



# Transformação de Coordenadas

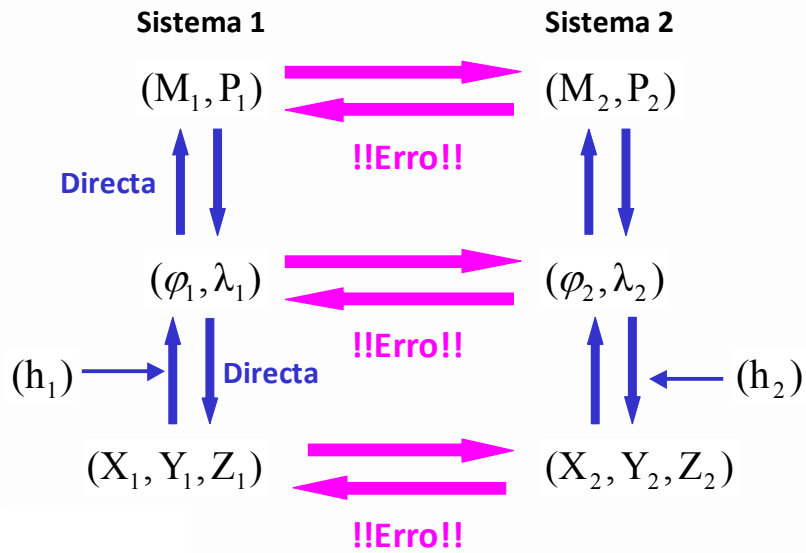
Manuela Vasconcelos  
(mvasconcelos@dgterritorio.pt)

Lisboa, 25 de Maio de 2017

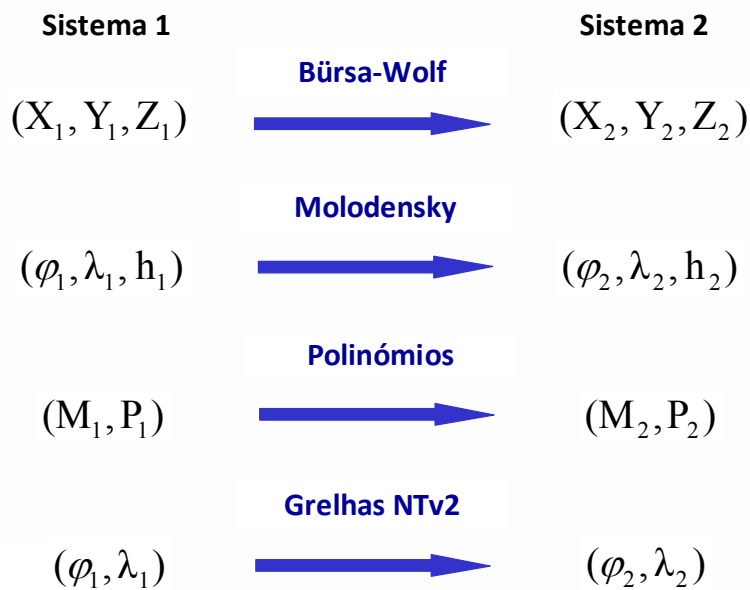
## Implicações da Adopção dos “Novos” Sistemas

- Transformação da Informação Geográfica Existente
  - Precisão dos Métodos de Transformação
- Adequação do Referencial Geodésico
  - Qualidade da(s) Rede(s)

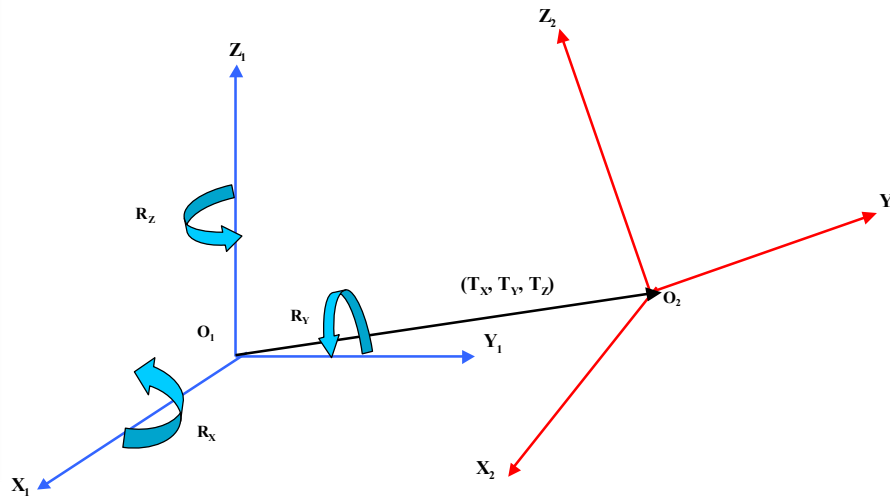
## Tipos de Conversões / Transformações de Coordenadas



## Alguns Tipos de Transformações de Coordenadas



## Transformação de Helmert no Espaço



## Transformação de Helmert no Espaço

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & -R_Z & R_Y \\ R_Z & 0 & -R_X \\ -R_Y & R_X & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} + k \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix}$$

$(X_1, Y_1, Z_1)$  coordenadas no sistema de partida (m)

$(X_2, Y_2, Z_2)$  coordenadas no sistema de chegada (m)

$(T_X, T_Y, T_Z)$  vector de translação entre as origens dos sistemas (m)

$(R_X, R_Y, R_Z)$  rotações em torno dos eixos X, Y, Z (radianos)

k factor de escala (ppm)

## Transformação de Helmert (Bürsa-Wolf)

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_X \\ T_Y \\ T_Z \end{bmatrix} + (1+k) \begin{bmatrix} 1 & -R_Z & R_Y \\ R_Z & 1 & -R_X \\ -R_Y & R_X & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix}$$

