



Transformação de Coordenadas

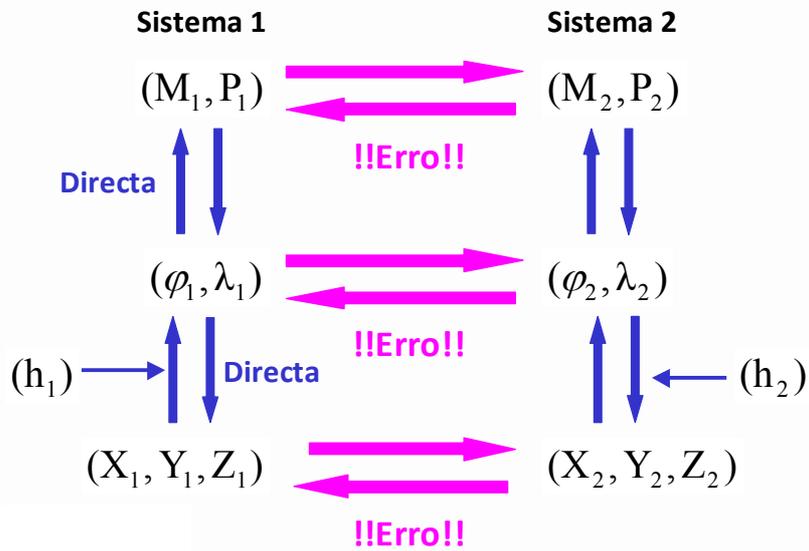
Manuela Vasconcelos
(mvasconcelos@dgterritorio.pt)

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)

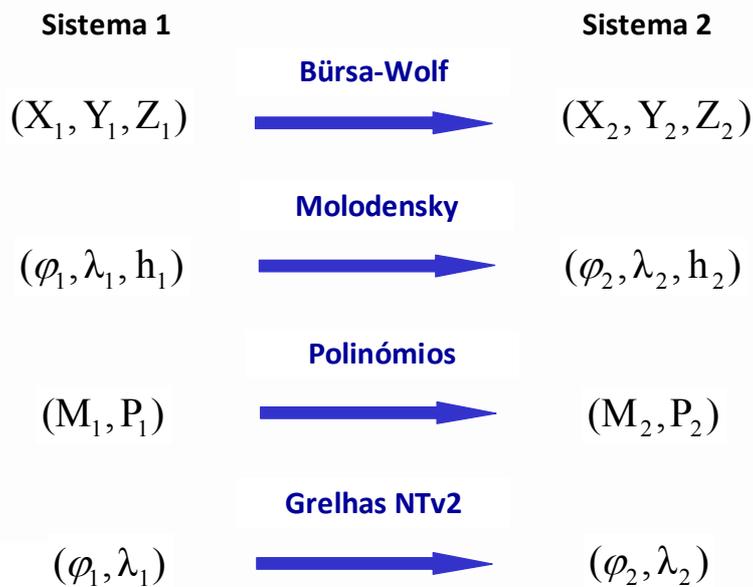
Tipos de Conversões / Transformações de Coordenadas



mvasconcelos@dgterritorio.pt

3

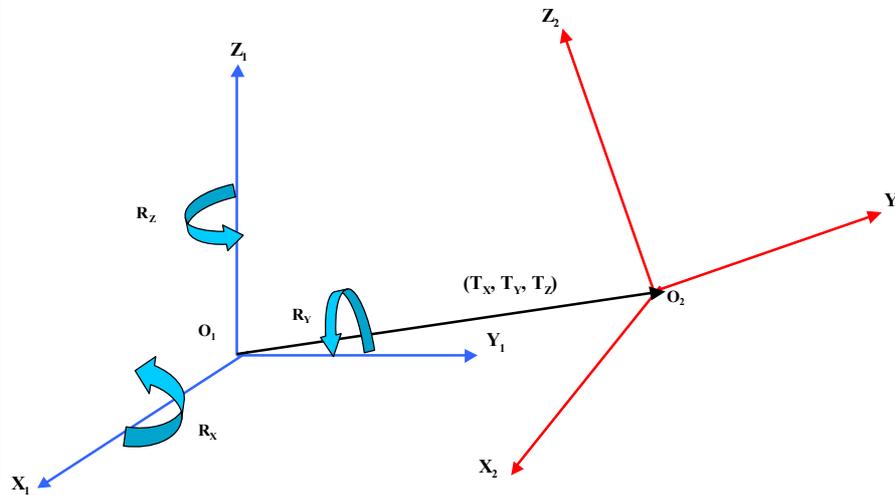
Alguns Tipos de Transformações de Coordenadas



