

## CURSO DE FORMAÇÃO

### Transformações de coordenadas para não especialistas



Colégios de  
Engenharia Geográfica e  
Engenharia Geológica e Minas

Região Centro

**José A. Gonçalves** [jagoncal@fc.up.pt](mailto:jagoncal@fc.up.pt)

## Sumário do curso

1. Introdução.
2. Conceitos de Geodesia e sistemas de referência.
  - 2.1 Geoide, elipsoide, coordenadas.
  - 2.2 Datum global; datum ETRS89.
  - 2.3 Datum local e transformações de datum.
3. Sistemas de coordenadas resultantes de projeções cartográficas.
  - 3.1 Projeção nacional atual PT-TM06.
  - 3.2 Projeções nacionais antigas.
  - 3.3 Outras projeções.
  - 3.4 Códigos EPSG.
4. Exercícios de transformação de coordenadas.

## 1. Introdução

- Diferentes áreas de atividade usam dados topográficos e informação geográfica.
- Muitas novas tecnologias e fontes de dados ao dispor dos utilizadores:
  - GPS, SIG, Google Earth, informação na web, Imagens aéreas e de satélite, ...
- Disposições legais obrigam ao uso oficial de determinados sistemas de coordenadas.
- O assunto é do domínio da Geodesia (disciplina da Eng<sup>a</sup>. Geográfica) e não é simples.
- Grande interesse multidisciplinar justifica necessidade de formação, tentando-se uma abordagem de algum modo simplificada mas com os fundamentos suficientes para uma aplicação rigorosa.

Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas – OERC – 23/24 Jan. 2015

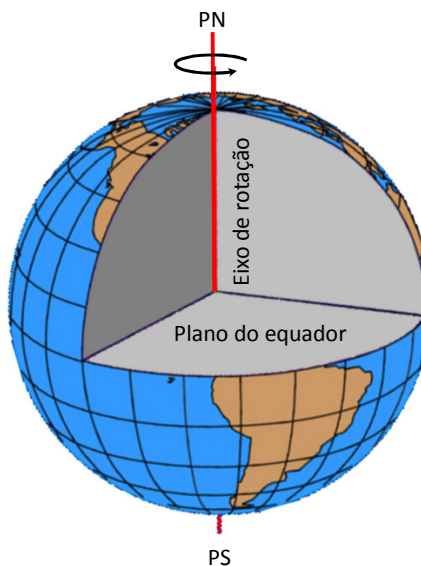
## 1. Introdução

- Software a utilizar:
  - Sites para transformação de coordenadas.
  - QGIS.
  - ArcGIS (para quem tiver licença instalada).
  - Google Earth.
- Chamadas de atenção:
  - Irei usar a palavra “datums” como plural de datum. Dado ser uma palavra latina a forma correta de fazer o plural seria “data”. É intencional o meu uso de “datums”.
  - Não sendo uma linguagem correta do ponto de vista da Geodesia irei considerar o sistema de referência ETRS89 indistinto do WGS84. Esta última é mais popular, pelo uso do GPS e do Google Earth, mas para a maior parte das situações os dois podem ser considerados iguais.

Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas – OERC – 23/24 Jan. 2015

## 2. Conceitos de Geodesia e sistemas de referência

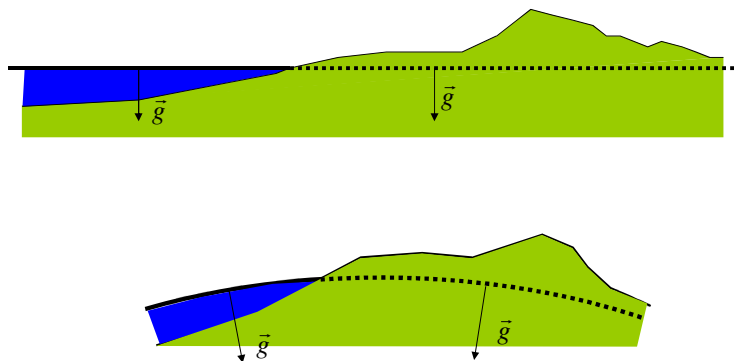
- Referências definidas por fenômenos físicos.
- Movimento de rotação em torno de um eixo permite definir os pólos.
- Plano perpendicular ao eixo de rotação da Terra e que passa no centro de massa da Terra permite definir plano do equador.



Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas – OERC – 23/24 Jan. 2015

## Referências definidas por fenômenos físicos

- Campo gravítico terrestre
  - Vertical do lugar.
  - Superfícies de nível.
  - **geoide** – Superfície de nível mais próxima do nível médio dos oceanos.



Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas – OERC – 23/24 Jan. 2015

## Geoide

- Forma aproximada do geoide?
- Em primeira aproximação, uma **esfera**, com raio de cerca 6370 km.

Erro de aproximação  
10 km

- Diferença entre raio polar e raio equatorial (achatamento)

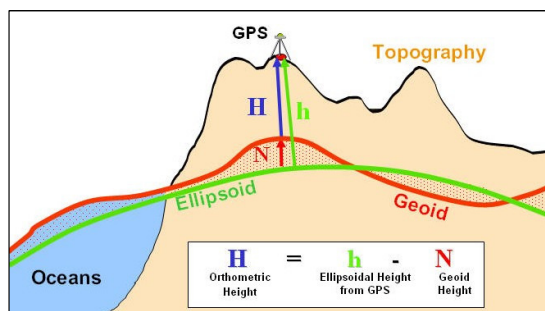
$$R_{\text{equatorial}} = 6378 \text{ km}, R_{\text{polar}} = 6357 \text{ km}$$

Segunda aproximação: geoide aproximadamente igual a um **elipsoide** de revolução.

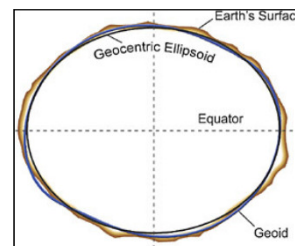
Erro de aproximação  
50 m

Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas - OERC - 23/24 Jan. 2015

## Geoide e Elipsoide



O elipsoide que melhor se ajusta ao geoide tem afastamentos (N) médios de 50 m



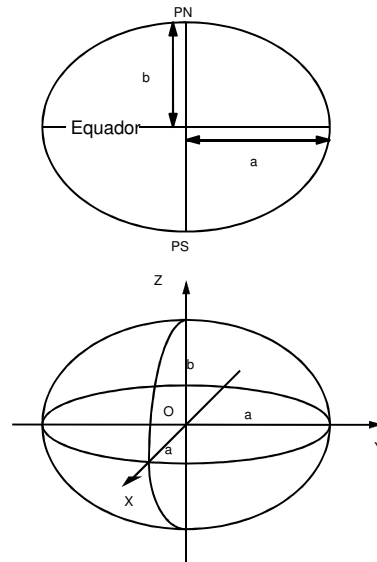
Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas - OERC - 23/24 Jan. 2015

## Elipsoide de revolução

- Figura matemática:  
elipsoide de revolução:

$$\frac{x^2 + y^2}{a^2} + \frac{z^2}{b^2} = 1$$

A forma real do geóide tem irregularidades devido à falta de uniformidade da distribuição de massa no interior da Terra, em especial na crosta.



Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas - OERC - 23/24 Jan. 2015

## Elipsoides

- Diferentes aproximações na história da Geodesia. Exemplos:

<i>elipsoide</i>	<i>a (m)</i>	<i>b (m)</i>	<i>f=1-b/a</i>
<i>Bessel 1841</i>	<i>6 377 397</i>	<i>6 355 924.28</i>	<i>299.1528</i>
<i>Hayford 1909</i>	<i>6 378 388</i>	<i>6 357 066.50</i>	<i>297.0000</i>
<i>Clarke 1866</i>	<i>6 378 206.4</i>	<i>6 356 583.80</i>	<i>294.9790</i>
<i>WGS-84</i>	<i>6 378 137</i>	<i>6 356 752.31</i>	<i>298.2572</i>

- Globalmente é usado o elipsoide WGS-84. O seu centro coincide com o centro de massa da Terra e o eixo Z com o eixo de rotação da Terra.
- Localmente a produção de cartografia usa ainda elipsoides antigos. A tendência é para passar a usar o elipsoide global.

Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas - OERC - 23/24 Jan. 2015

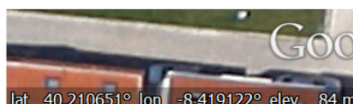
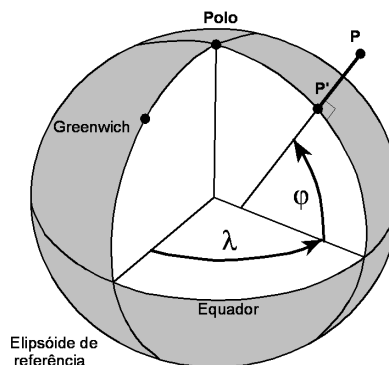
## Coordenadas geográficas geodésicas

- Coordenadas:

*Longitude ( $\lambda$ ) – ângulo entre meridiano de Greenwich e meridiano do lugar.*

*Latitude ( $\varphi$ ) – ângulo entre a normal ao elipsoide e o plano do equador.*

- International Terrestrial Reference System (ITRS). Mais conhecido pela designação WGS84.
- São estas coordenadas usadas pelo sistema GPS e pelo Google Earth.



Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas – OERC – 23/24 Jan. 2015

## Sistemas de referência

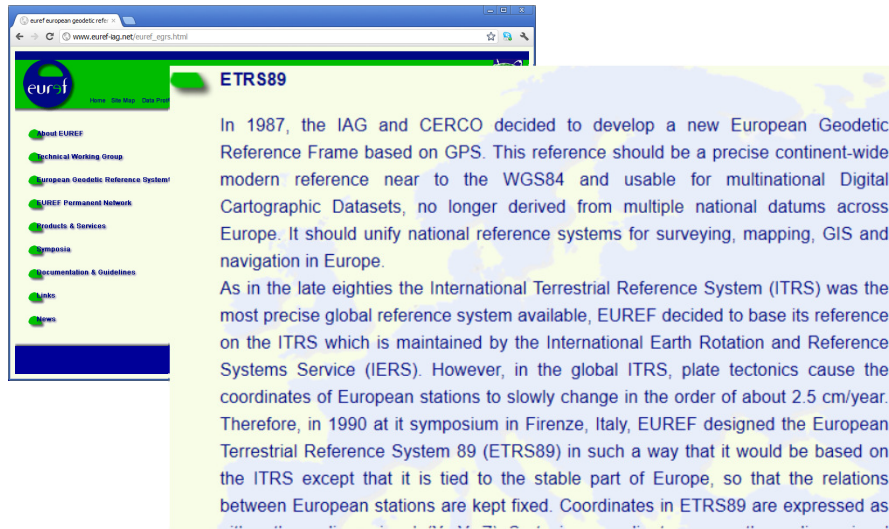
- Movimentos tectónicos produzem variações de posição relativa dos diferentes continentes ou ilhas, assentes em diferentes placas.
  - Por exemplo, a placa euro-asiática move-se 2.5 cm/ano para nordeste.
- ITRS não está fixo em nenhuma placa tectónica. Coordenadas de pontos “estáticos” sofrem variações ao longo do tempo.
- Dado que não observamos localmente, mesmo em regiões extensas, variações de posição relativa entre pontos, mantemos as coordenadas ITRS de uma dada época.
  - Na Europa: ETRS89 (1989)
  - Na América do Norte: NAD83 (1983)
  - Na América do Sul: SIRGAS2000
- Em Portugal adotou-se o ETRS89.

“O ETRS89 é o nosso WGS84.”

Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas – OERC – 23/24 Jan. 2015

## Sistemas de referência

[http://www.euref-iag.net/euref\\_egrs.html](http://www.euref-iag.net/euref_egrs.html)



**ETRS89**

In 1987, the IAG and CERCO decided to develop a new European Geodetic Reference Frame based on GPS. This reference should be a precise continent-wide modern reference near to the WGS84 and usable for multinational Digital Cartographic Datasets, no longer derived from multiple national datums across Europe. It should unify national reference systems for surveying, mapping, GIS and navigation in Europe.

As in the late eighties the International Terrestrial Reference System (ITRS) was the most precise global reference system available, EUREF decided to base its reference on the ITRS which is maintained by the International Earth Rotation and Reference Systems Service (IERS). However, in the global ITRS, plate tectonics cause the coordinates of European stations to slowly change in the order of about 2.5 cm/year. Therefore, in 1990 at its symposium in Firenze, Italy, EUREF designed the European Terrestrial Reference System 89 (ETRS89) in such a way that it would be based on the ITRS except that it is tied to the stable part of Europe, so that the relations between European stations are kept fixed. Coordinates in ETRS89 are expressed as...

Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas – OERC – 23/24 Jan. 2015

## Rede Geodésica Nacional

Vértices geodésicos: pontos monumentalizados (marcos), cujas coordenadas foram determinadas com grande rigor. Definem no terreno um sistema de referência.



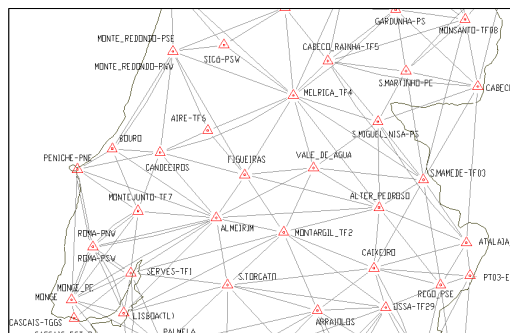
Marco de 1ª ordem



2ª ordem



3ª ordem

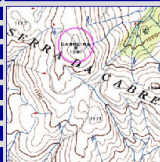


Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas – OERC – 23/24 Jan. 2015

## Rede Geodésica Nacional

- Coordenadas de cerca de 1000 VGs medidas por GPS, com rigor muito alto ( $\approx 1$  cm)
- [http://www.dgterritorio.pt/cartografia\\_e\\_geodesia/geodesia/redes\\_geodesicas/rede\\_geodesica\\_nacional/](http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/geodesia/redes_geodesicas/rede_geodesica_nacional/)

VÉRTICE GEODÉSICO: CABREIRA	ORD: 1	N: 30
CONCELHO: VIEIRA DO MINHO	FOLHA 1-50.000. 6C	
COORDENADAS NO SISTEMA ETRS89		
GEODÉSICAS		
$\lambda$ : 8° 02' 35.8302" O	$\phi$ : 41° 38' 20.2812" N	
PROJEÇÃO PLANO (m)		
X: 7483.75 $\pm 0.01$	Y: 218845.65 $\pm 0.01$	
CONV. MERID.: 0° 03' 34.8515"	COEF. DEFORM.: 1.00000	
ALTITUDES NO TOPO (m)		
GEOMÉTRICA (ELIP): 1327.49 $\pm 0.01$		
ORTOMÉTRICA (MSL): 1271.04 $\pm 0.10$		
TIPO: BOLEMBREANO		
SUPPORTO: PIRÂMIDE TRUNCADA		
DIMENSÕES DO SINAL (m)		
	PILAR	BASE
ALTURA:	5.00	4.00
LARGURA NO TOPO:	0.40	2.20
LARGURA NA BASE:	1.37	3.07
ALTURA AO 1º GRAMPO:	3.00	
ACESSO: Viatura todo-o-terreno (60 minutos) -		
OBS:		



Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas - OERC - 23/24 Jan. 2015

## E antes dos satélites? - Datum Geodésico Local

- Atualmente o sistema de coordenadas global (ITRS) está muito bem definido e dispomos de sistemas de posicionamento por satélite (receptores GPS/GNSS) que permitem determinar coordenadas nesse sistema.
- Que se fazia antigamente?
  - Como se estabeleciam sistemas de coordenadas geográficas?
  - Como se mediam essas coordenadas?
- Cada país definia um sistema e materializava-o com pontos de referência (vértices geodésicos).
- Medição de coordenadas era feita por observação astronómica num vértice e transportada para os outros por triangulação.

Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas - OERC - 23/24 Jan. 2015



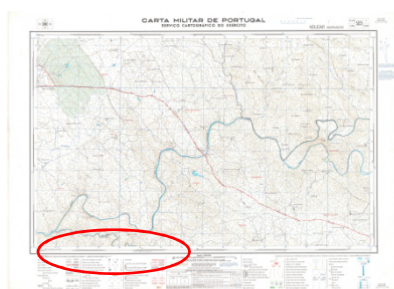
## Datum Geodésico Local

- A fixação astronómica, num dado local, de um sistema de coordenadas designa-se por “DATUM LOCAL”.
- Utilizava-se um elipsoide diferente do global (Hayford, por exemplo), que ficava ajustado ao geoide na região.
- Consequência:  
As coordenadas geográficas num dado datum local são diferentes das de outro qualquer datum.
- Em Portugal usavam-se:
  - Datum Lisboa, fixado no Castelo de S. Jorge (1938),
  - Datum 73, fixado na Melriça,
  - e
  - Datum Europeu 1950, fixado em Potsdam, Alemanha, e usado em alguns países europeus.

Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas – OERC – 23/24 Jan. 2015

## Exemplos de diferença de datum

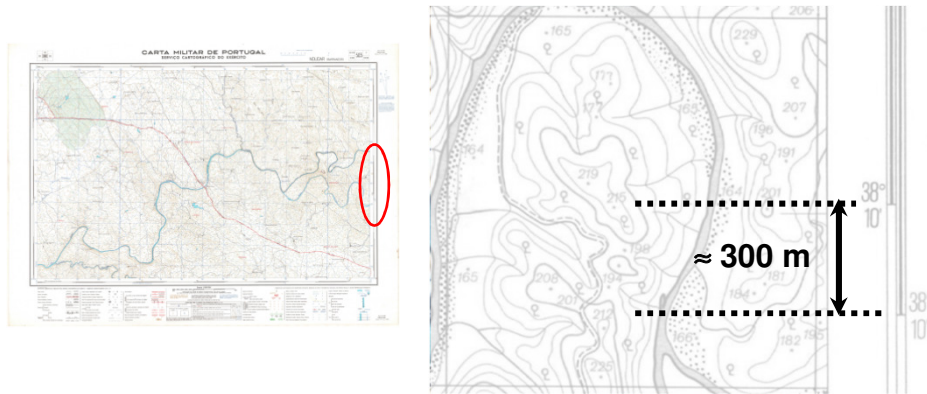
- Carta militar de Portugal, série M888 (1:25.000)
- Duas escalas de longitude, com diferenças explicáveis pela origem em diferentes meridianos.



Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas – OERC – 23/24 Jan. 2015

## Exemplos de diferença de datum

- Carta militar de Portugal, série M888 (1:25.000)
- Duas escalas de latitude, também diferentes. Referem-se a datums diferentes.



Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas - OERC - 23/24 Jan. 2015

## Exemplos de diferença de datum

Vértice	Datum ED-50	
Marofo	6° 59' 25.11" W	40° 51' 55.14" N
Melriça	8° 07' 45.04" W	39° 41' 44.62" N
Mendro	7° 46' 56.99" W	38° 14' 50.90" N

Vértice	Datum ETRS89	
Marofo	6° 59' 30.18" W	40° 51' 50.78" N
Melriça	8° 07' 50.07" W	39° 41' 40.16" N
Mendro	7° 47' 01.90" W	38° 14' 46.40" N

Vértice	Datum Lisboa	
Marofo	6° 59' 26.06" W	40° 51' 44.97" N
Melriça	8° 07' 45.76" W	39° 41' 34.43" N
Mendro	7° 46' 57.70" W	38° 14' 40.74" N

Alguns segundos de diferença equivalem a centenas de metros

1" em latitude  $\cong$  31 m

1" em longitude  $\cong$  24 m

Comprimento de um arco de longitude depende da latitude. Valor de 24 m é para as latitudes médias de Portugal.

Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas - OERC - 23/24 Jan. 2015

## Datums usados em Portugal

- Datum Lisboa (Bessel)
  - Fixação astronómica no Castelo de S. Jorge, cálculo sobre o elipsoide de Bessel, origem das longitudes no meridiano de Lisboa.
- Datum Lisboa (Hayford)
  - Semelhante ao anterior mas com cálculo sobre o elipsoide de Hayford.
- Datum 73
  - Fixação no vértice geodésico Melriça, cálculo sobre o elipsoide de Hayford.
- Datum ED50
  - Fixação em Potsdam (Alemanha), cálculo unificado de todas as redes geodésicas europeias sobre o elipsoide de Hayford.

Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas – OERC – 23/24 Jan. 2015

## Situação actual

- Generalidade dos países europeus substituíram datums locais pelo ETRS89.
- Instituições públicas portuguesas:
  - Instituto Geográfico Português (DGT?) e Instituto Geográfico do Exército passaram a produzir cartografia topográfica e informação geográfica nos datums globais (WGS84/ETRS89).
  - Datum Lisboa deixou de ser usado na produção da carta 1:25.000 pelo Instituto Geográfico do Exército, em 2001.
  - Alguns organismos ainda usam os sistemas antigos. Exemplo dos CTT que mantêm a sua base de dados geográfica em Datum Lisboa.
  - Datum 73 ainda é usado na Topografia, por exemplo pelas câmaras municipais, mas deverá ser abandonado a curto-médio prazo.
  - Poderá haver legislação que refira a produção ou o fornecimento de informação geográfica nos sistemas antigos.
  - Há grande vantagem em que diferentes produtores e utilizadores usem um sistema de referência comum.

Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas – OERC – 23/24 Jan. 2015

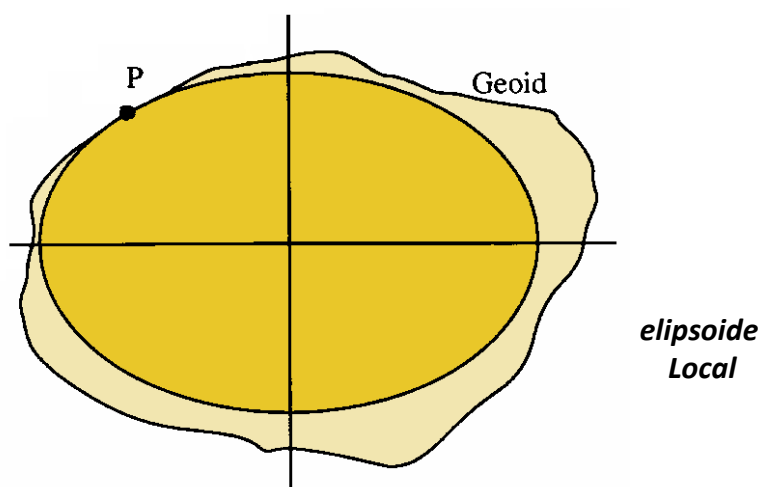
## ETRS89 em Portugal

- Vantagens em usar o ETRS89:
  - Rede de apoio mais rigorosa do que com os sistemas mais antigos.
  - Posicionamento GPS a partir de estações permanentes muito facilitado.
  - Aquisição de dados aéreos com georreferenciação associada.
  - Utilização de imagens de satélite de alta resolução.
  - Interação com plataformas de IG na web (Google Earth, Bing Maps).
- Contudo, ainda coexistirão durante muito tempo os sistemas de coordenadas mais antigos. No caso português:
  - Datum Lisboa.
  - Datum 73.
- Softwares SIG devem ter a possibilidade de transformar entre as coordenadas geográficas dos diferentes datums locais de e para o datum global.

Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas – OERC – 23/24 Jan. 2015

## Transformação de datum

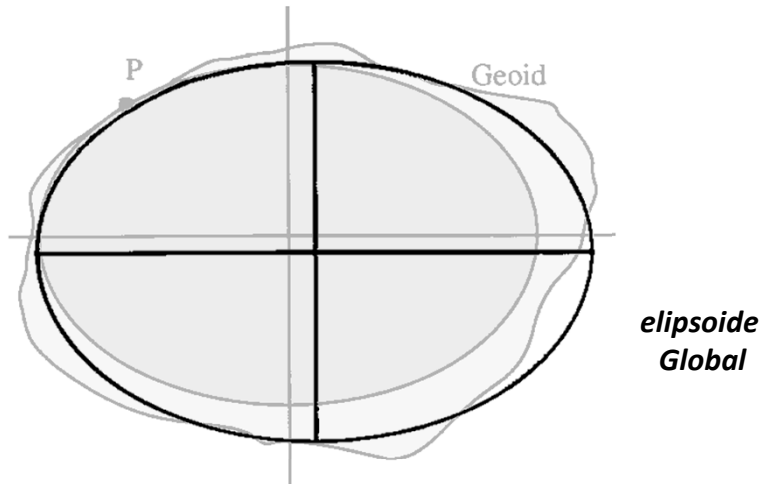
Transformação de datum implica essencialmente uma translação do sistema de eixos associado ao elipsoide.



Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas – OERC – 23/24 Jan. 2015

## Transformação de datum

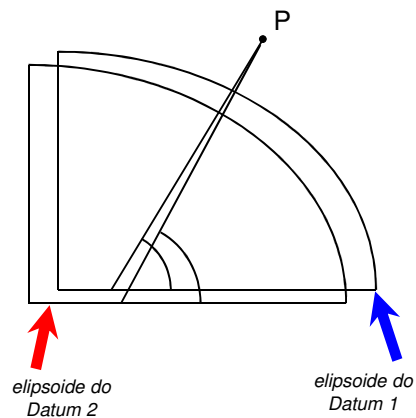
Transformação de datum implica essencialmente uma translação do sistema de eixos associado ao elipsoide.



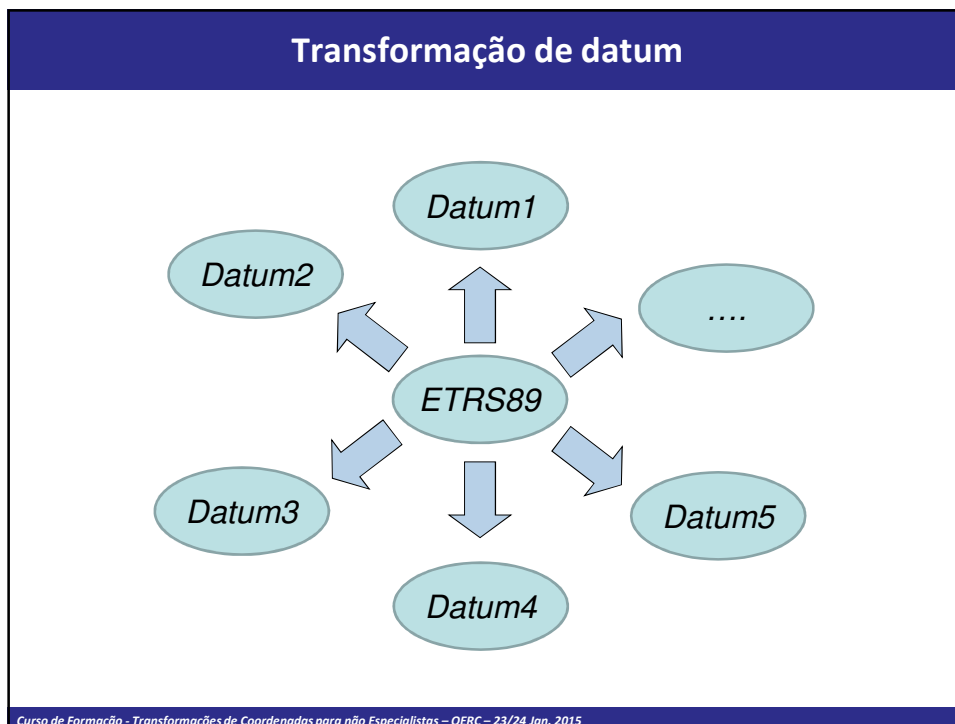
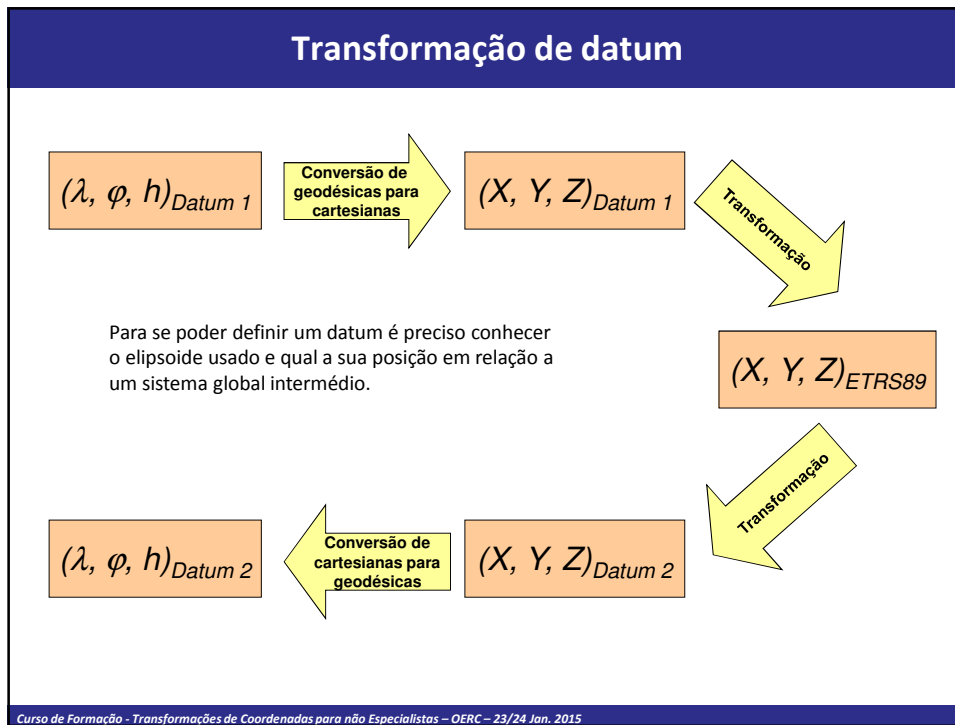
Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas - OERC - 23/24 Jan. 2015