$(X_1, Y_1, Z_1)$  coordenadas no sistema de partida (m)

$(X_2, Y_2, Z_2)$  coordenadas no sistema de chegada (m)

$(T_X, T_Y, T_Z)$  vector de translação entre as origens dos sistemas (m)

$(R_X, R_Y, R_Z)$  rotações em torno dos eixos X, Y, Z (radianos)

k factor de escala (ppm)

CRSEU

Coordinate Reference Systems  
in Europe

(www.crs-geo.eu)

Operation method formula

7 Parameter Helmert Transformation,

$$\begin{bmatrix} |X| & |X| & |X| & | 0 & -R_z & R_y & |X| & |X| \\ |Y| & |Y| & |Y| & | R_z & 0 & -R_x & |Y| & D + |Y| \\ |Z| & |Z| & |Z| & | -R_y & R_x & 0 & |Z| & |Z| \end{bmatrix}$$

T S T S S S

T ... Target Datum  
S ... Source Datum  
Tx, Ty, Tz ... geocentric X/Y/Z translations [m]  
Rx Ry, Rz ... rotations around X/Y/Z axis [radian]  
D ... correction of scale [ppm]

see  
Boucher, C., Altamimi, Z. (1992): The EUREF Terrestrial Reference System and its First Realizations.  
Veröffentlichungen der Bayerischen Kommission für die Internationale Erdmessung, Heft 52, München 1992, pages 205-213 (1)

REMARKS: in (1) correction of scale D is included in the rotation matrix

\*\*\*\*\* Attention \*\*\*\*\*

In some transformation applications a different formula than the formula above could be in use. The signs and order of the rotation parameters are then define differently and rotation unit can be arcseconds. For test purposes you can find in this information system verification data to check your application to get correct results.

Distinguish the following cases:

a) change of signs of rotation (Coordinate Frame Rotation)

Rx = -Rx  
Ry = -Ry  
Rz = -Rz

b) change of signs and order of rotation

Rx = -Rz  
Ry = -Ry  
Rz = -Rx

\*\*\*\*\* Attention \*\*\*\*\*

Position Vector

d.g.Território

mvasconcelos@dterritorio.pt

## Transformação de Molodensky

$$\Delta\varphi = \frac{-\Delta X \cdot \sin\varphi \cdot \cos\lambda - \Delta Y \cdot \sin\varphi \cdot \sin\lambda + \Delta Z \cdot \cos\varphi + (f \cdot \Delta a + a \cdot \Delta f) \cdot \sin(2\varphi)}{R_M}$$

$$\Delta\lambda = \frac{-\Delta X \cdot \sin\lambda + \Delta Y \cdot \cos\lambda}{R_N \cdot \cos\varphi}$$

$$\Delta h = \Delta X \cdot \cos\varphi \cdot \cos\lambda + \Delta Y \cdot \cos\varphi \cdot \sin\lambda + \Delta Z \cdot \sin\varphi + (f \cdot \Delta f + a \cdot \Delta f) \cdot \sin^2\varphi - \Delta a$$

$$R_N = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2\varphi}}$$

$$R_M = \frac{a(1 - e^2)}{(\sqrt{1 - e^2 \sin^2\varphi})^3}$$

$\Delta\varphi, \Delta\lambda$  em radianos

$\Delta h$  em metros

## Transformação de Molodensky

$$\Delta X = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\sin\varphi_i \cdot \cos\lambda_i \cdot \psi_i - \sin\lambda_i \cdot \omega_i + \cos\varphi_i \cdot \cos\lambda_i \cdot \xi_i)$$

$$\Delta Y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\sin\varphi_i \cdot \sin\lambda_i \cdot \psi_i - \cos\lambda_i \cdot \omega_i + \cos\varphi_i \cdot \sin\lambda_i \cdot \xi_i)$$

$$\Delta Z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (-\cos\varphi_i \cdot \psi_i + \sin\lambda_i \cdot \xi_i)$$

$$\psi_i = (f \cdot \Delta a + a \cdot \Delta f) \cdot \sin(2\varphi) - R_M \cdot \Delta\varphi_i$$

$$\omega_i = R_N \cdot \Delta\lambda_i$$

$$\xi_i = \Delta a - (f \cdot \Delta a + a \cdot \Delta f) \cdot \sin^2\varphi + \Delta h_i$$

## Transformações Polinomiais

$$M_2 = c_0 + c_1 \cdot M_1 + c_2 \cdot P_1 + c_3 \cdot M_1^2 + c_4 \cdot M_1 \cdot P_1 + c_5 \cdot P_1^2 + \dots$$

$$P_2 = d_0 + d_1 \cdot M_1 + d_2 \cdot P_1 + d_3 \cdot M_1^2 + d_4 \cdot M_1 \cdot P_1 + d_5 \cdot P_1^2 + \dots$$

$(M_1, P_1)$  coordenadas no sistema de partida (m)

$(M_2, P_2)$  coordenadas no sistema de chegada (m)

$(c_i, d_i)$  coeficientes a determinar

## Transformações Polinomiais

$$E_2 = a_0 + a_1 \cdot u + a_2 \cdot v + a_3 \cdot u^2 + a_4 \cdot u \cdot v + a_5 \cdot v^2 + \dots$$

$$N_2 = b_0 + b_1 \cdot u + b_2 \cdot v + b_3 \cdot u^2 + b_4 \cdot u \cdot v + b_5 \cdot v^2 + \dots$$

$$u = \frac{E_1 - X_0}{h}$$

$$v = \frac{N_1 - Y_0}{k}$$

$(E_1, N_1)$  coordenadas no sistema de partida (m)