mvasconcelos@dgterritorio.pt

4

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 S S 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@dgterritorio.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

Δh 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)

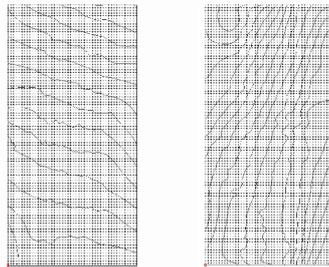
(E_2, N_2) coordenadas no sistema de chegada (m)

X_0, Y_0, h, k : parâmetros de normalização

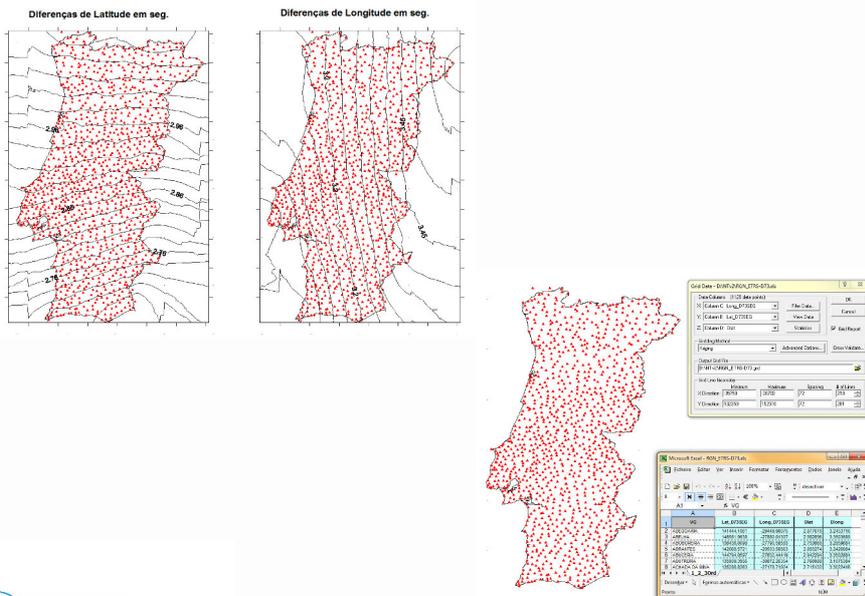
(a_i, b_i) coeficientes a determinar

Grelhas NTv2

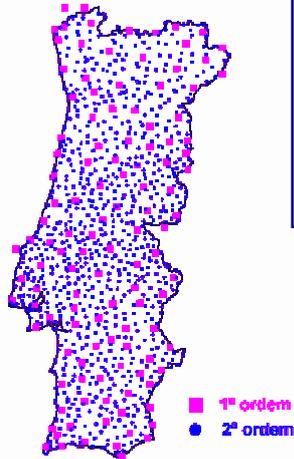
- Grelhas de diferenças de coordenadas geográficas
- Criadas com base nas coordenadas de pontos conhecidos nos dois sistemas de referência
- Unidades: segundos de arco
- Formato *standard*
- A transformação é realizada através de interpolação sobre a grelha