## Transformação de datum

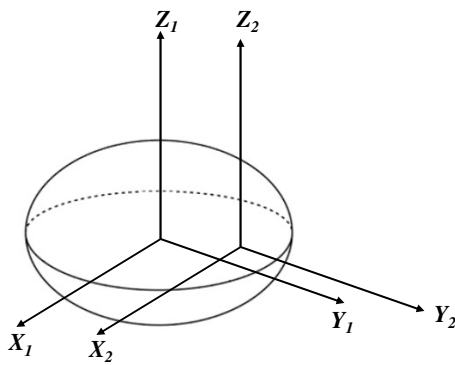
Transformação de datum implica essencialmente uma translação do sistema de eixos associado ao elipsoide.



Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas - OERC - 23/24 Jan. 2015



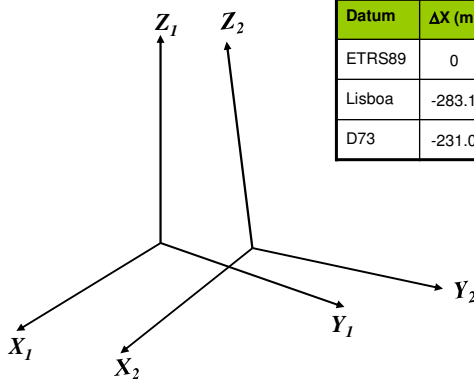
### Transformação de datum – translação geocêntrica



Datum	$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)	$\Delta Z$ (m)
ETRS89	0.0	0.0	0.0
Lisboa	-304.0	-60.6	+103.6
D73	-223.2	110.2	+36.6
ED-50	-87.0	-109.0	-120.0

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ETRS89} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{Local} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}$$

### Transformação de 7 parâmetros



Datum	$\Delta X$ (m)	$\Delta Y$ (m)	$\Delta Z$ (m)	$\theta_x$ (")	$\theta_y$ (")	$\theta_z$ (")	$\Delta S$ (ppm)
ETRS89	0	0	0	0	0	0	0
Lisboa	-283.1	-70.7	117.4	-1.16	0.06	-0.65	-4.1
D73	-231.0	102.6	25.2	0.63	-0.24	0.90	1.95

Parâmetros fornecidos pela DGT

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ETRS89} = (1 + \Delta s \cdot 10^{-6}) \begin{bmatrix} 1 & -\theta_z & \theta_y \\ \theta_z & 1 & -\theta_x \\ -\theta_y & \theta_x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{Local} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix}$$

## Rigor das transformações de datum

- Os parâmetros de transformação são determinados por regressão (mínimos quadrados) para se ajustarem às coordenadas dos vértices geodésicos nos dois sistemas (coordenadas antigas e coordenadas atuais, medidas com GPS).
- Este processo envolve erros (resíduos). No caso dos parâmetros de transformação que são fornecidos com o programa QuantumGIS, as estatísticas dos resíduos em 121 vértices da rede geodésica de primeira ordem são as seguintes:

	Datum 73	Datum Lisboa
Máximo	2.35 m	5.85 m
Média	1.00 m	2.33 m

(norma do vector resíduo)

Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas - OERC - 23/24 Jan. 2015

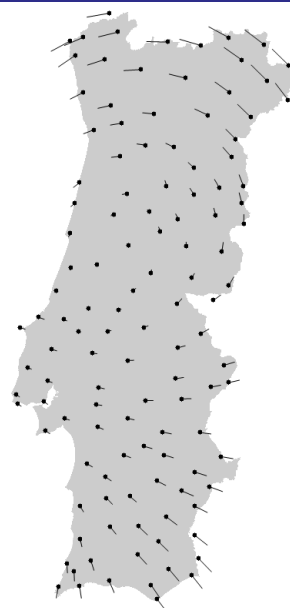
## Erros da transformação: Datum73 – ETRS89

- Erros apresentam um sistematismo que poderá ser parcialmente corrigido com uma transformação envolvendo também rotação e escala, para além da translação dos elipsoides.
- Erros da transformação nesse caso podem ser melhorados para os seguintes valores:

Máximo 1.42 m

Média 0.53 m

- Ainda assim, não são adequados para escalas topográficas.

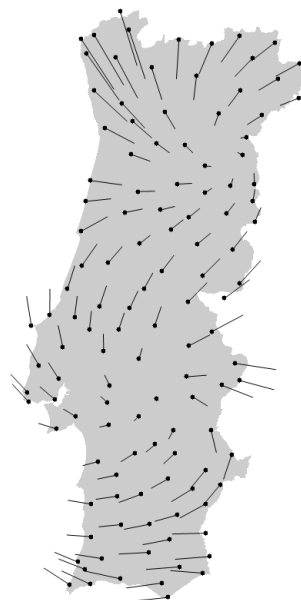


Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas - OERC - 23/24 Jan. 2015



## Erros da transformação: Datum Lisboa – ETRS89

- Erros apresentam tendências localizadas, dificilmente corrigíveis por uma transformação global.
- Com rotação e escala, os erros são diminuídos mas apenas muito ligeiramente.
- Erros de até 5 metros só são aceitáveis em escalas cartográficas médias (1:25.000, por exemplo).
- Em cartografia urbana, de grande escala (1:1000, 1:2000), originam erros excessivos, que podem levantar problemas.



Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas – OERC – 23/24 Jan. 2015

## Transformações com grelhas de diferenças de coordenadas

- Dado que existe uma rede geodésica densa pode-se calcular localmente ajustes mais adequados.
- Pode ser adotado um procedimento de transformação com base num ajuste local e não numa fórmula global.
- Essas diferenças de coordenadas são armazenadas em ficheiro de grelha, com diferenças de coordenadas, usados para calcular localmente valores por interpolação.
- Permite corrigir as deformações da rede geodésica e ter cálculos de coordenadas transformadas, com erros normalmente inferiores a 10 cm.
- A sua aplicação é fundamental nos casos do posicionamento rigoroso, ou no trabalho topográfico geral, associado a muitas atividades de engenharia.

Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas – OERC – 23/24 Jan. 2015

## Método das Grelhas

- Trabalho desenvolvido na FCUP desde 2008, fazendo uso dos dados fornecidos pela DGT nas suas páginas, deu origem a ficheiros de grelhas no formato NTV2 (extensão \*.gsb).
- São fornecidos em:  

<http://www.fc.up.pt/pessoas/jagoncal/coordenadas>
- Descrição detalhada do estudo efetuado foi publicada nas atas da Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia (2009).
- Recentemente (2012) a DGT publicou grelhas próprias muito semelhantes, com diferenças médias de 1 a 2 cm.

Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas – OERC – 23/24 Jan. 2015

## 3. Sistemas resultantes de projeções cartográficas

- Conceitos gerais sobre projeções.
- Sistemas de projeção nacionais mais antigos.
- Sistema de projeção nacional atualmente em vigor.
- Códigos EPSG.

Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas – OERC – 23/24 Jan. 2015

## Projeções cartográficas

- Sistemas de coordenadas geográficas não são práticos para uso na maior parte das aplicações:
  - Elaboração de mapas num plano
  - Cálculos topográficos
- Uma projeção cartográfica consiste numa fórmula de conversão de coordenadas geográficas ( $\lambda, \varphi$ ) para coordenadas retangulares (X,Y).

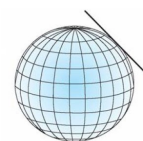
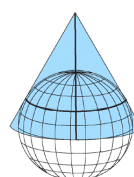
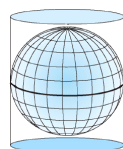
$$\begin{cases} E = f_1(\lambda, \varphi) \\ N = f_2(\lambda, \varphi) \end{cases} \quad \begin{cases} \lambda = g_1(E, N) \\ \varphi = g_2(E, N) \end{cases}$$

- Implicam deformações, que se tenta minimizar no caso da aplicação para fins topográficos.
- São formalismos matemáticos de conversão de coordenadas, pelo que podem ser efetuadas sem qualquer erro, ao contrário das transformações de datum.

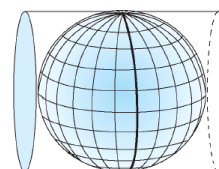
Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas - OERC - 23/24 Jan. 2015

## Projeções cartográficas

- Projeções têm normalmente uma superfície associada:
  - Projeções cilíndricas
  - Projeções cónicas
  - Projeções azimutais



- Projeções cilíndricas
  - Normais – cilindro tangente à Terra no equador
  - Transversas – cilindro tangente num meridiano



- Características
  - Conformes – preservam os ângulos
  - Equivalentes – preservam as áreas
  - Equidistantes – preservam alguns comprimentos

Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas - OERC - 23/24 Jan. 2015

## Projeções cartográficas

- Para que um sistema de coordenadas esteja corretamente definido e possa ser aplicado por um programa de processamento de informação geográfica é necessário conhecer:

Qual a **projeção**? (Gauss, Lambert, Mercator, etc.)

Em que **elipsoide e datum** se encontram as coordenadas geográficas?

Quais os **parâmetros** definidores da projeção?

- Meridiano central?
- Latitude central?
- Paralelos standard?
- Translações de origem?
- Fatores de escala?

Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas - OERC - 23/24 Jan. 2015

## Projeção de Gauss (Transversa de Mercator)

- Projeção Transversa de Mercator (cilíndrica transversa). Também designada Gauss ou Gauss-Kruger. É a mais usada em cartografia topográfica.
- É uma projeção conforme. Consequências:
  - Preserva os ângulos
  - Tem escala independente da direção

Fórmulas: <http://www.epsg.org/guides/docs/G7-2.pdf>

$$X = N [A + (1 - T + C)A^3/6 + (5 - 18T + T^2 + 72C - 58e^2)A^5/120]$$

$$Y = S_m + N \tan \varphi [A^2/2 + (5 - T + 9C + 4C^2)A^4/24 + (61 - 58T + T^2 + 600C - 330e^2)A^6/720]$$

com  $T = \tan^2 \varphi$

$$C = e^2 \cos^2 \varphi / (1 - e^2)$$

$$A = (\lambda - \lambda_0) \cos \varphi$$

$$N = a / (1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{0.5}$$

$$S_m = a [(1 - e^2/4 - 3e^4/64 - 5e^6/256 - \dots) \varphi - (3e^2/8 + 3e^4/32 + 45e^6/1024 + \dots) \sin 2\varphi + (15e^4/256 + 45e^6/1024 + \dots) \sin 4\varphi - (35e^6/3072 + \dots) \sin 6\varphi + \dots]$$

Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas - OERC - 23/24 Jan. 2015

## Projeção do Datum Lisboa (ponto central)

- Projeção de Gauss.
- Coordenadas geográficas de entrada: datum Lisboa, elipsoide de Hayford.
- Ponto central (*Meridiano central + Latitude da origem*):
 
$$\lambda = 8^{\circ} 07' 54.862'' \text{ W}$$

$$\varphi = 39^{\circ} 40' 0.000'' \text{ N}$$
- Fator de escala no meridiano central – não se aplica ( $k=1$ ).
- Translação de origem – não se aplica ( $\Delta E=0, \Delta N=0$ ).
  - O ponto central terá coordenadas  $E = 0 \text{ m}, N = 0 \text{ m}$ .
- Designação: **Sistema Hayford-Gauss datum Lisboa (ponto central)**.

Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas – OERC – 23/24 Jan. 2015

## Projeção do Datum Lisboa (sistema militar)

- Projeção de Gauss.
- Coordenadas geográficas de entrada: datum Lisboa, elipsoide de Hayford.
- Ponto central (*Meridiano central + Latitude da origem*):
 
$$\lambda = 8^{\circ} 07' 54.862'' \text{ W}$$

$$\varphi = 39^{\circ} 40' 0.000'' \text{ N}$$
- Fator de escala no meridiano central – não se aplica ( $k=1$ ).
- Translação de origem:  $\Delta E=200\ 000 \text{ m}, \Delta N=300\ 000 \text{ m}$ .
  - O ponto central terá coordenadas  $E = 200\ 000 \text{ m}, N = 300\ 000 \text{ m}$ .
- Designação: **Sistema Hayford-Gauss datum Lisboa (sistema militar)**.

Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas – OERC – 23/24 Jan. 2015

## Projeção do Datum 73

- Projeção de Gauss.
- Coordenadas geográficas de entrada: datum 73, elipsoide de Hayford.
- Ponto central (*Meridiano central + Latitude da origem*):
 
$$\lambda = 8^{\circ} 07' 54.862'' \text{ W}$$

$$\varphi = 39^{\circ} 40' 0.000'' \text{ N}$$
- Fator de escala no meridiano central – não se aplica ( $k=1$ ).
- Translação de origem – pequena translação ( $\Delta E=180.598 \text{ m}$ ,  $\Delta N=-86.990 \text{ m}$ ).
  - Intenção de gerar coordenadas próximas das HG-Datum Lisboa.
- Designação: **Sistema Hayford-Gauss datum 73.**

Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas – OERC – 23/24 Jan. 2015

## Projeção atual – ETRS89/PT-TM06

- Projeção de Gauss.
- Coordenadas geográficas de entrada: datum ETRS89.
- Ponto central (*Meridiano central + Latitude da origem*):
 
$$\lambda = 8^{\circ} 07' 59.19'' \text{ W}$$

$$\varphi = 39^{\circ} 40' 05.73'' \text{ N}$$
- Fator de escala no meridiano central – não se aplica ( $k=1$ ).
- Translação de origem – não se aplica ( $\Delta E=0$ ,  $\Delta N=0$ )
  - O ponto central terá coordenadas  $E = 0 \text{ m}$ ,  $N = 0 \text{ m}$ .
- Designação: **Sistema ETRS89/PT-TM06.**

Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas – OERC – 23/24 Jan. 2015

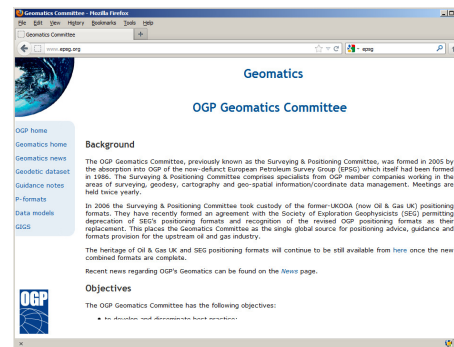
## Outras projeções – Sistema UTM

- UTM – Universal Transverse Mercator.
- Usa a projeção de Gauss.
- Planeta dividido em 60 zonas com 6 graus de longitude, numeradas de 1 a 60.
- Portugal fica na zona 29 (12º W a 6º W):  
 Ponto central:  $\lambda = 9^\circ 00' 00.000''$  W,  $\phi = 0^\circ 0' 0.000''$  N
- Fator de escala no meridiano central:  $k=0.9996$ .
- Translação de origem ( $\Delta E=500$  km,  $\Delta N=0$ ).
- Em Portugal encontramos-la aplicada ao datum ED50 (carta militar anterior a 2001) e ao datum WGS84 (carta militar posterior a 2001).

Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas – OERC – 23/24 Jan. 2015

## Base de dados EPSG

- EPSG – European Petroleum Surveying Group.
- Mantém uma base de dados de sistemas de coordenadas usados mundialmente.
- Atribuição de códigos aceites em geral pela comunidade da geomática.



SISTEMA	EPSG
D73 geográficas	4274
D73 projectadas	27493
DLx geográficas	4207
DLx projectadas (PC)	20791
DLx projectadas (Militares)	20790

SISTEMA	EPSG
ETRS89 geográficas	4258
ETRS89 projectadas (PTTM06)	3763
ETRS89 UTM-29N	25829
WGS84 geográficas	4326
WGS84 UTM-29N	32629

Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas – OERC – 23/24 Jan. 2015

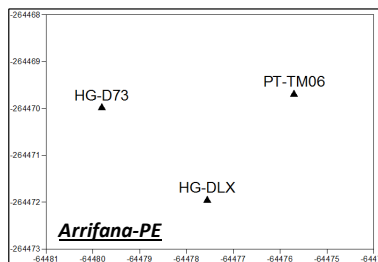
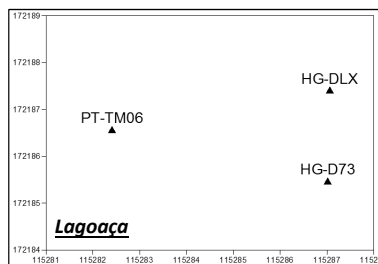
## Projeções nacionais

EPSG	Nome	Datum	Elips.	Proj.	Ponto central	Falsa origem	Utilizada em:	
2963	BB-DLX	Lisboa	Bessel	Bonne	8° 07' 5 4.862" W 39° 40' 00.000" N	0	0	IGC – Carta 50K (eixos invertidos)
20791	HG-DLX	Lisboa	Hayford	TM	8° 07' 54.862" W 39° 40' 00.000" N	0	0	IGP – sistema antigo (plantas cadastrais)
20790	HG-DLX Mil.	Lisboa	Hayford	TM	8° 07' 54.862" W 39° 40' 00.000" N	200 000	300 000	IGeoE Carta militar
27493	HG-D73	D73	Hayford	TM	8° 07' 54.862" W 39° 40' 00.000" N	180.598	-86.99	IGP Cartogr. Topográfica
3763	PT-TM06	ETRS89	GRS80	TM	8° 07' 59.190" W 39° 40' 05.730 "N	0	0	NOVO SISTEMA PTTM06
N/A	TM WGS84 Militar	WGS84	WGS84	TM	8° 07' 59.190"W 39° 40' 05.730" N	200 000	300 000	IGeoE Nova carta militar
32629	UTM-29N WGS84	WGS84	WGS84	TM	9° 00' 00.000" W 00° 00' 00.000" N	500 000	0	Grelha secundária (Carta 1:25K nova)
23029	UTM-29N ED50	ED50	Hayford	TM	9° 00' 00.000" W 00° 00' 00.000" N	500 000	0	Grelha secundária (Carta 1:25K antiga)

Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas – OERC – 23/24 Jan. 2015

## Projeções nacionais

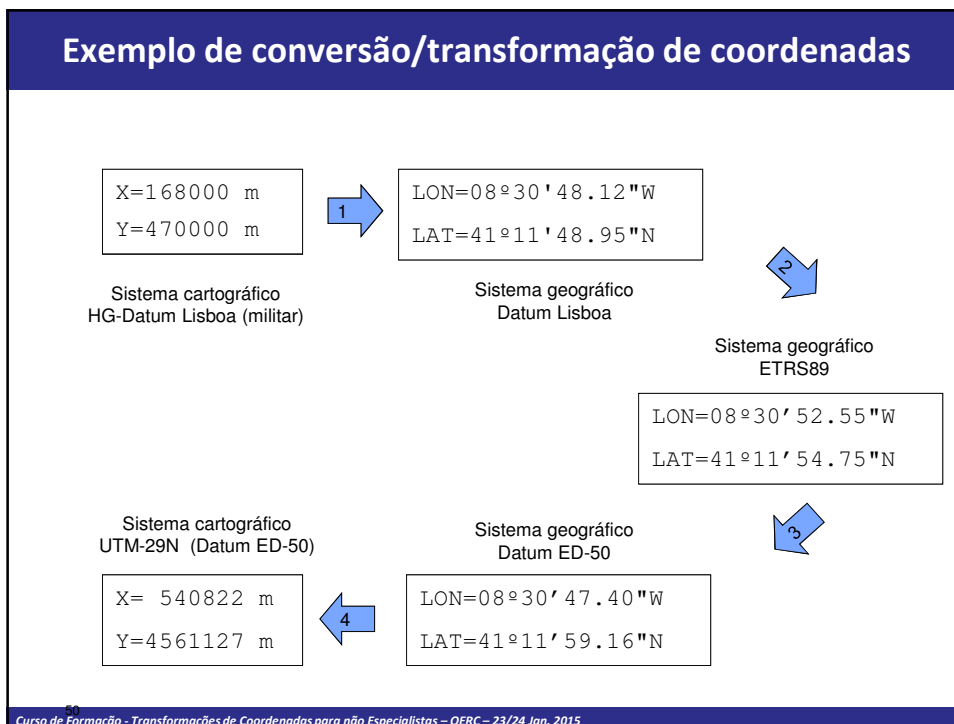
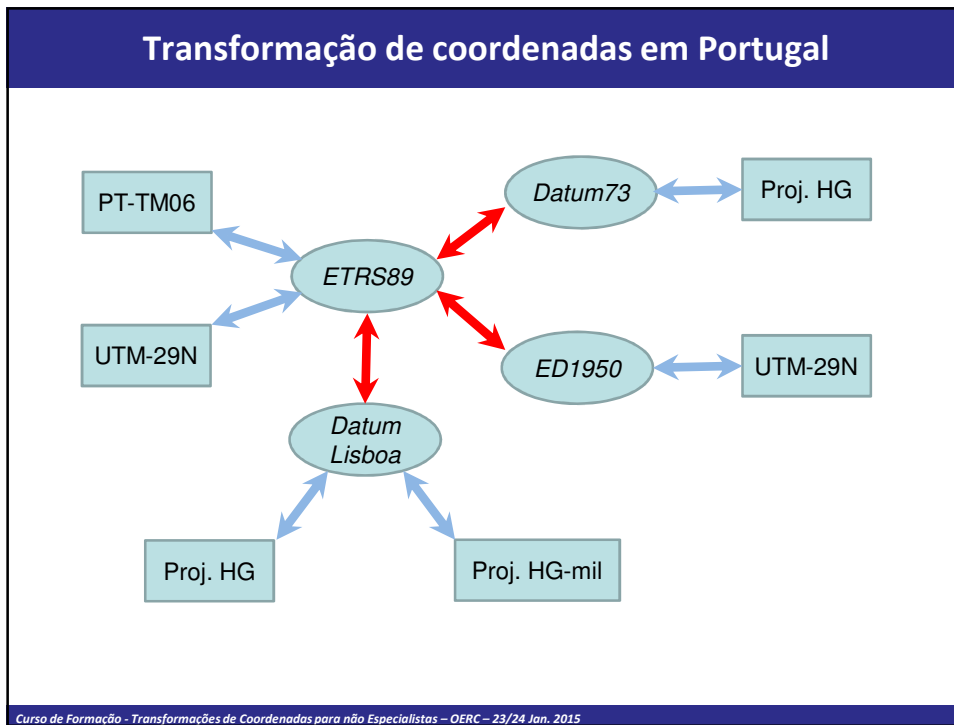
- Decisão de criação de sistemas de coordenadas muito parecidos não foi feliz.
- Facilita-se a troca entre sistemas, o que em trabalhos de engenharia pode levantar dificuldades (exemplo: obra de ligação entre a A11 e a A42)
- Não aplicação de falsa origem (coordenadas negativas) também levanta algumas dificuldades.



