Ihde *et al.*, 2001).

A **transformação de coordenadas** é um processo que envolve a modificação de coordenadas entre sistemas que têm por base *data* diferentes. A transformação de coordenadas pode necessitar de uma série de operações que incluem uma ou mais transformações e/ou uma ou mais conversões (Ihde *et al.*, 2001) (Figura 11).

Em ArcMap a alteração entre sistemas de coordenadas faz-se via dois métodos distintos: um modo “*on the fly*”, i.e. uma conversão/transformação em tempo real, sem alterar as propriedades originais dos dados, ou por alteração das características posicionais dos dados de origem, normalmente através da ferramenta **Project**. Numa primeira aproximação é aconselhável utilizar o modo “*on the fly*” de forma a verificar a concordância espacial entre os diferentes dados. Se for necessário, e caso as projeções/transformações estejam corretas, pode tornar-se a projeção permanente através da ferramenta **Project**.

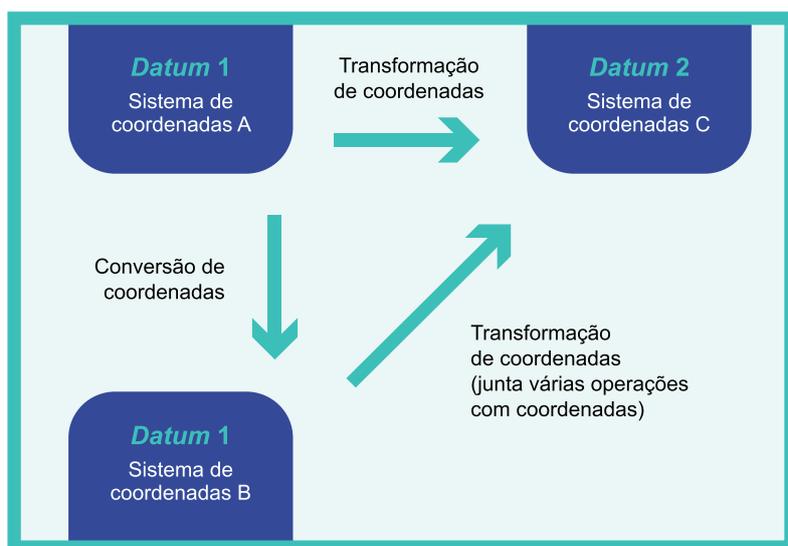


Fig. 11 - Operações com coordenadas.

O ArcMap apresenta uma lista variada de transformações, e de diferentes métodos, para alterar os sistemas de referência dos dados. As transformações são bidirecionais (ARC, 2015), p. ex. a transformação designada em ArcMap por **ED_1950_To_WGS_1984** tanto é aplicável à transformação de coordenadas de ED50 para WGS84, como de WGS84 para ED50.

Nos casos em que a transformação de coordenadas entre dois sistemas não esteja listada na base de dados ArcMap, é possível defini-la através da introdução dos respetivos parâmetros de transformação e gravá-la para utilizações futuras. Em Portugal a DGT é a entidade responsável pela disponibilização dos parâmetros oficiais de transformação a aplicar para a transformação de coordenadas entre os diversos *data* locais e o *datum* ETRS89 (recomendado).

Tradicionalmente utilizam-se métodos de transformação designados por Bursa-Wolf ou Molodensky que incluem respetivamente, sete e cinco parâmetros de transformação. A Bursa-Wolf constitui uma transformação que inclui definição de parâmetros de escala, três parâmetros de rotação e três de translação, enquanto as transformações do tipo Molodensky envolvem apenas parâmetros associados a alterações de escala e translação (DGT, 2015).

Mais recentemente, surgiu um método de transformação das grelhas que corresponde à criação de uma grelha de valores de deslocação de coordenadas (diferenças), a partir da qual se interpolam (interpolação bilinear) novas coordenadas em qualquer local (Gonçalves, 2009). Esta metodologia permitiu uma redução da magnitude dos erros de transformações de coordenadas em Portugal continental, e.g. entre os *data* locais Lisboa e *Datum 73* e o *Datum ETRS89*, da ordem métrica para ordem centimétrica (ver DGT, 2015 e Gonçalves, 2009 para informação mais detalhada acerca dos erros de transformações).