Grelhas NTv2



Transformação de Coordenadas – Continente



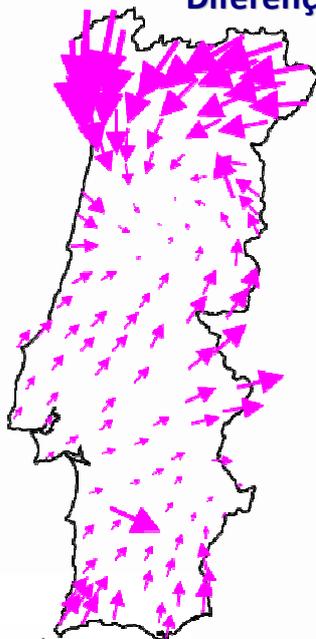
Sistemas Locais (Datum Lisboa, Datum 73) para PT-TM06/ ETRS89:

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

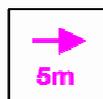
Estratégia

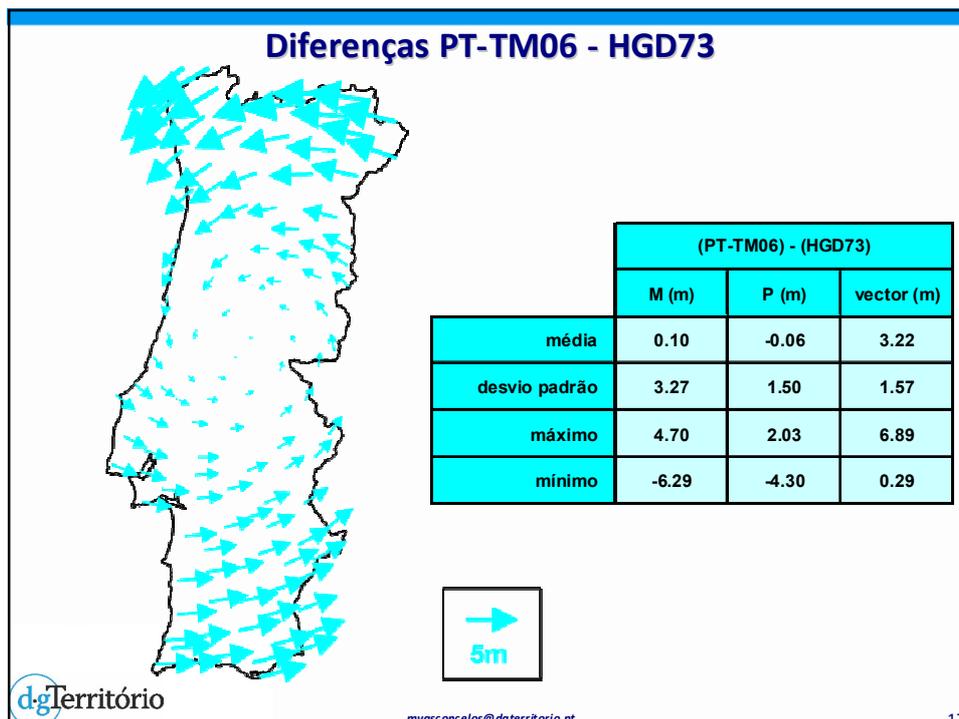
- Determinação dos parâmetros:
VG de 1.ª ordem
- Avaliação da sua qualidade:
VG de 2.ª ordem
(excepto para as grelhas)