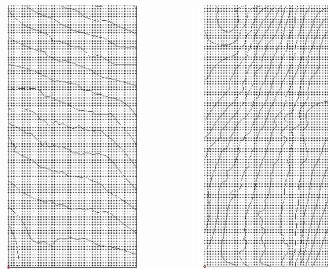
$(E_2, N_2)$  coordenadas no sistema de chegada (m)

$X_0, Y_0, h, k$  : parâmetros de normalização

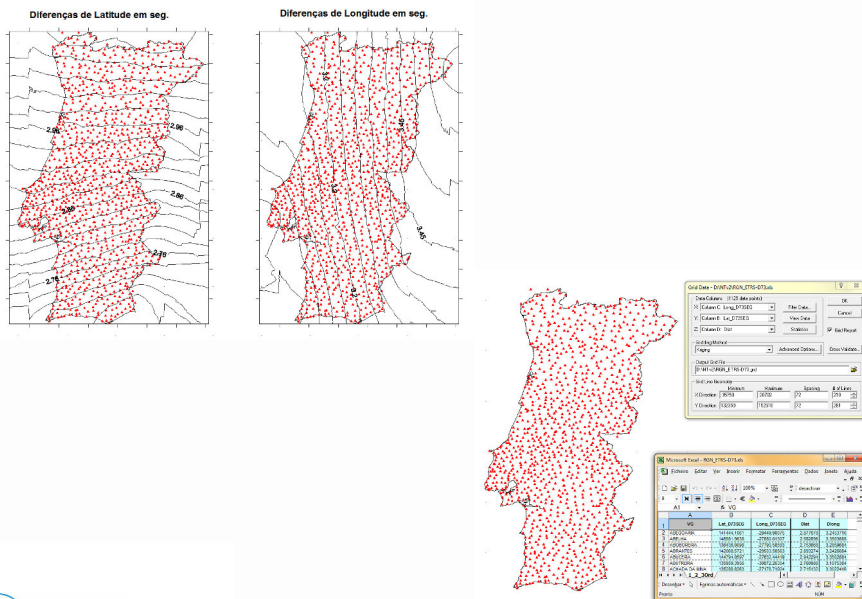
$(a_i, b_i)$  coeficientes a determinar

## Grelhas NTv2

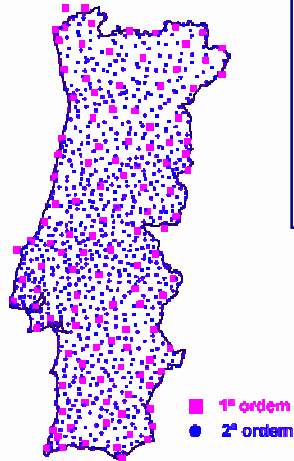
- Grelhas de diferenças de coordenadas geográficas
- Criadas com base nas coordenadas de pontos conhecidos nos dois sistemas de referência
- Unidades: segundos de arco
- Formato *standard*
- A transformação é realizada através de interpolação sobre a grelha



## Grelhas NTv2



## Transformação de Coordenadas – Continente



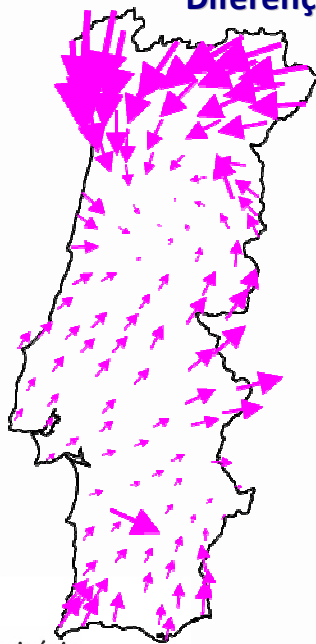
Sistemas Locais (Datum Lisboa, Datum 73) para PT-TM06/ ETRS89:

- Molodensky
- Bursa-Wolf
- Funções Polinomiais das Coordenadas Cartográficas
- Grelhas de Diferenças de Coordenadas

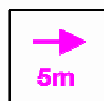
### Estratégia

- Determinação dos parâmetros:  
VG de 1.ª ordem
- Avaliação da sua qualidade:  
VG de 2.ª ordem  
(excepto para as grelhas)

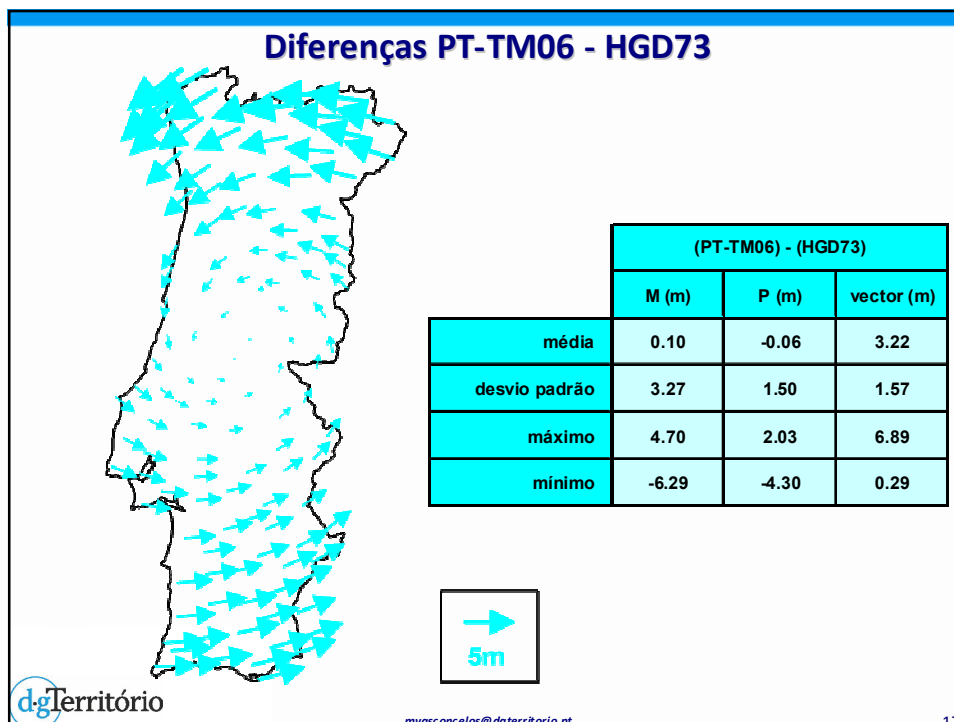
## Diferenças PT-TM06 - HGDLx



	(PT-TM06) - (HGDLx)		
	M (m)	P (m)	vector (m)
média	0.18	0.00	2.89
desvio padrão	2.17	2.74	1.97
máximo	4.82	4.32	8.92
mínimo	-6.68	-8.89	0.35