CAPÍTULO 3

MODELOS DE DADOS



Em SIG a representação geográfica das diferentes características do mundo real ocorre através da simplificação da informação espacial em modelos de dados. Geralmente pretende-se representar entidades muito variadas que passam por informação cartográfica, com representação de estradas, rios, países, vegetação, casas, etc., informação em forma de fotografias, imagens de satélite, informação acerca do relevo, acerca de densidades populacionais, densidades de precipitação, ou qualquer outro tipo de informação que possa ser geograficamente localizada.

Pode-se categorizar dois tipos fundamentais de modelos de representação de dados, nomeadamente os modelos de dados vetoriais e matriciais.

3.1 MODELO DE DADOS VETORIAL

O **modelo de dados vetorial** associa-se a dados de natureza discreta, onde os dados são caracterizados por fronteiras geográficas bem definidas, e por informação ausente na sua vizinhança, i.e. apenas existe informação onde os dados desta natureza se localizam (Longley *et al.*, 2005).

Nesta categoria inclui-se a representação em pontos (dados discretos caracterizados geograficamente por um espaço demasiadamente pequeno para ser representado de outra forma que não um ponto), linhas (representações lineares representadas por conjuntos de pontos interligados que, por si só, não constituem áreas) e áreas ou polígonos (conjunto de pontos interligados fechados que representam a forma, área e localização de uma entidade homogénea) (Liu & Mason, 2009) (Figura 12).

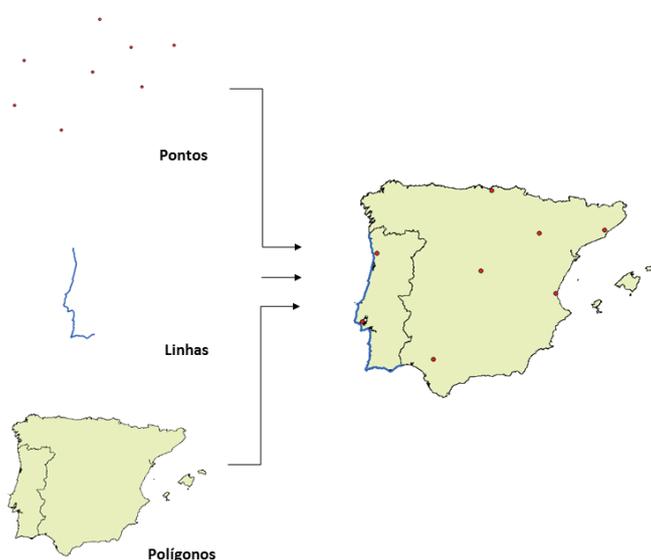
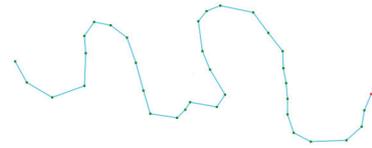


Fig. 12 - Modelos de dados vetoriais.

Na generalidade nas aplicações SIG todas as linhas representadas são formadas por segmentos de reta conectados por pontos (i.e. vértices) e cuja curvatura é aproximada, com maior ou menor densidade de pontos de ligação. Por esta razão as linhas são geralmente designadas por poli-linhas (*polylines*) e as áreas por polígonos (*polygons*).



Uma característica importante, associada ao modelo vetorial, é a associação dos atributos sob a forma tabular (Figura 13), que podem ser visualizados e editados. Cada elemento (registo) representado contém um indentificador único ao qual se associam os diversos atributos, que por sua vez podem ser a base da simbologia apresentada para cada um dos elementos (tema, camada, nível ou *layer*). A sua natureza vetorial ou discreta permite que não haja perda de qualidade ou definição com as alterações na escala de representação, i.e. a espessura dos diversos elementos é atualizada em função da escala do mapa.

FID	Shape *	OBJECTID	NAME	POPULATION
0	Point	389	Lisboa	2250000
1	Point	390	Porto	1225000
2	Point	452	Bilbao	985000
3	Point	453	Zaragoza	575317
4	Point	454	Madrid	4650000
5	Point	455	Valencia	1270000
6	Point	456	Sevilla	945000
7	Point	457	Barcelona	4040000

FID	Shape *	OBJECTID	COUNTR	Shape_Len	area_km2
0	Polygon	175	Portugal	55.979558	91912
1	Polygon	209	Spain	79.221851	501163



Fig. 13 - Exemplo de tabelas com informação acerca dos atributos de cada elemento representado, designada por tabela de atributos.