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





17

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

d.gTerritório mvasconcelos@dgterritorio.pt

18

Transformação Polinomial HGDLx -> PT-TM06

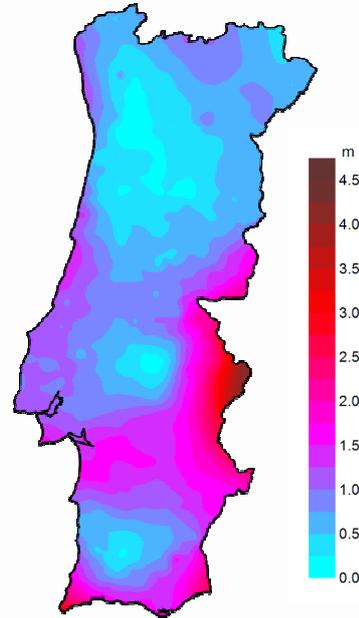
Polinómios de 2.º Grau

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

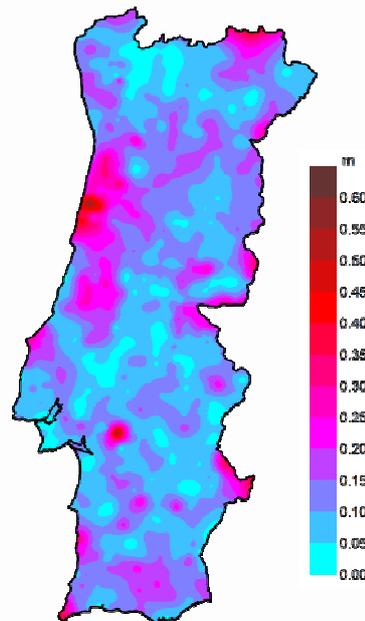
Polinómios de 2.º Grau

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

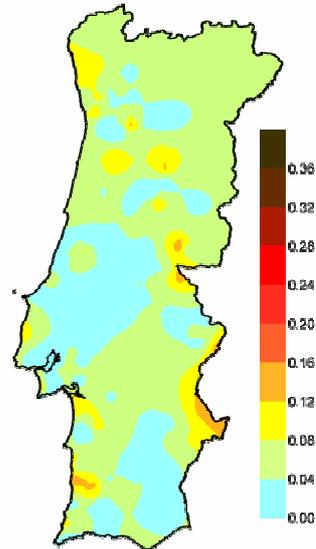
VG não observados com GNSS

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



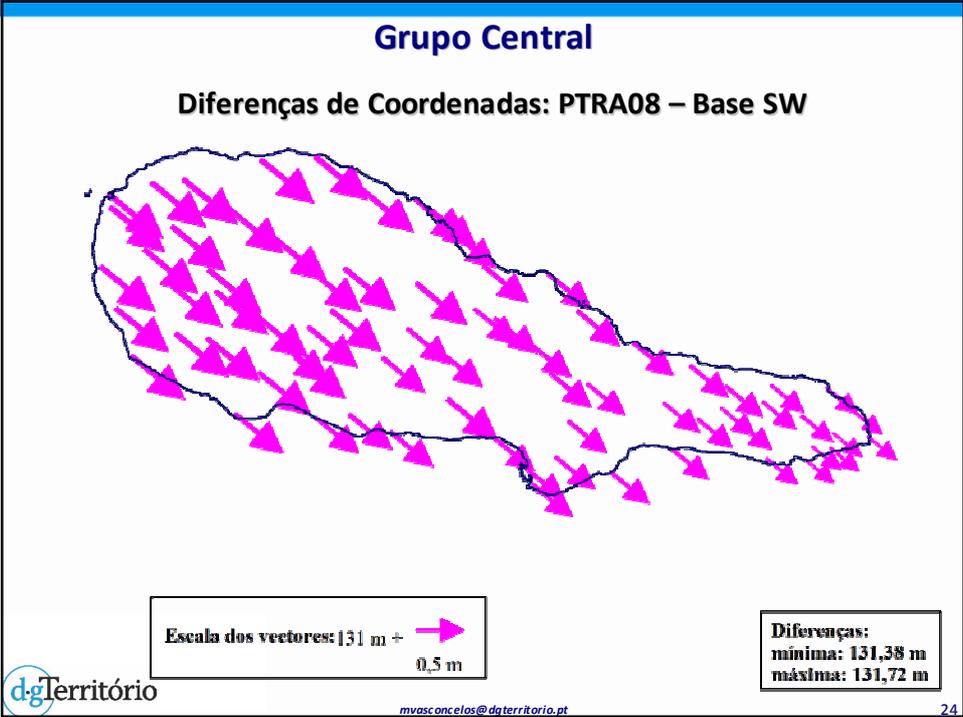
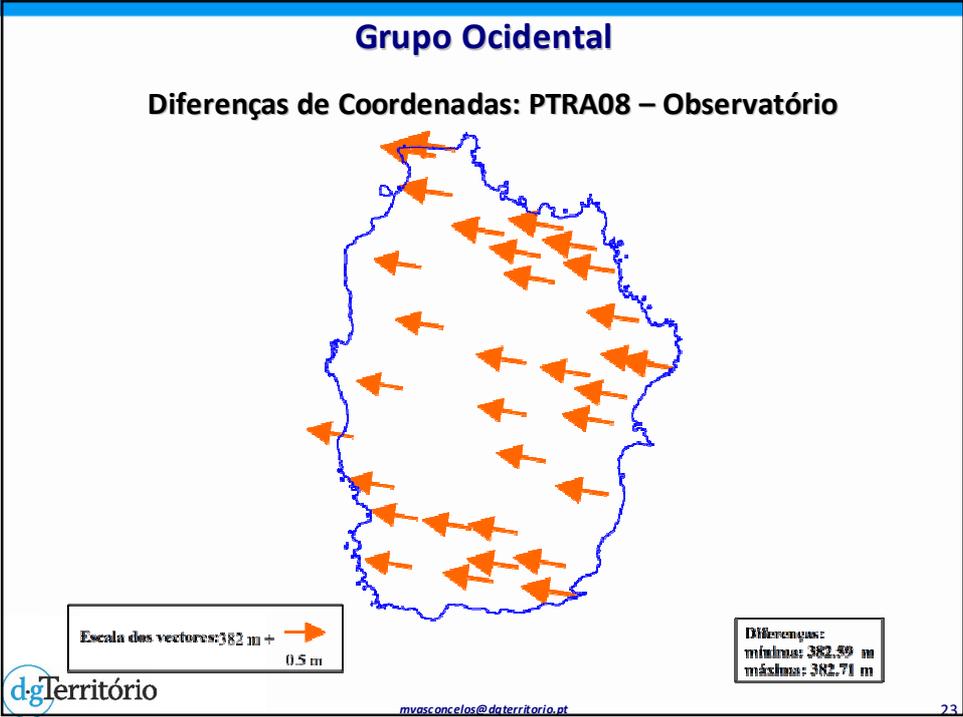
Transformação de Coordenadas – Regiões Autónomas

