Estudo comparativo entre as diferentes metodologias e sistemas de coordenadas usados em Portugal

Dinis Fonseca
Alf RC, Eng^{o} Geógrafo
dinis.eg@gmail.com

Por opção do autor, este artigo está redigido segundo os instrumentos ortográficos anteriores ao Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa de 1990.

O presente artigo sintetiza resultados de um estudo proposto às soluções SIG existentes no mercado, tanto de softwares proprietários como de softwares Open-Source, visando unicamente a componente de conversão de sistemas de coordenadas, tendo em consideração os métodos de transformação convencionais, Molodensky e Bursa-Wolf, e ten-do em vista a implementação do uso das grelhas NTv2, permitindo assim fazer um pequeno estudo comparativo entre métodos de transformação de coordenadas usados em Portugal.

1.1 Introdução

Desde há muito tempo que a definição e transformação de coordenadas tem suscita-do muitas dúvidas, por parte dos utilizadores de informação geográfica, e tem originado diversas discussões em fóruns e encontros, sendo talvez o tema mais discutido e debatido na área de Engenharia Geográfica.

Convencionalmente, as transformações de data, entre um datum local e um datum global são realizadas pelos métodos de Molodensky (3 parâmetros de translação) ou Bursa-Wolf (7 parâmetros, 3 de translação, 3 de rotação e 1 de factor de escala), estando disponí-veis os seus parâmetros oficiais de transformação na página do IGP (Instituto Geográfico Português).

Essas transformações são aproximadas, frequentemente envolvendo erros de alguns metros, não modelando deformações da rede geodésica, que define o sistema local. [Gonçalves, 2008]

Estes erros podem parecer aceitáveis para muitas das aplicações, mas para outras podem ser críti-

cas e comprometedoras para o trabalho em causa, como é o caso do Geocoding, processo de associar coordenadas a dados geográficos, tais como moradas, ou códigos postais. Um erro de 4 ou 5 metros pode ser fatal quando se pretende fazer esta associação, dando origem a possíveis não correspondências aos dados geográficos.

O método aplicado pelo Prof. Dr. José Alberto Gonçalves, método das grelhas NTv2 (National Transformation, version 2), foi desenvolvido pelo Geodetic Survey Division – Geomatics Canadá, que tem vindo a ser aplicado em diversos países face aos excelentes resultados na transformação de coordenadas. Inédita a sua aplicação em Portugal, teve por base o uso de mais de 900 vértices de 1ª e 2ª ordem da rede geodésica onde, mediante da sua posição observada por GPS, foi possível a determinação de diferenças de coordenadas geográficas entre o datum global e o local por processos de interpolação locais, podendo assim ser criadas grelhas de diferenças de longitude e latitude, como mostram as seguintes figuras. [Gonçalves, 2009]

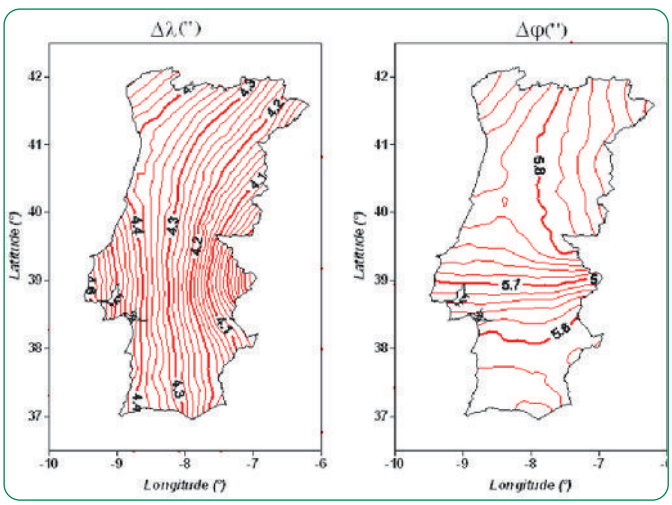

Figura 1.1- Representação de isolinhas das diferenças de coordenadas (DLX-ETRS89)