3.2 MODELO DE DADOS MATRICIAL

No modelo de dados matricial o espaço é dividido numa matriz de células ou píxeis (normalmente quadradas) às quais se atribuem propriedades ou atributos. Esta matriz representa, assim, a variação das propriedades ao longo de todo o espaço representado (Longley *et al.*, 2005) (Figura 14).

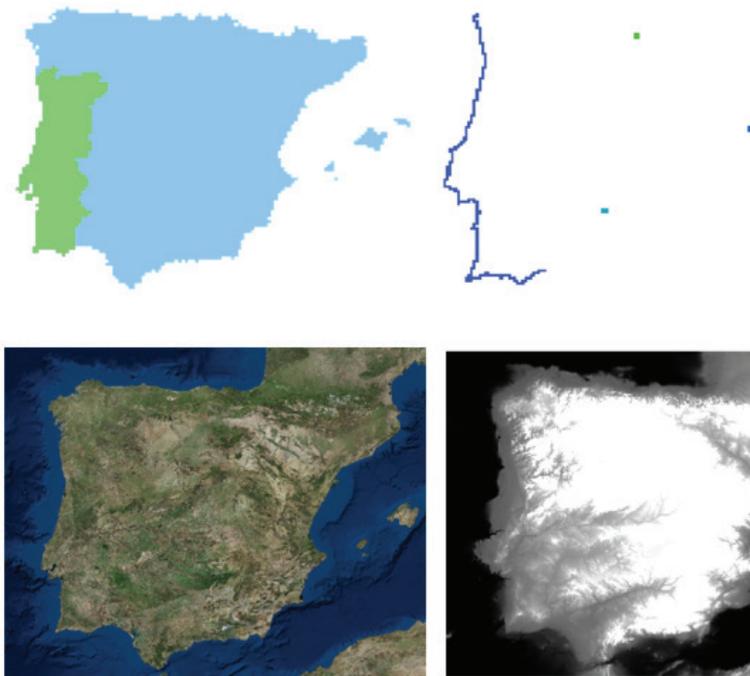


Fig. 14 - Modelos de dados matriciais (em cima: representação em modelo *raster* de polígonos, linhas e pontos; em baixo: imagem com representação de relevo/batimetria).

Um aspeto importante nos dados matriciais é que apenas contêm informação acerca de um único atributo, não sendo capazes de armazenar atributos adicionais a cada célula para além do que representa (Liu & Mason, 2009). Uma forma bastante comum de dados de natureza matricial (também designados por *rasters*) são as imagens (e.g. imagens de satélite) onde cada célula representa uma cor (que pode ser composta por bandas únicas ou múltiplas). São também comuns *rasters* com variação espacial de relevo, temperatura, batimetria, salinidade, ou qualquer outro parâmetro.

Enquanto a precisão de um mapa depende da sua escala, no modelo matricial dependerá da dimensão do píxel. Quanto maior for a área representada menor é a resolução dos dados, e quanto menos área estiver representada em cada píxel, maior é a resolução do *raster* e melhor estão representados os dados (Liu & Mason, 2009).

O modelo matricial também é capaz de representar pontos, linhas e polígonos, embora nestes casos esta representação esteja condicionada à forma de representação matricial, i.e. em forma de células retangulares ou píxeis (Figura 14, em cima). É nestes casos que a resolução da matriz (ou tamanho dos píxeis) e as escalas de trabalho assumem particular importância.



CAPÍTULO 4

SUPERFÍCIES



4.1 MODELOS DIGITAIS DE TERRENO (MDT)

O modelo matricial, pela sua continuidade espacial, tornou-se o modelo mais adequado para a representação de modelos digitais de terreno (MDT), geralmente designados DTM (*Digital Terrain Model*); neste caso a superfície representada corresponde à elevação do terreno, i.e. cada célula contém a informação altimétrica para o local onde este se encontra. A partir deste modelo é possível visualizar em perspetiva a variação espacial do relevo (Figura 15), no entanto qualquer *raster* pode ser considerado como uma superfície na qual a informação de cada píxel é utilizada para gerar “altura” no espaço tridimensional (Liu & Mason, 2009).