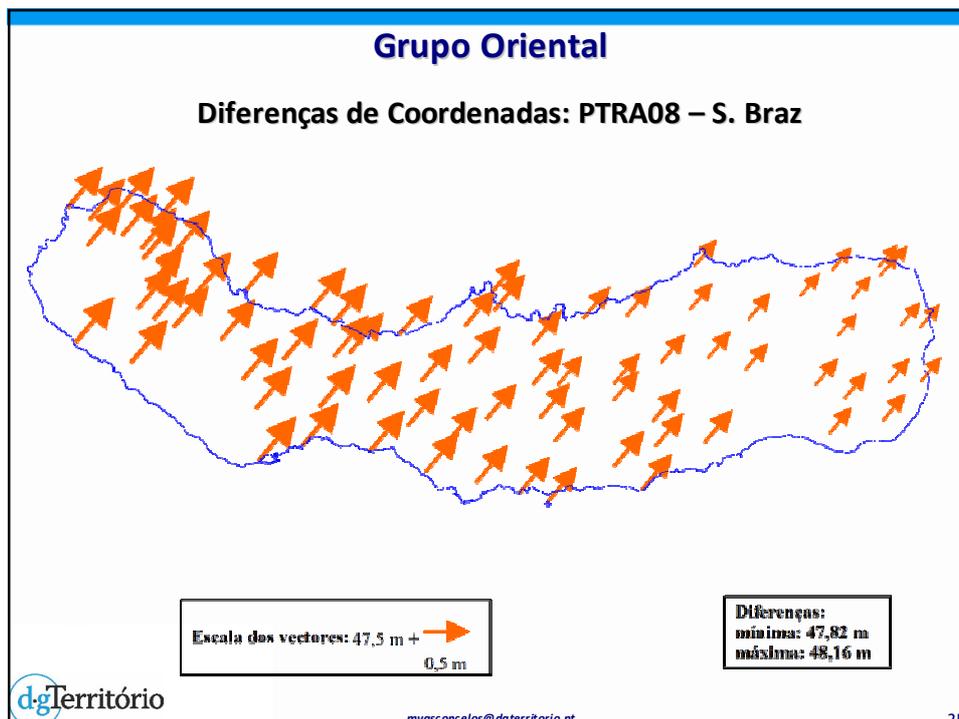
➤ *Data* Locais para PTR08-UTM / ITRF93 :