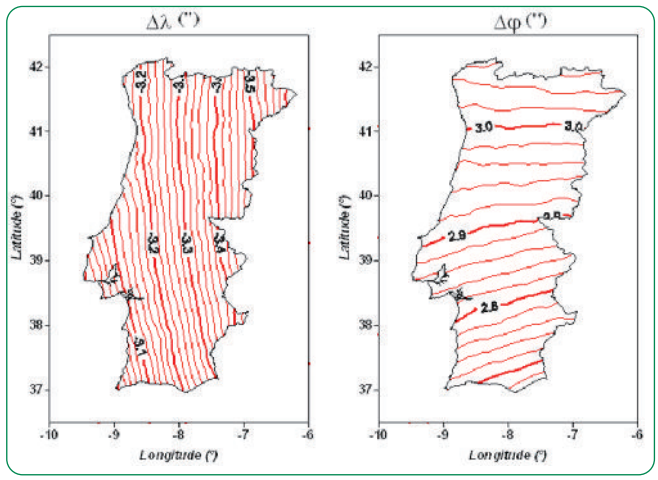

Figura 1.2- Representação de isolinhas das diferenças de coordenadas (D73-ETRS89) Fonte: J. A. Gonçalves, CNCG 2009

Estas grelhas foram criadas pelo método de Kriging (Surfer) com um espaçamento de um décimo de grau, de forma a cobrir desta forma Portugal Continental. Com a extensão .gsb, servem para fazer a conversão entre os diversos data locais de Portugal e o datum ETRS89.

Optou-se por incidir nas seguintes grelhas, pt_d73.gsb (Conversão de datum 73 para ETRS89) e pt_dlx.gsb (Conversão de datum Lisboa (Hayford) para ETRS89) pois são, além do Datum ETRS89, os data mais utilizados em Portugal.

Uma das grandes vantagens deste tipo de método é o facto de poder ser aplicado a diversos softwares SIG, entre os quais se destacam os seguintes, sendo ao longo deste trabalho demonstrada a sua implementação.

Nome do Software	Tipo de Software
ArcGis	Comercial
Manifold GIS	Comercial de baixo custo
GvSig	Open Source
Quantum GIS	Open Source

Tabela 1.1- Tabela representativa dos softwares SIG que foram objecto de estudo

É aplicada em diversos softwares SIG Open Source a biblioteca Proj.4, sendo esta um repositório de funções para projecção de dados cartográficos. Dentro dos diversos utilitários que a biblioteca pode oferecer, foi utilizado apenas o utilitário Proj que serve para fazer transformações de coordenadas geográficas (ϕ, λ) para cartesianas (x,y) e vice-versa, utilizando um conjunto de sistemas de projecções cartográficas pré-existente. [Netto e Ribeiro, 2007]

De seguida, é apresentado um comparativo elucidativo, da precisão na transformação de coordenadas de Vértices Geodésicos, quando usado o método de Molodensky, Bursa-Wolf e pelas grelhas NTv2, tendo como fonte de comparação os Vértices Geodésicos observados por GPS em ETRS89. Para estas transformações foram utilizados os diversos softwares atrás descritos.

1.2 Resultados e considerações acerca da comparação entre softwares e métodos diferentes na transformação de coordenadas

Para esta comparação foram utilizados os vértices geodésicos de 1ª e 2ª ordem, servindo como fonte de referência as coordenadas em ETRS89-PTTM06 adquiridas por GPS. Foi utilizado o método das grelhas NTv2, de Molodensky e de Bursa-Wolf, a fim de se poder analisar e aferir qual o método mais preciso.

Após terem sido feitas as transformações de coordenadas pelos diversos métodos, foi feita uma pré-análise dos resultados, onde foram eliminados dos cálculos 11 vértices geodésicos do total de 958, devido ao facto de não haver dados acerca das suas coordenadas, ou por apresentarem erros grosseiros no resultado final, havendo um desfasamento muito elevado nos valores face aos restantes. Essa disparidade poderá dever-se a movimentações de terras que terão originado a uma deslocação do vértice geodésico e, subsequentemente, uma posição errónea.