### Transformação de Coordenadas – Continente

#### Comparação da Planimetria (vector)

HGD73 -> PT-TM06/ETRS89				
Resíduos (m)	Molodensky	Bürsa-Wolf	Polinómios 2º grau	Grelhas
máximo	2.382	1.380	0.609	0.171
média	0.882	0.478	0.122	0.051
mínimo	0.007	0.019	0.003	0.001
e.m.q.	1.014	0.524	0.143	0.063

HGDLx -> PT-TM06/ETRS89				
Resíduos (m)	Molodensky	Bürsa-Wolf	Polinómios 2º grau	Grelhas
máximo	5.611	5.109	4.199	0.779
média	2.160	1.868	0.994	0.162
mínimo	0.107	0.114	0.067	0.007
e.m.q.	2.331	2.049	1.166	0.200

mvasconcelos@dterritorio.pt
18

## Transformação Polinomial HGDLx -> PT-TM06

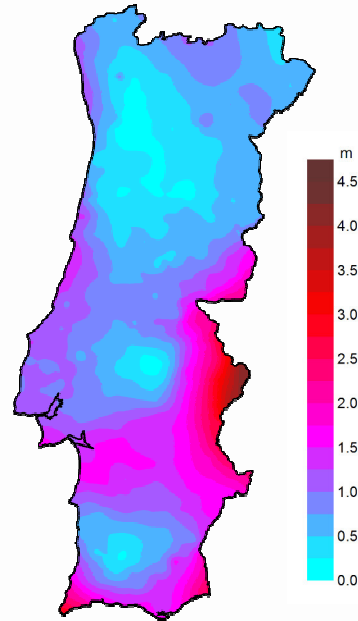
### Polinómios de 2.º Grau

#### Pontos Base – 1.ª ordem

Resíduos	M (m)	P (m)	Total (m)
Máximo	3.62	3.88	5.45
Média	0.00	0.00	1.14
Mínimo	-1.69	-4.25	0.07
e.m.q	0.92	1.04	1.39

#### Pontos de Controlo – 2.ª ordem

Resíduos	M (m)	P (m)	Total (m)
Máximo	4.02	2.24	4.20
Média	-0.07	0.01	0.99
Mínimo	-1.59	-2.63	0.07
e.m.q	0.81	0.84	1.17



## Transformação Polinomial HGD73 -> PT-TM06

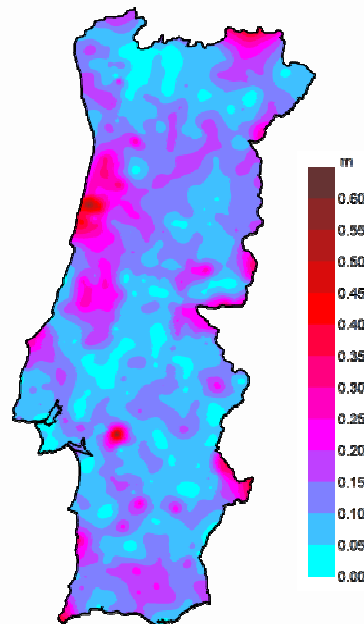
### Polinómios de 2.º Grau

#### Pontos Base – 1.ª ordem

Resíduos	M (m)	P (m)	Total (m)
Máximo	0.32	0.35	0.36
Média	0.00	0.00	0.11
Mínimo	-0.27	-0.27	0.02
e.m.q	0.10	0.09	0.13

#### Pontos de Controlo – 2.ª ordem

Resíduos	M (m)	P (m)	Total (m)
Máximo	0.61	0.34	0.61
Média	0.00	-0.01	0.12
Mínimo	-0.35	-0.58	0.00
e.m.q	0.11	0.10	0.14

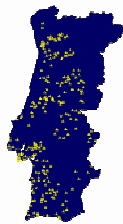


## Transformação de Coordenadas – Continente

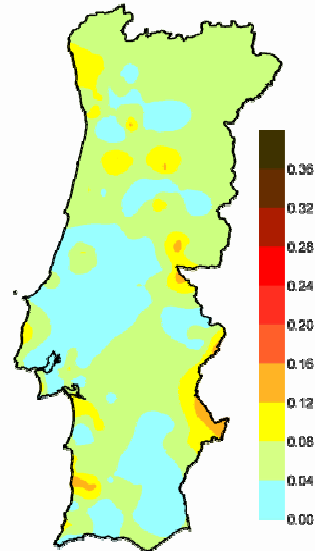
VG não observados com GNSS

Transformação por grelhas  
HGD73 -> PT-TM06/ETRS89

Resíduos	M (m)	P (m)	vector (m)
Máximo	0.150	0.157	0.171
Média	0.003	0.000	0.051
Mínimo	-0.140	-0.119	0.001
e.m.q.	0.043	0.045	0.063



- Grelhas criadas com a 1.ª, 2.ª e 3.ª ordens
- Avaliação da sua qualidade: 225 VG observados em RTK