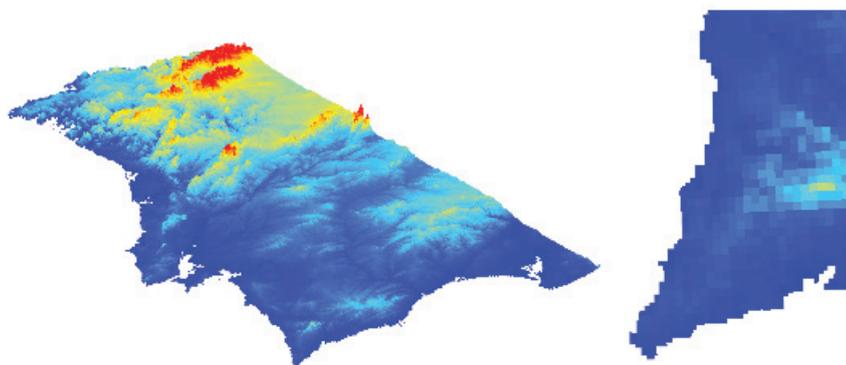


Fig. 15 - Modelo digital de terreno em formato *raster* (visualização em perspetiva através da aplicação ArcScene, onde a variação da cor representa a variação altimétrica).

4.2 TRIANGULATED IRREGULAR NETWORK (TIN)

Outra representação de superfícies bastante comum são as redes irregulares trianguladas, cujo nome original é *triangulated irregular network* (TIN). As TINs correspondem a estruturas de dados vetoriais que dividem, continuamente, o espaço geográfico que representam em triângulos (suporte ESRI - <http://support.esri.com>). São compostas por vértices e linhas que se dispõem irregularmente em triângulos não sobrepostos; cada

vértice é caracterizado por 3 coordenadas (x, y e z) e pode ocorrer em qualquer local do espaço representado (ao contrário dos modelos regularmente espaçados) (Liu & Mason, 2009) (Figura 16).

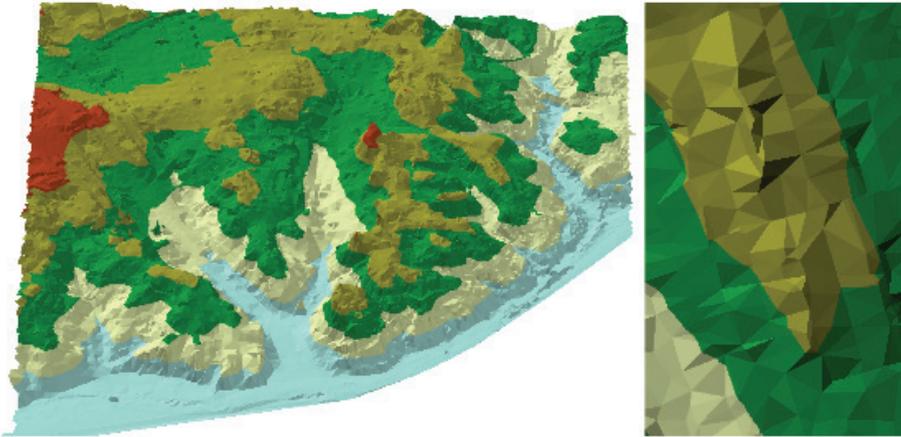
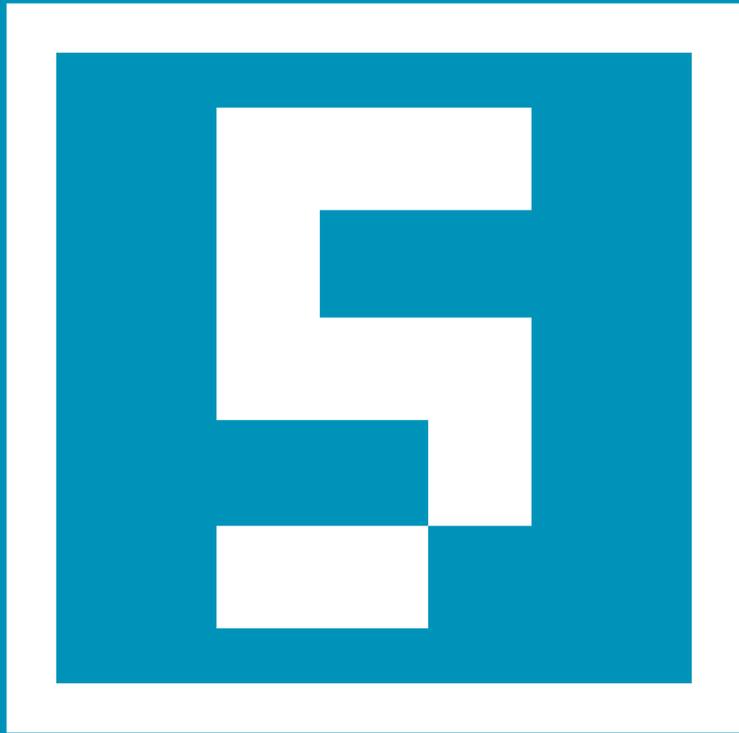