Para uma melhor percepção da distribuição espacial dos erros, foram gerados mapas de intensidade, direcção e sentido dos mesmos.

No caso dos mapas que se apresentam do lado esquerdo (figura 1.4 a figura 1.9), estão representadas, através do uso dos 947 Vértices Geodésicos, as intensidades dos erros ao longo de Portugal Continental.

Do lado direito estão representadas vectorialmente as distâncias espaciais resultantes da diferença da transformação de coordenadas, por diferentes métodos, de alguns Vértices Geodésicos para ETRS89, escolhidos entre os 947, tendo como comparação os Vértices Geodésicos da Rede Nacional Geodésica observados por GPS em ETRS89, de forma a ser perceptível o seu comportamento ao longo do país.

A escala dos mapas relativos à transformação pelo método das grelhas NTv2 é diferente das dos outros métodos, pois caso fosse igual seria impossível diferenciar qualquer tipo de resultados.

As intensidades dos erros foram realizadas pelo processo IDW (Inverse Distance Weighted), sendo este um processo de interpolação que estima o valor da célula pela média dos pontos mais próximos.

Quanto mais próximo estiverem esses pontos, maior influência terá no valor final. Este método foi considerado o mais indicado, pois a distribuição dos vértices geodésicos não tem muitas irregularidades.

Devido ao facto de o Erro Médio Quadrático ser um indicador de precisão e de ser calculado em função das diferenças entre as coordenadas conhecidas e transformadas é apresentado nas tabelas seguintes assim como os valores máximos e mínimos e a sua média alcançados pelos diferentes métodos de transformação.

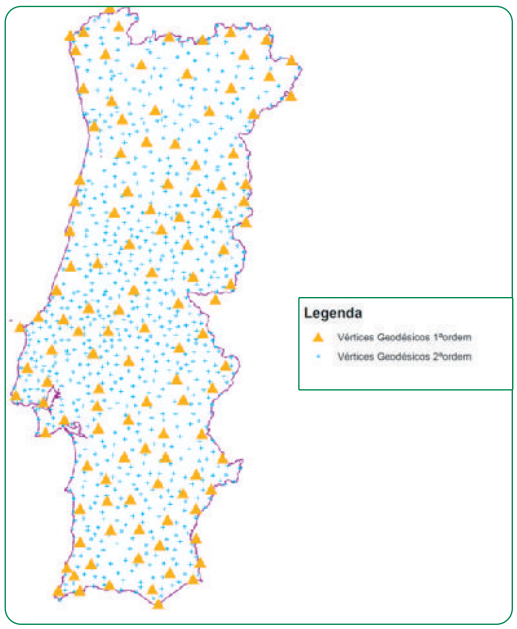

Figura 1.3- *Vértices Geodésicos de 1ª e 2ª ordem da rede nacional geodésica*

1.2.1 Molodensky

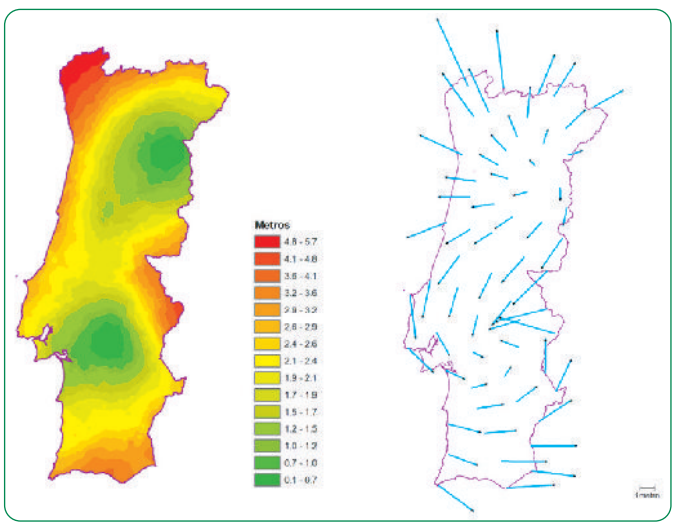

Figura 1.4- *Intensidade (Esq.) e vectores do erro (Dir.) pelo método Molodensky de Datum Lisboa para Datum Etrs89*