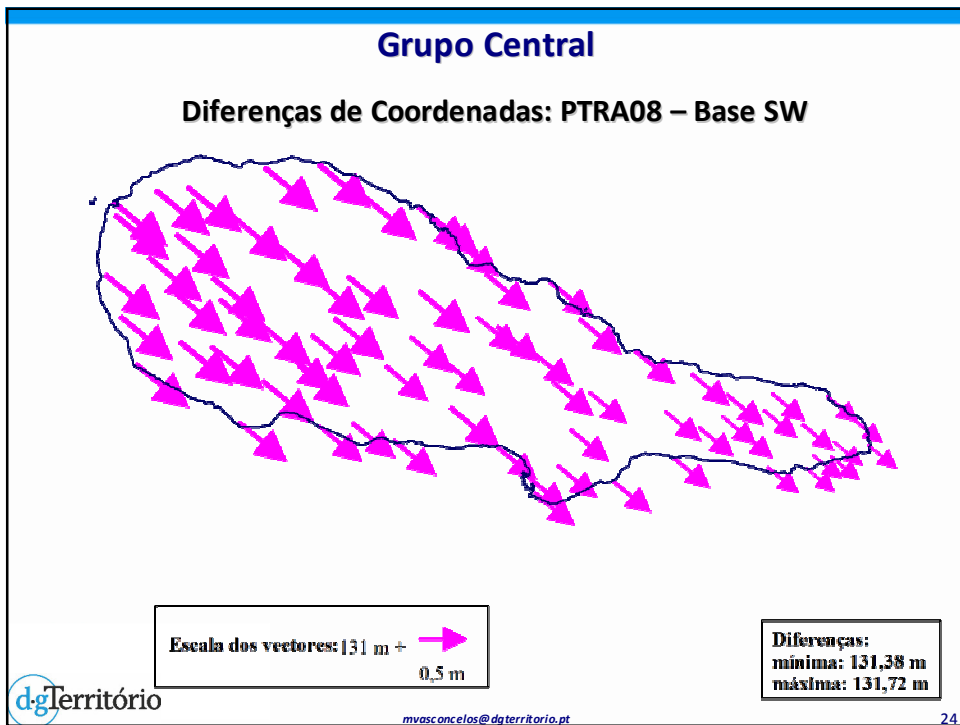
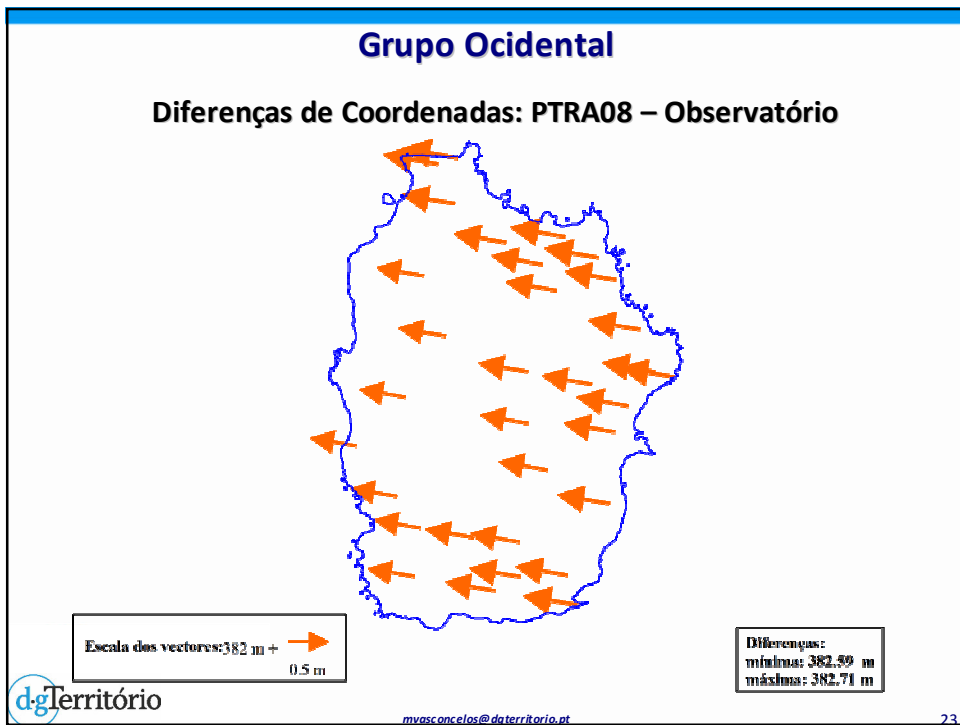
## Transformação de Coordenadas – Regiões Autónomas

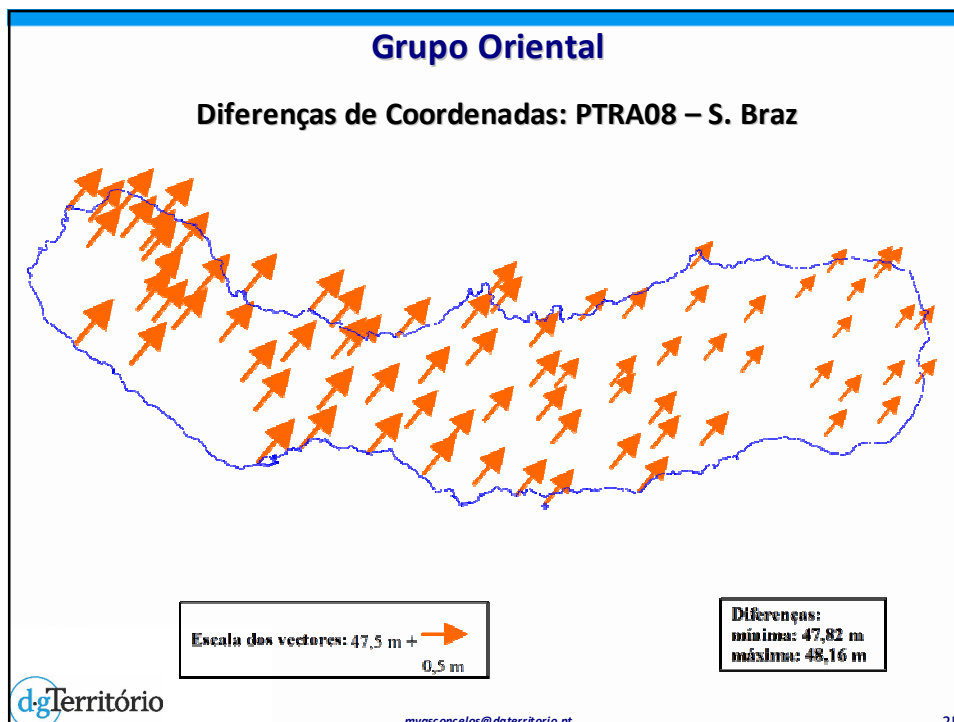
➤ *Data* Locais para PTR08-UTM / ITRF93 :