Fig. 16 - Fragmento de modelo digital de terreno de Lisboa em formato TIN (visualização em perspectiva através da aplicação ArcScene).

A grande vantagem da utilização deste tipo de estrutura de dados está no facto de a densidade de pontos, e consequentemente a dimensão dos triângulos que os unem, se ajustar por forma a representar a variação de relevo com uma maior densidade de pontos nas áreas com maior variabilidade (Longley *et al.*, 2005). As TINs permitem uma rápida visualização e manipulação da informação; no entanto, o detalhe da representação depende da densidade de pontos e, consequentemente, do número de triângulos que as caracterizam.



CAPÍTULO 5

INTEROPERABILIDADE E METADADOS (DIRETIVA INSPIRE)



Uma premissa importante na utilização de dados de natureza espacial é a explicitação da sua qualidade, origem e validade para que a sua utilização, edição e disponibilização seja o mais clara possível.

Cada vez mais a disponibilização de dados e desenvolvimentos tecnológicos (p. ex. ferramentas de processamento) é uma prática comum entre a comunidade “geográfica” (*geospatial community*); como consequência, diversas organizações (empresas, universidades, agências, entre outras) têm desenvolvido padrões de interoperabilidade⁹ e qualidade dos mesmos (Lui & Manson, 2009).

Estes padrões, de um modo geral, descrevem práticas recomendadas para os dados, metadados e procedimentos a adotar nos sistemas de informação geográfica. Os metadados surgem assim como um conceito chave na interoperabilidade de dados.

Metadados descrevem múltiplos aspetos relacionados com a informação espacial (dados geo-espaciais) como, por exemplo, a extensão espacial, qualidade e origem dos dados, procedimentos e análises a que estes foram sujeitos. Numa descrição mais geral, é comum dizer-se que os metadados são dados/informação acerca dos dados e não compreendem em si os dados propriamente ditos. Os metadados seguem determinadas regras ou normas na sua criação e são, geralmente, gravados em ficheiros **.xml**. Estes ficheiros (ou metadados) podem ser editados, atualizados e/ou modificados através de processadores de texto habituais ou através de aplicações, sendo que atualmente já existem diversas aplicações (*softwares* ou *websites*) para gerir e criar metadados (o próprio ArcMap possui um editor de metadados).

Como categorias fundamentais dos metadados, incluem-se, entre outras: 1) uma descrição geral dos dados, sob o ponto de vista de que dados são, a sua localização e extensão geográfica, data de criação e restrições à sua utilização; 2) caracterização da qualidade dos dados; 3) o modelo de dados em que estão representados; 4) o sistema de coordenadas em que se encontram os dados; 5) uma descrição dos atributos associados aos dados.

Em 2007 a Comissão Europeia (EC), através do Parlamento Europeu, aprovou uma diretiva - a **diretiva INSPIRE**¹⁰ – que estabelece uma infraestrutura de informação espacial na Europa, para a partilha de informação pública às diferentes autoridades dos estados membros. Esta diretiva tem como principal objetivo apoiar as políticas ambientais comunitárias e políticas ou atividades suscetíveis de causarem impactos sobre o ambiente (INSPIRE/CE, 2015) e desta forma facilitar as decisões/ações políticas à escala regional e entre fronteiras.

⁹ O termo **interoperabilidade** refere-se à capacidade de um sistema (informatizado ou não) se comunicar de forma transparente (ou o mais próximo disso) com outro sistema (semelhante ou não). Para um sistema ser considerado interoperável, é muito importante que ele trabalhe com padrões abertos ou ontologias (fonte: *Wikipédia*).