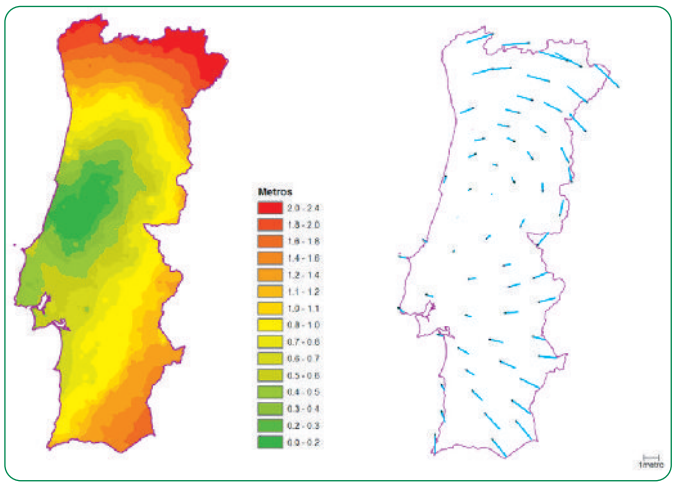

Figura 1.5- *Intensidade (Esq.) e vectores do erro (Dir.) pelo método de Molodensky de Datum 73 para Datum Etrs89*

	Datum Lisboa => Datum Etrs89		Datum 73 => Datum Etrs89	
	Erro M (metros)	Erro P (metros)	Erro M (metros)	Erro P (metros)
Mínimo	-3.881	-5.132	-2.128	-1.402
Máximo	4.471	3.024	1.448	1.855
Média	0.187	0.234	0.067	0.005
Desvio Padrão	1.710	1.607	0.852	0.572
Módulo D. Padrão	2.346		1.026	

Tabela 1.2- *Erros em M e P pelo método de Molodensky*

1.2.2 Bursa-Wolf

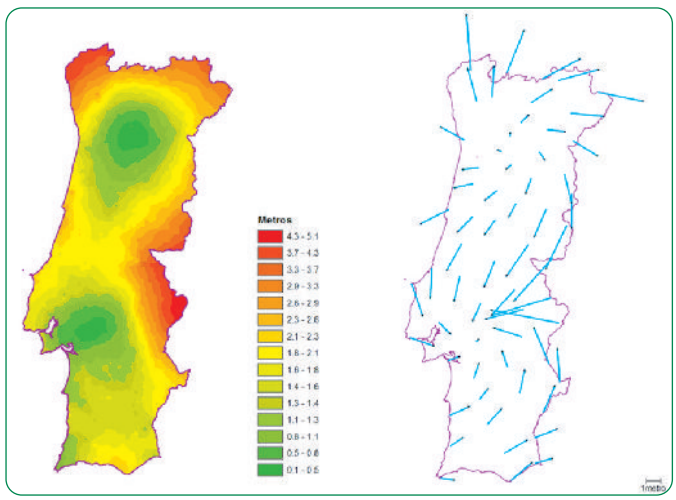

Figura 1.6- *Intensidade (Esq.) e vectores do erro (Dir.) pelo método de Bursa-Wolf de Datum Lisboa para Datum Etrs89*