- 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 -> PTR A08-UTM/ITRF93

Funções Polinomiais de 2.º Grau

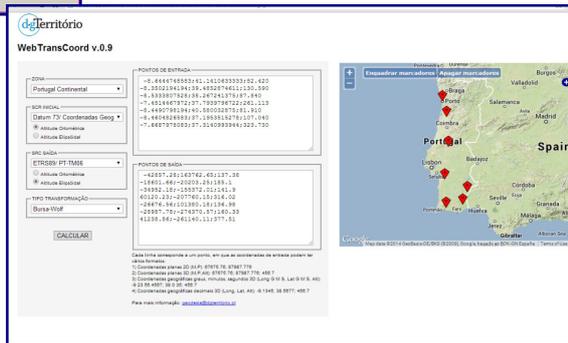
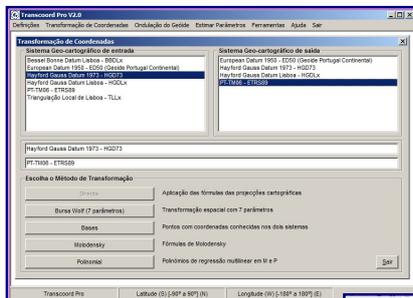
		R. A. Açores		
		G. Oriental	G. Central	G. Ocidental
Resíduos	Máximo	0.077	0.310	0.113
	Média	0.024	0.058	0.024
	Mínimo	0.001	0.003	0.003
	e.m.q.	0.031	0.083	0.037

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

Resíduos em Planimetria (Vector)
Unidades: metro

d.gTerritório mvasconcelos@daterritorio.pt 26

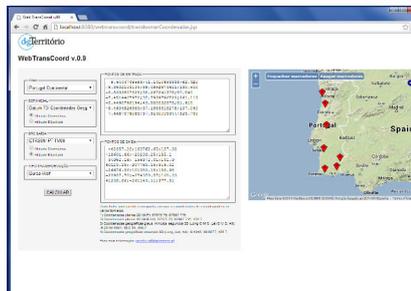
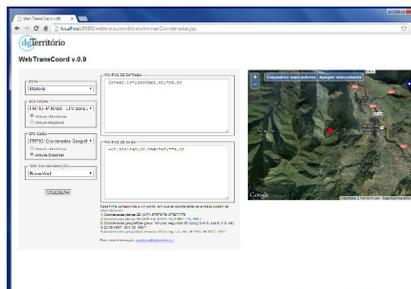
Aplicativos para Transformação de Coordenadas



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
 SCR 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



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



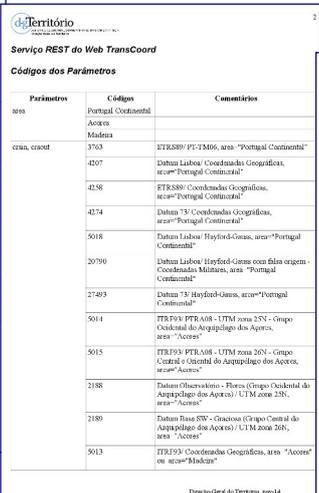
WebTranscoord – Serviço REST



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.
altm	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