¹⁰ Diretiva 2007/2/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 14 de março de 2007.

Para garantir que a infraestrutura de dados espaciais seja compatível e utilizável num contexto comunitário e transfronteiriço, foram estabelecidas uma série de normas de execução comuns (IR -*Implementing Rules*) em áreas específicas como metadados, especificações de dados, serviços de rede, dados e partilha de serviços, e monitorização e elaboração de relatórios.

Os principais princípios comuns da diretiva INSPIRE são:

- Os dados devem ser recolhidos uma vez e guardados num local onde a sua manutenção seja o mais eficaz possível;
- Deve ser possível combinar informação espacial, coerentemente, a partir de diferentes fontes em toda a Europa e compartilhá-la com diferentes utilizadores e aplicações;
- Deve ser possível, a partir de informação recolhida a uma determinada escala (num nível), partilhá-la com todas as outras escalas (ou níveis); níveis de detalhe para investigações de pormenor e níveis mais gerais para fins estratégicos;
- A informação geográfica necessária para a boa governação, a todos os níveis, deve ser transparente e estar prontamente disponível;
- Deve ser fácil encontrar que tipo de informação geográfica está disponível, como é que esta pode ser usada para atender uma determinada necessidade, e em que condições a informação pode ser adquirida e utilizada.

A extensa regulamentação sobre as recomendações da diretiva INSPIRE pode ser consultada em **INSPIRE Legislation** (<http://inspire.ec.europa.eu/index.cfm/pageid/3>).

Particularizando dois dos temas que mais podem interessar no âmbito desta formação SIG, salienta-se:

1) O REGULAMENTO (CE) N.º 1205/2008 DA COMISSÃO, de 3 de Dezembro de 2008, que estabelece as modalidades de aplicação da diretiva 2007/2/CE do Parlamento Europeu e do Conselho em matéria de metadados;

2) As linhas orientadoras sobre os sistemas de referência de coordenadas expressas no documento **INSPIRE Data Specification on Coordinate Reference Systems –Technical guidelines 3.2, produzido pelo grupo de trabalho INSPIRE sobre o tema de sistemas de referência de coordenadas.**

Deste último documento de procedimentos destaca-se que o *datum* de referência, para dados espaciais, deve ser o **European Terrestrial Reference System 1989** (ETRS89) na área de influência do ETRS89; ou o *datum International Terrestrial Reference System* (ITRS) para áreas fora da área de influência do ETRS89 (ver Figura 9).

No que diz respeito às projeções a diretiva INSPIRE, com base nos resultados obtidos do *workshop “Map Projections for Europe”* (Annoni *et al.*, 2011), indica a utilização de:

Projeção Azimutal de Lambert (áreas iguais) (ETRS89-LAEA) para análises espaciais e elaboração de relatórios dos países Europeus, onde a correta representação de áreas é fundamental;

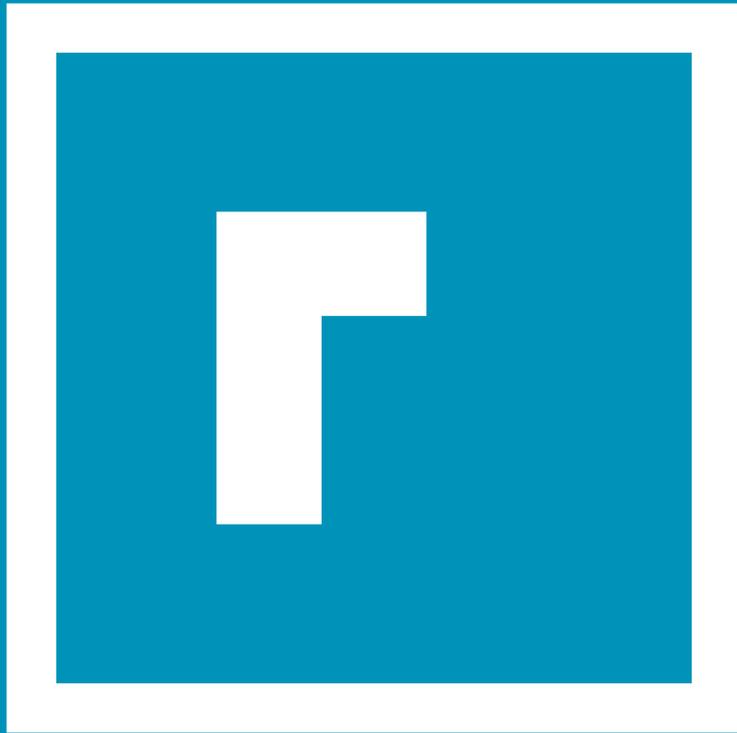
Projeção Cónica Conforme de Lambert (ETRS89-LCC) para o mapeamento conforme (sem distorções de forma), nos países Europeus, a escalas inferiores ou iguais a 1/500 000;