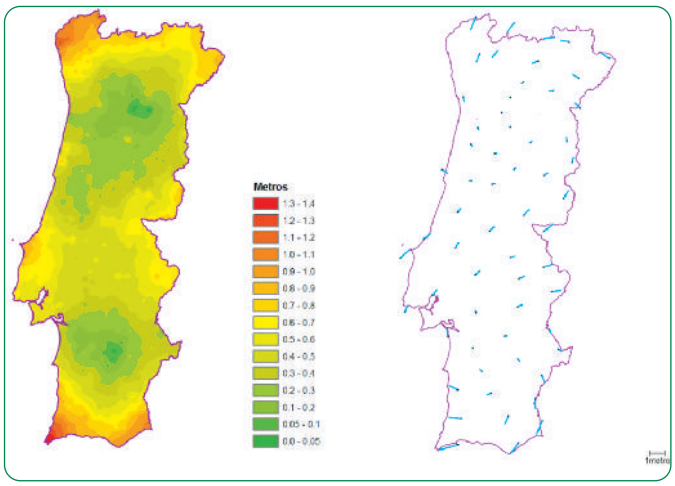

Figura 1.7 - Intensidade (Esq.) e vectores do erro (Dir.) pelo método de Bursa-Wolf de Datum 73 para Datum Etrs89

	Datum Lisboa => Datum Etrs89		Datum 73 => Datum Etrs89	
	Erro M (metros)	Erro P (metros)	Erro M (metros)	Erro P (metros)
Mínimo	-3.602	-4.153	-1.418	-1.195
Máximo	5.101	3.307	0.776	0.717
Média	0.164	0.263	0.068	0.067
Desvio Padrão	1.401	1.484	0.381	0.361
Módulo D. Padrão	2.041		0.525	

Tabela 1.3- Erros em M e P pelo método de Bursa-Wolf

1.2.3 Grelhas NTv2

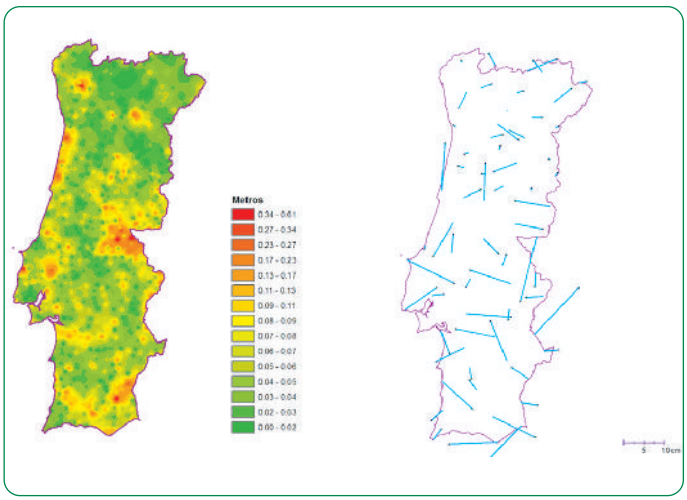

Figura 1.8- Intensidade (Esq.) e vectores do erro (Dir.) pelo método de Grelhas NTv2de Datum Lisboa para Datum Etrs89

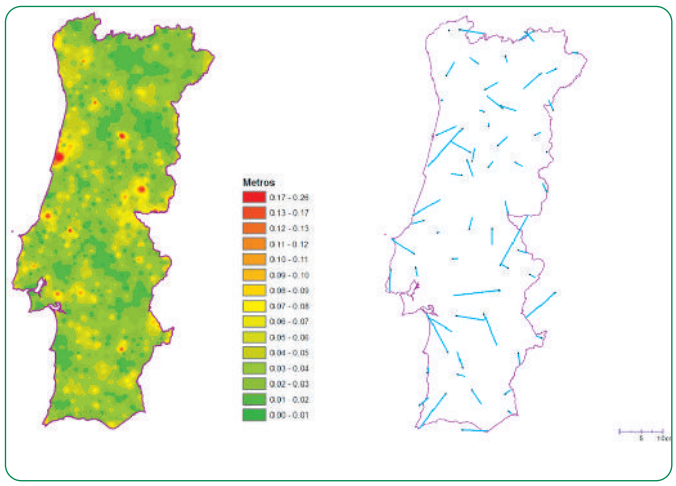

Figura 1.9 - Intensidade (Esq.) e vectores do erro (Dir.) pelo método de Grelhas NTv2 de Datum 73 para Datum Etrs89