Sistema de Coordenadas	Lagoaça		Arrifana PE	
	M (m)	P (m)	M (m)	P (m)
PT-TM06	115282.41	172186.55	-64475.70	-264469.70
HG-D73	115287.02	172185.45	-64479.81	-264469.99
HG-DLX	115287.06	172187.39	-64477.56	-264471.96

Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas – OERC – 23/24 Jan. 2015





## 4. Exercícios práticos de transformações de coordenadas

- Iremos utilizar diversas ferramentas para transformações, quer de coordenadas de pontos, quer de ficheiros com informação geográfica.
- Deveremos ter espírito crítico e capacidade de avaliar se as transformações efetuadas são adequadas às nossas aplicações.
- O rigor imposto às transformações é condicionado pela aplicação. Devemos ter sempre consciência de qual é. Normalmente avaliamos de acordo com a escala cartográfica associada (erro de graficismo).
- Exemplos:

Trabalhos desenvolvidos sobre a carta militar 1/25000 : **5 m**

Trabalhos desenvolvidos sobre planta 1/1000 : **20 cm**

Posicionamento associado a obras: **5 a 10 cm (?)**

Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas - OERC - 23/24 Jan. 2015

## Rigor posicional das transformações

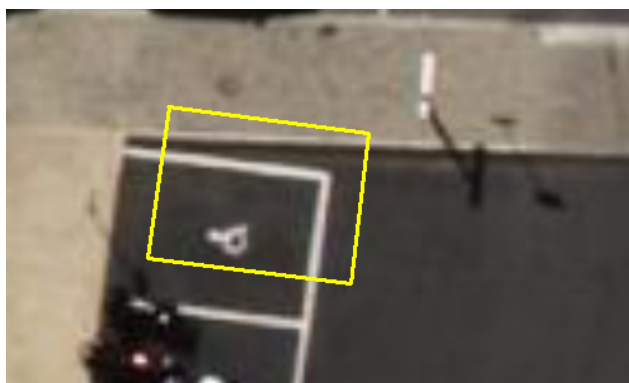
- Deve ser adequado aos dados e à situação em causa:



Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas - OERC - 23/24 Jan. 2015

## Rigor posicional das transformações

- Deve ser adequado aos dados e à situação em causa:

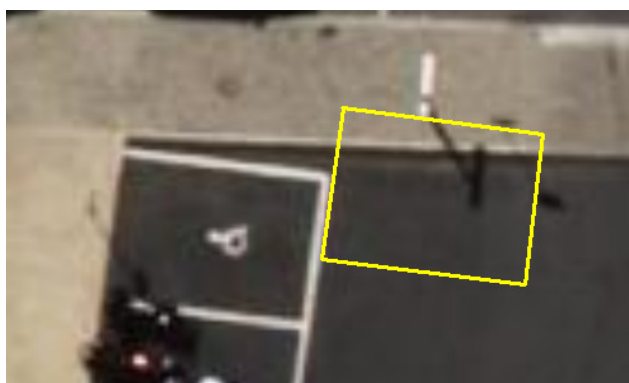


Erro de 1 metro numa ortofoto com resolução 10 cm

Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas – OERC – 23/24 Jan. 2015

## Rigor posicional das transformações

- Deve ser adequado aos dados e à situação em causa:

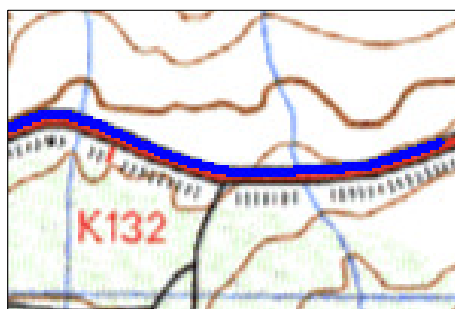


Erro de 5 metros numa ortofoto com resolução 10 cm

Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas – OERC – 23/24 Jan. 2015

## Rigor posicional das transformações

- Deve ser adequado aos dados e à situação em causa:



Erro de 5 metros numa carta de escala 1:25.000

Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas – OERC – 23/24 Jan. 2015

## Coordenadas de referência para testes

- As coordenadas “oficiais” dos vértices geodésicos são fornecidas pela Direção Geral do Território.
- Pesquisa de fichas da rede actual (observação com GPS)
  - [http://www.dgterritorio.pt/cartografia\\_e\\_geodesia/geodesia/redes\\_geodesicas/red\\_e\\_geodesica\\_nacional/](http://www.dgterritorio.pt/cartografia_e_geodesia/geodesia/redes_geodesicas/red_e_geodesica_nacional/)
- Ficheiros com lista de coordenadas:
  - [http://dev.igeo.pt/produtos/geodesia/vg/rgn/docs/PT\\_D73.ZIP](http://dev.igeo.pt/produtos/geodesia/vg/rgn/docs/PT_D73.ZIP)
  - [http://dev.igeo.pt/produtos/geodesia/vg/rgn/docs/PT\\_DLX\(HAY\).ZIP](http://dev.igeo.pt/produtos/geodesia/vg/rgn/docs/PT_DLX(HAY).ZIP)
  - <http://dev.igeo.pt/produtos/geodesia/vg/rgn/docs/PTTM06.zip>
- Redes geodésicas das regiões autónomas (não iremos utilizar)
  - [http://dev.igeo.pt/produtos/geodesia/vg/rgn/docs/PT\\_MAD.ZIP](http://dev.igeo.pt/produtos/geodesia/vg/rgn/docs/PT_MAD.ZIP)
  - [http://dev.igeo.pt/produtos/geodesia/vg/rgn/docs/PT\\_AZO\\_CEN.ZIP](http://dev.igeo.pt/produtos/geodesia/vg/rgn/docs/PT_AZO_CEN.ZIP)
  - [http://dev.igeo.pt/produtos/geodesia/vg/rgn/docs/PT\\_AZO\\_OCCI.ZIP](http://dev.igeo.pt/produtos/geodesia/vg/rgn/docs/PT_AZO_OCCI.ZIP)
  - [http://dev.igeo.pt/produtos/geodesia/vg/rgn/docs/PT\\_AZO\\_ORIE.ZIP](http://dev.igeo.pt/produtos/geodesia/vg/rgn/docs/PT_AZO_ORIE.ZIP)

Curso de Formação - Transformações de Coordenadas para não Especialistas – OERC – 23/24 Jan. 2015