- Molodensky
- Bursa-Wolf
- Funções Polinomiais das Coordenadas Cartográficas

### Estratégia

- Determinação dos parâmetros:  
VG envolventes à Ilha (Grupo)
- Avaliação da sua qualidade:  
Restantes VG (em n.º superior)





### Transformação de Coordenadas – Regiões Autónomas

**Data Locais -> PTRAO8-UTM/ITRF93**

**Funções Polinomiais de 2.º Grau**

		R. A. Açores		
		G. Oriental	G. Central	G. Ocidental
Resíduos	Máximo	0.077	0.310	0.113
	Média	0.024	0.058	0.024
	Mínimo	0.001	0.003	0.003
	e.m.q.	0.031	0.083	0.037

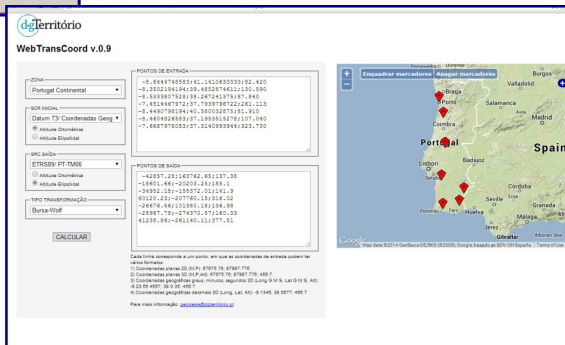
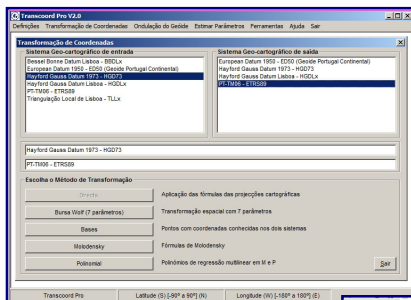
Resíduos em Planimetria (Vector)

Unidades: metro

		R. A. Madeira
		Resíduos
	Média	0.044
	Mínimo	0.005
	e.m.q.	0.053

**d.gTerritório** mvasconcelos@daterritorio.pt 26

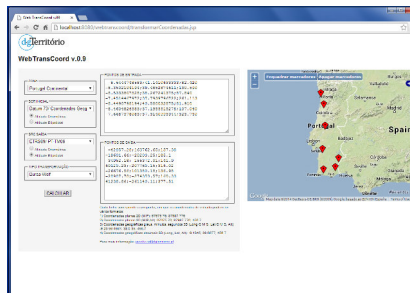
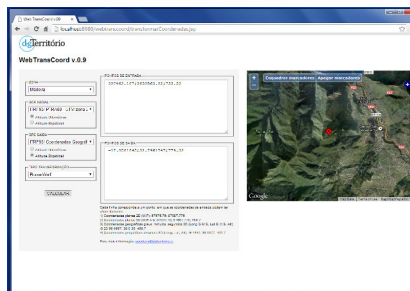
## Aplicativos para Transformação de Coordenadas



## WebTransCoord

<http://cgpr.dgterritorio.pt/webtranscoord/>

- Nova versão do TransCoord PRO
- Solução de internet
- Transformação de coordenadas entre os sistemas de referência portugueses: Continente e Regiões Autónomas
- Métodos de Transformação: Bursa-Wolf e grelhas NTV2
- Baseado em Software livre: Biblioteca Java GeoToolkit e Javascript OpenLayers



## WebTranscoord – Interface HTML

WebTransCoord v.0.9

ZONA: Portugal Continental  
 SRC INICIAL: Datum 73/ Coordenadas Geog  
 SRC SAÍDA: ETRS89/ PT-TM06  
 TIPO TRANSFORMAÇÃO: Bursa-Wolf  
 CALCULAR

**PONTOS DE ENTRADA**  
 -8.6444748583;41.1410633333;82.420  
 -8.3502194194;39.4852874611;130.590  
 -8.5333007526;38.267241375;87.640  
 -7.4514446792;37.7939796722;261.113  
 -8.4490798194;40.580032875;81.910  
 -8.4604826583;37.1953515278;107.040  
 -7.6687976053;37.3140995944;323.730

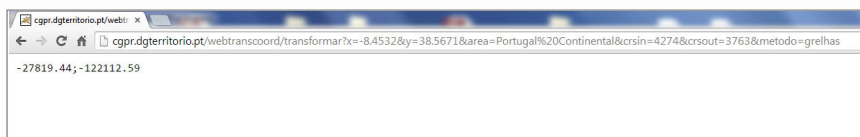
**PONTOS DE SAÍDA**  
 -42857.28;163762.65;137.38  
 -18601.46;-20203.25;185.1  
 -34952.18;-155372.01;141.9  
 60120.23;-207760.15;316.02  
 -26676.56;101380.18;136.98  
 -23987.78;-274970.57;160.33  
 41238.86;-261140.11;177.51