Projeção Transversa de Mercator (ETRS89-TMzn), (em que zn corresponde à zona - 29), para o mapeamento conforme (sem distorções de forma), nos países Europeus, a escalas superiores a 1/500 000.

Em regiões fora da Europa continental, como por exemplo em territórios ultramarinos de estados membros, cada estado membro deverá definir as projeções que considerem mais adequadas em função dos objetivos particulares.



Informação sobre os *data* e projeções recomendadas para o território português no **capítulo 2.2**:
Datum ETRS89 (pág.24) e *Datum* ITRF93 - Regiões Autónomas. (pág. 26).



Referências

Annoni, A.; Luzet, C.; Gubler, E. and Ihde, J. (2001). Map Projections for Europe. European Communities 2003. (=2001. EUR 20120 EN) 29-34.

ARC (2015). ArcGIS Resource Center. <http://resources.arcgis.com> (acedido em julho 2015).

Catalão, J. (2010). Projecções Cartográficas. Departamento de Engenharia Geográfica, Geofísica e Energia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

DGT (2015). Direção Geral do Território: <http://www.dgterritorio.pt> (acedido em julho 2015).

ESRI (2015). Environmental Systems Research Institute: <http://www.esri.com/what-is-gis> (acedido em Julho 2015).

Gaspar, J.A. (2005). Cartas e Projecções Cartográficas, 3ª Edição, Lidel, 2005.

Gonçalves, J. (2009). Conversões de Sistemas de Coordenadas Nacionais para ETRS89 Utilizando Grelhas. VI CNCG.

Ihde, J.; Luthardt, J.; Boucher, P.; Dunkley, P.; Gubler, E.; Farrel, B. and Torres, J.A. (2001). Coordinate Reference Systems used in Europe - Including Map Projections. In: Annoni, A.; Luzet, C.; Gubler, E. and Ihde, J. (Eds.), Map Projections for Europe. European Communities 2003. (2001. EUR 20120 EN) 29-34.

INSPIRE/CE (2015). INSPIRE Infrastructure for spatial information in the European Community. European Commission. www.ec-gis.org/inspire (acedido em setembro 2015).

Liu, J.G. and Mason, P.J. (2009). Essential Image Processing and GIS for Remote Sensing. Imperial College. First Edition. London, UK: John Wiley & Sons.

Longley, P.A.; Goodchild, M.F.; Maguire, D.J. and Rhind, D.W. (2005). Geographic Information Systems and Science. Second Edition. New York: John Wiley & Sons.

Matos, J.L. (2001). Fundamentos de Informação Geográfica. Lidel.

Moritz, H. (2000). Geodetic Reference System 1980, *J. Geod.*, 74(1), pp. 128–162, doi:10.1007/S001900050278.

Voser, S.A. (2001). Map Projections for the Layman. In: Annoni, A.; Luzet, C.; Gubler, E. and Ihde, J. (Eds.), *Map Projections for Europe*. European Communities 2003. (2001. EUR 20120 EN) 29-34.

LISTA DE REFERÊNCIAS DAS FIGURAS

Figura 3

Geographic Information System Basics (v. 1.0) (2012), CC BY-NC-SA 3.0, Fig. 2.11 Map Projection Surfaces [ONLINE]. Disponível em: <http://2012books.lardbucket.org/books/geographic-information-system-basics/s06-02-map-scale-coordinate-systems-a.html> (acedido em janeiro de 2016).

Projeção Bonne

Daniel R. Strebe (2011), The world on Bonne projection [ONLINE]. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Bonne_projection_SW.jpg (acedido em dezembro de 2015).