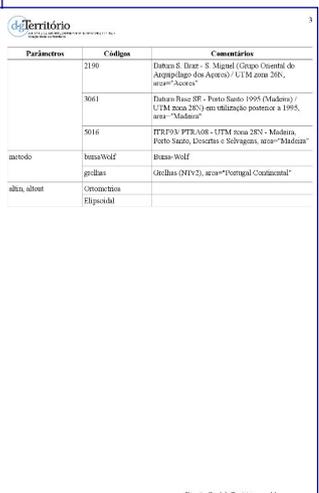


Serviço REST do Web TransCoord

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" PTFR93/ PPR-A08 - UTM zona 27N - Campo Ocidental do Arquipélago dos Açores, area="Açores" PTFR93/ PPR-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 - Guadalupe (Campo Central do Arquipélago dos Açores)/ UTM zona 26N, area="Açores" PTFR93/ Coordenadas Geográficas, area "Açores" ou area="Madeira"

Direção-Geral do Território, novembro-14



Serviço REST do Web TransCoord

Parâmetros	Códigos	Comentários
	2190	Datum S. Diaz - 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	ITRF93/ PPR-A08 - UTM zona 26N - Madeira, Porto Santo, Desertas e Selvagens, area="Madeira"
metodo	brnaWolf gridas	Brna-Wolf Gridas (MVT), area="Portugal Continental"
altm, altout	chrometric Eipencial	Chrometric Eipencial

Direção-Geral do Território, novembro-14

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

32

Aplicativos para Transformação de Informação Geográfica

The image displays three overlapping dialog boxes from the IGP (Instituto Geográfico Português) software, all titled "Mudança de Sistema de Referência em ficheiros de texto - ASCII".

- Top Dialog:** Shows "Sistema 1" as "Açores - Pico - UTM 26 Base SW" and "Sistema 2" as "UTM 26 ITRF93". It includes a list of coordinate systems and a field for "Nome (M, P)".
- Middle Dialog:** Shows "Sistema 1" as "Açores - G. Ocidental - UTM 25 Observatório" and "Sistema 2" as "UTM 25 ITRF93". It includes fields for "Ficheiro SHAPEFILE no Sistema 1 (*.shp)" and "Ficheiro SHAPEFILE no Sistema 2".
- Bottom Dialog:** Shows "Sistema 1" with a list of coordinate systems including "Hayford-Gauss Datum 73", "Hayford-Gauss Datum Lisboa-Ponto Central", and "Açores - Faial - UTM 26 Base SW". It includes fields for "Ficheiro DXF no Sistema 1" and "Ficheiro DXF no Sistema 2".

The IGP logo and name are visible in the top-left corner of each dialog box. The "d.gTerritório" logo is in the bottom-left corner of the slide, and the email "mvasconcelos@dterritorio.pt" and slide number "33" are in the bottom-right.

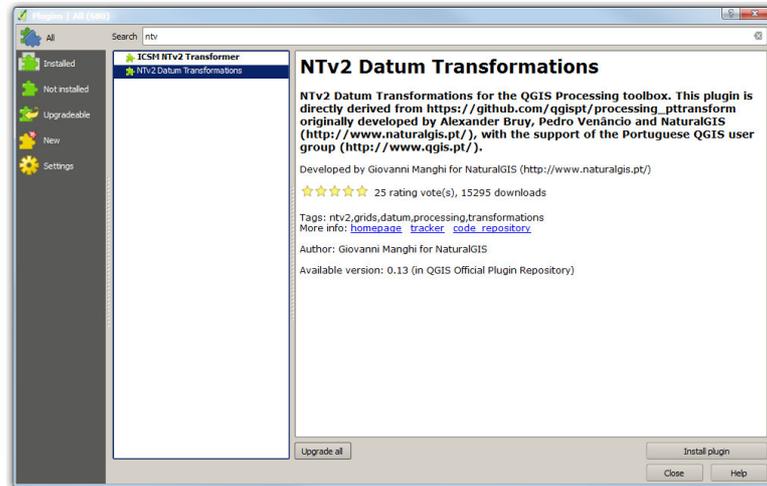
Aplicativos para Transformação de Informação Geográfica

The image shows a screenshot of the MicroStation V8i software interface. The main window displays a map with various geometric elements. Two dialog boxes are open over the map:

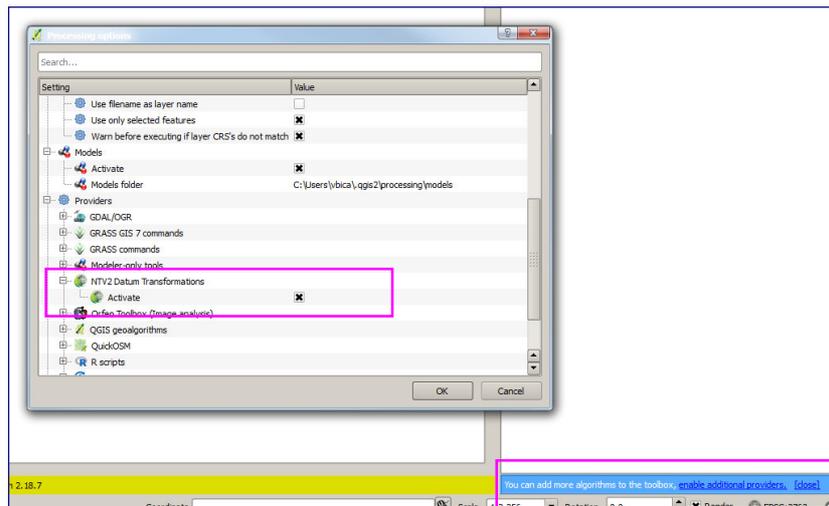
- Macro Manager:** A small dialog box with a list of macros including "mudr_system", "mudr_system2", "pol_line", "pol_line2", "pol_line3", "pol_line4", "pol_line5", "pol_line6", "pol_line7", "pol_line8", "pol_line9", "pol_line10", "pol_line11", "pol_line12", "pol_line13", "pol_line14", "pol_line15", "pol_line16", "pol_line17", "pol_line18", "pol_line19", "pol_line20", "pol_line21", "pol_line22", "pol_line23", "pol_line24", "pol_line25", "pol_line26", "pol_line27", "pol_line28", "pol_line29", "pol_line30", "pol_line31", "pol_line32", "pol_line33", "pol_line34", "pol_line35", "pol_line36", "pol_line37", "pol_line38", "pol_line39", "pol_line40", "pol_line41", "pol_line42", "pol_line43", "pol_line44", "pol_line45", "pol_line46", "pol_line47", "pol_line48", "pol_line49", "pol_line50", "pol_line51", "pol_line52", "pol_line53", "pol_line54", "pol_line55", "pol_line56", "pol_line57", "pol_line58", "pol_line59", "pol_line60", "pol_line61", "pol_line62", "pol_line63", "pol_line64", "pol_line65", "pol_line66", "pol_line67", "pol_line68", "pol_line69", "pol_line70", "pol_line71", "pol_line72", "pol_line73", "pol_line74", "pol_line75", "pol_line76", "pol_line77", "pol_line78", "pol_line79", "pol_line80", "pol_line81", "pol_line82", "pol_line83", "pol_line84", "pol_line85", "pol_line86", "pol_line87", "pol_line88", "pol_line89", "pol_line90", "pol_line91", "pol_line92", "pol_line93", "pol_line94", "pol_line95", "pol_line96", "pol_line97", "pol_line98", "pol_line99", "pol_line100".
- IGP - Mudança de Sistema de Referência:** A dialog box showing "Sistema 1" as "Hayford-Gauss Datum Lisboa-Ponto Central" and "Sistema 2" as "ETRS89 TM06". It includes "OK" and "Cancelar" buttons.

The MicroStation interface includes a menu bar (File, Element, Settings, Tools, Utilities, Workspace, Windows, Help), a toolbar, and a status bar. The "d.gTerritório" logo is in the bottom-left corner, and the email "mvasconcelos@dterritorio.pt" and slide number "34" are in the bottom-right.

Grelhas NTV2 no QGIS



Grelhas NTV2 no QGIS



Grelhas NTV2 no QGIS