Cada linha corresponde a um ponto, em que as coordenadas de entrada podem ter vários formatos:  
 1) Coordenadas planas 2D (M.P.): 67675.76; 87887.776  
 2) Coordenadas planas 3D (M.P.Alt): 67675.76; 87887.776; 450.7  
 3) Coordenadas geográficas graus, minutos, segundos 3D (Long. G. M. S., Lat. G. M. S., Alt): 8 23 59.4507; 38 0 36.4507  
 4) Coordenadas geográficas decimais 3D (Long. Lat. Alt): -8.1345; 38.0677; 450.7  
 Para mais informação: [geodesia@dgterritorio.pt](mailto:geodesia@dgterritorio.pt)

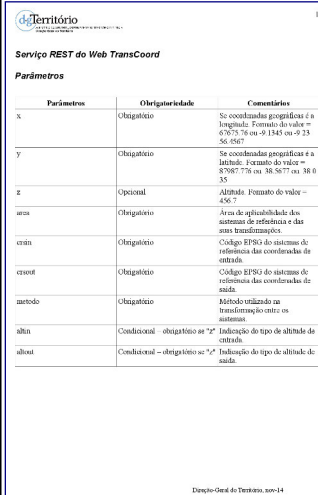


## WebTranscoord – Interface REST (serviço Web)

- Um protocolo cliente/servidor sem estado: cada mensagem HTTP contém toda a informação necessária para compreender o pedido.
- Transformação ponto a ponto
- Integração fácil com outras aplicações web
- API disponível em [www.dgterritorio.pt](http://www.dgterritorio.pt)



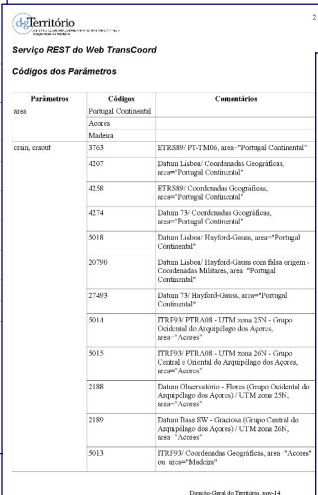
## WebTranscoord – Serviço REST



**Serviço REST do Web TransCoord**

Parâmetros	Obrigatoriedade	Comentários
x	Obrigatório	Se coordenada geográfica é a longitude. Formato do valor = 67875.76 ou -9.1341 ou -9.23.56.067
y	Obrigatório	Se coordenada geográfica é a latitude. Formato do valor = 87987.75 ou 38.5677 ou 38.0.35
z	Opcional	Altitude. Formato do valor = 456.7
area	Obrigatório	Área de aplicabilidade dos sistemas de referência e das suas transformações.
crsIn	Obrigatório	Código EPSG do sistema de referência das coordenadas de entrada.
crsOut	Obrigatório	Código EPSG do sistema de referência das coordenadas de saída.
metodo	Obrigatório	Método utilizado na transformação entre os sistemas.
altIn	Condiciona - obrigatório se "z"	Indicação do tipo de altitude de entrada.
altOut	Condiciona - obrigatório se "z"	Indicação do tipo de altitude de saída.

Direção-Geral do Território, novembro-14

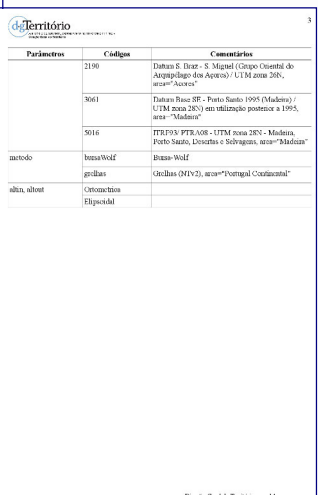


**Serviço REST do Web TransCoord**

**Códigos dos Parâmetros**

Parâmetros	Códigos	Comentários
area	Portugal Ocidental Açores Madeira	
crsIn, crsOut	3763 4507 4158 4174 5018 20790 27493 5014 5015 2188 2189 5013	ETRS89/PT-TM06, area="Portugal Continental" Datum Lisboa/Coordenadas Geográficas, area="Portugal Continental" ETRS89/Coordenadas Geográficas, area="Portugal Continental" Datum '73/Coordenadas Geográficas, area="Portugal Continental" Datum Lisboa/Hayford-Gauss, area="Portugal Continental" Datum Lisboa/Hayford-Gauss com falsa origem/Coordenadas Militares, area="Portugal Continental" Datum '73/Hayford-Gauss, area="Portugal Continental" PTFRS93/PTFR-A08 - UTM zona 27N - Campo Ocidental do Arquipélago dos Açores, area="Açores" PTFRS93/PTFR-A08 - UTM zona 26N - Campo Central e Oriental do Arquipélago dos Açores, area="Açores" Datum Observatório - Flores (Campo Ocidental do Arquipélago dos Açores) / UTM zona 23N, area="Açores" Datum Ponta SW - Graciosa (Campo Central do Arquipélago dos Açores) / UTM zona 26N, area="Açores" PTFRS93/Coordenadas Geográficas, area="Açores" ou area="Madeira"

Direção-Geral do Território, novembro-14



Parâmetros	Códigos	Comentários
	2190	Datum S. Diniz - S. Miguel (Grupo Oriental do Arquipélago dos Açores) / UTM zona 28N, area="Madeira"
	3061	Datum Base SF - Porto Santo 1995 (Madeira) / UTM zona 28N em utilização posterior a 1995, area="Madeira"
	5016	PTFRS93/PTFR-A08 - UTM zona 28N - Madeira, Porto Santo, Desertas e Selvagens, area="Madeira"
metodo	brnaWolf gridas	Brna-Wolf Gridas (MVT), area="Portugal Continental"
altIn, altOut	Ortometrica Eipocentral	