Projeção de Mercator

Daniel R. Strebe (2011), The world on Mercator projection between 82°S and 82°N [ONLINE]. Disponível em: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mercator_projection_SW.jpg (acedido em dezembro de 2015).

Projeção Gauss-Kruger ou Transversa Mercator

Peter Mercator (2010), The transverse Mercator projection on the sphere [ONLINE]. Disponível em: <https://en.wikipedia.org/wiki/File:MercTranSph.png> (acedido em dezembro de 2015).

Figura 4

Alejandro Tropea (2011), Trelaraña, estás ahí? [ONLINE]. Disponível em: <http://lacienciaconhumor.blogspot.pt/2011/11/telarana-estas-ahi.html> (acedido em março de 2016).

Anexos

Anexo I - Designação e localização de sistemas de coordenadas em ArcMap (Portugal continental)

	Sistemas de coordenadas comuns em Portugal	Designação em ArcGIS 10.3	Organização em <i>Coordinate System</i> (ArcGIS 10.3)
PORTUGAL CONTINENTAL	Puissant-Bonne-Lisboa	n.a.	<i>n.a.</i>
	Bessel-Bonne-Lisboa	Lisboa Bessel Bonne	<i>Projected Coordinate Systems > National grids > Europe</i>
	Hayford-Gauss-Lisboa	Lisboa Hayford Gauss IPCC	<i>Projected Coordinate Systems > National grids > Europe</i>
	Hayford-Gauss-Militar	Lisboa Hayford Gauss IGeoE	<i>Projected Coordinate Systems > National grids > Europe</i>
	Hayford-Gauss-Melriça	Datum 73 Hayford Gauss IPCC	<i>Projected Coordinate Systems > National grids > Europe</i>
	ED50	European Datum 1950	<i>Geographic Coordinate Systems > Europe</i>
	ED50-UTM	European Datum 1950 UTM Zone 29N	<i>Projected Coordinate Systems > UTM > Europe</i>
	WGS84	WGS 1984	<i>Geographic Coordinate Systems > World</i>
	WGS84 - UTM	WGS 1984 UTM Zone 29N	<i>Projected Coordinate Systems > UTM > World 1984 > Northern Hemisphere</i>
	ETRS89	ETRS 1989	<i>Geographic Coordinate Systems > Europe</i>
	ETRS89-TM06	ETRS 1989 Portugal TM06	<i>Projected Coordinate Systems > National grids > Europe</i>
	ETRS89-LAEA	ETRS 1989 LAEA	<i>Projected Coordinate Systems > Continental > Europe</i>
	ETRS89-LCC	ETRS 1989 LCC	<i>Projected Coordinate Systems > Continental > Europe</i>

Anexo II - Designação e localização de sistemas de coordenadas em ArcMap (Regiões autónomas)

	Sistemas de coordenadas comuns em Portugal	Designação em ArcGIS 10.3	Organização em <i>Coordinate System</i> (ArcGIS 10.3)
REGIÕES AUTÓNOMAS	UTM- Datum Base SE	Porto Santo 1995 UTM Zone 28N	<i>Projected Coordinate Systems > UTM > Oceans</i>
	UTM - Datum S. Braz	São Braz UTM Zone 26N	<i>Projected Coordinate Systems > UTM > Oceans</i>
	UTM - Datum Base SW	Graciosa Base SW 1948 UTM Zone 26N	<i>Projected Coordinate Systems > UTM > Oceans</i>
	UTM - Datum Observatório	Observ Meteorologico 1939 UTM Zone 25N	<i>Projected Coordinate Systems > UTM > Oceans</i>
	PTRA08 (Regiões Autónomas)	PTRA08	<i>Geographic Coordinate Systems > Atlantic Ocean</i>
	PTRA08 - UTM	PTRA08 UTM Zone2#N	<i>Projected Coordinate Systems > UTM > Oceans</i>
	PTRA08 - LAEA	PTRA08 LAEA Europe	<i>Projected Coordinate Systems > National grids > Europe</i>
	PTRA08 - LCC	PTRA08 LCC Europe	<i>Projected Coordinate Systems > National grids > Europe</i>

Promotores e Parceiros



Financiamento



Entidades Participantes



Apoios e Colaborações





CONHECIMENTO PARA A GESTÃO DO AMBIENTE MARINHO