Direção-Geral do Território, novembro-14

[mvasconcelos@dgterritorio.pt](mailto:mvasconcelos@dgterritorio.pt)

31

## Aplicativos para Transformação de Informação Geográfica

- Transformação realizada através de **Funções Polinomiais das Coordenadas Cartográficas** ou **Grelhas de Diferenças de Coordenadas**
- **Continente e Regiões Autónomas**
- Transformação “ponto a ponto”
- **DXF:**
  - aplicação
- **DGN:**
  - macro dentro do Microstation
- **SHP:**
  - aplicação
  - necessita dos 3 ficheiros: \*.shp, \*.shx, \*.dbf
- **TFW:**
  - aplicação
  - necessita dos 2 ficheiros: \*.tfw, \*.tif
- Em todas as aplicações: **separador decimal tem de ser o ponto (.)**

[mvasconcelos@dgterritorio.pt](mailto:mvasconcelos@dgterritorio.pt)

32



# Aplicativos para Transformação de Informação Geográfica

The image shows three overlapping dialog boxes from the IGP - Instituto Geográfico Português application:

- Mudança de Sistema de Referência em ficheiros de texto - ASCII:** Shows 'Sistema 1' as 'Açores - Pico - UTM 26 Base SW' and 'Sistema 2' as 'UTM 26 ITRF93'.
- Mudança de Sistema de Referência em ficheiros SHAPEFILE:** Shows 'Sistema 1' as 'Açores - G. Ocidental - UTM 25 Observatóri...' and 'Sistema 2' as 'UTM 25 ITRF93'. It also lists 'Ficheiro SHAPEFILE no Sistema 1' and 'Ficheiro SHAPEFILE no Sistema 2' as 'C:\Temp\PDelgada\shape\Gocidental-DL0'.
- Mudança de Sistema de Referência em ficheiros DXF:** Shows 'Sistema 1' with a list of options including 'Hayford-Gauss Datum 73', 'Hayford-Gauss Datum Lisboa-Ponto Central', 'Açores - G. Oriental - UTM 26 S. Bráz', 'Açores - Faial - UTM 26 Base SW', 'Açores - Graciosa - UTM 26 Base SW', 'Açores - Pico - UTM 26 Base SW', 'Açores - São Jorge - UTM 26 Base SW', and 'Açores - Terceira - UTM 26 Base SW'. 'Sistema 2' is empty.

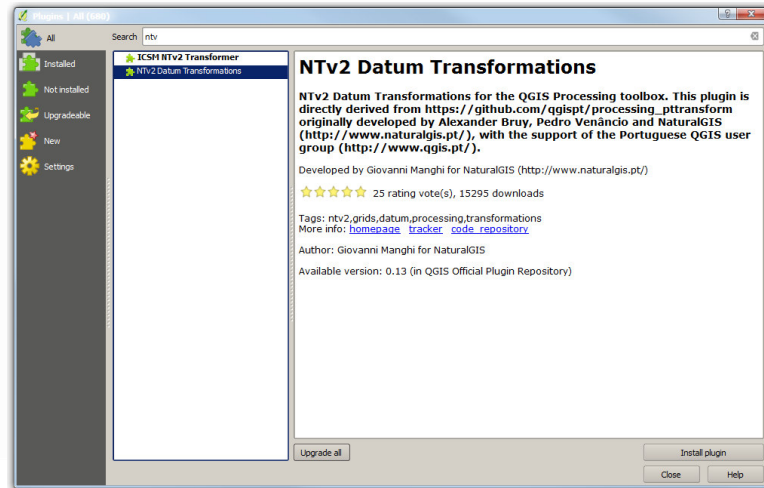


# Aplicativos para Transformação de Informação Geográfica

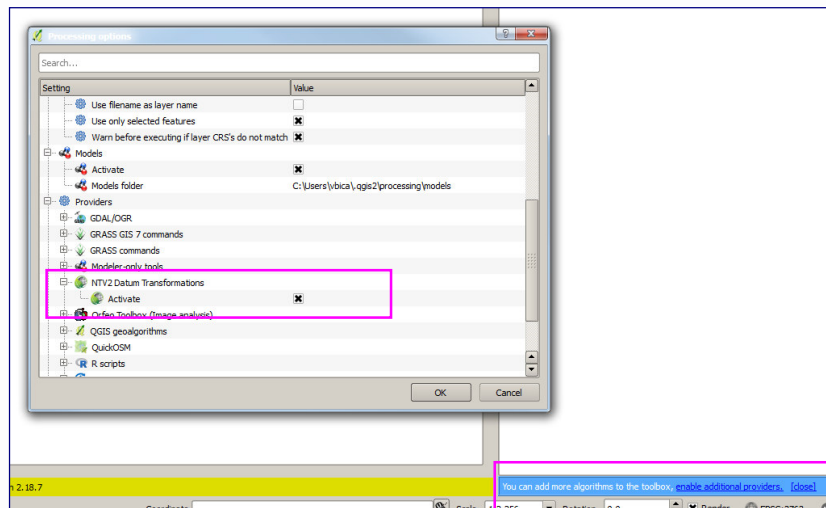
The image shows a screenshot of the MicroStation (v8i) software interface. A map window is visible in the background. In the foreground, a dialog box titled 'IGP - Mudança de Sistema de Referência' is open. It shows 'Sistema 1' as 'HGDatum 73' and 'Sistema 2' as 'ETRS89 TM06'. The dialog has 'OK' and 'Cancelar' buttons.



## Grelhas NTV2 no QGIS



## Grelhas NTV2 no QGIS



## Grelhas NTV2 no QGIS