Grelhas NTv2 ArcGIS, Gvsig e QGis

	Datum Lisboa => Datum Etrs89		Datum 73 => Datum Etrs89	
	Erro M (metros)	Erro P (metros)	Erro M (metros)	Erro P (metros)
Mínimo	-0.434	-0.588	-0.168	-0.149
Máximo	0.347	0.285	0.256	0.174
Média	-0.008	0.001	0.004	0.001
Desvio Padrão	0.057	0.057	0.032	0.030
Módulo D. Padrão	0.080		0.045	

Tabela 1.4- Erros em M e P pelo método das grelhas NTv2 – ArcGIS, GvSIG e QGis

Grelhas NTv2 Manifold

	Datum Lisboa => Datum Etrs89		Datum 73 => Datum Etrs89	
	Erro M (metros)	Erro P (metros)	Erro M (metros)	Erro P (metros)
Mínimo	-0.730	-0.609	-0.491	-0.158
Máximo	0.817	0.332	0.462	0.182
Média	-0.034	0.000	-0.024	0.001
Desvio Padrão	0.186	0.079	0.150	0.042
Módulo D. Padrão	0.202		0.155	

Tabela 1.5- Erros em M e P pelo método das grelhas NTv2 – Manifold

A análise dos mapas revela notória e esclarecedora diferença da precisão entre os diversos métodos na transformação de coordenadas, sendo o método das grelhas NTv2 o que apresenta melhores resultados, independentemente da transformação de datum realizada ou do software utilizado.

Como se pode observar, o comportamento dos erros ao longo de Portugal Continental não segue uma tendência sistemática em toda a sua extensão, havendo também zonas onde o erro é mais homogéneo, especialmente no caso do método das grelhas NTv2. No método de Molodensky como de Bursa-Wolf, estão evidenciados núcleos, a verde, onde os valores dos erros são menores e, à medida que se afasta dos núcleos, o erro aumenta progressivamente até ao nível máximo registado, a vermelho. Quanto à direcção dos erros, é evidenciada a formação semelhante à de um vórtice, que tem como centro os núcleos a verde, onde o seu comportamento é mais constante e se verifica uma maior coerência na sua distribuição, quando usado a transformação de Datum 73 para ETRS89 ao invés do Datum Lisboa, apresentando também uma menor amplitude nos erros.

Relativamente ao uso do método das grelhas NTv2 face aos métodos convencionais, os valores registados são muito mais precisos, não existindo um comportamento semelhante quanto à formação de núcleos, nem uma tendência sistemática quanto à direcção e sentido dos erros. Este fenómeno poderá dever-se ao facto de os parâmetros de Molodensky e Bursa-Wolf serem usados para todo o território nacional enquanto que, no caso das grelhas, o ajustamento é diferente de zona para zona, dependendo das diferenças de longitude e latitude, o que origina valores maiores nos erros. O uso das grelhas resulta numa dispersão homogénea dos erros e de baixa amplitude, sendo escassas as zonas onde há picos de erros mais acentuados.

O comportamento do uso das grelhas pelo software GvSIG é em tudo semelhante ao do ArcGis, havendo apenas diferenças a partir da 6ª casa decimal relativamente à unidade de medida do metro. Em relação ao software Manifold, os valores obtidos são piores que os calculados pelos outros dois softwares, mas, mesmo assim, bastantes mais precisos que pelos métodos de 3 e 7 parâmetros. Esta diferença na precisão do método das grelhas aplicado a diferentes softwares poderá, porventura, dever-se ao facto de o Manifold usar variáveis de precisão simples (Float) enquanto nos outros são utilizadas variáveis de precisão dupla (Double) no cálculo das coordenadas.

Independentemente do método utilizado, o Datum 73 apresenta resultados melhores do que o Datum Lisboa, já que o sistema de referenciação é mais consistente e também pelo facto de o Datum Lisboa ser um sistema mais antigo, onde a rede geodésica de 1ª ordem foi estabelecida por triangulações geodésicas, ao passo que, relativamente ao Datum 73, foi feito um ajustamento global para a rede geodésica para se obter as coordenadas dos vértices de 1ª ordem [Vasconcelos et al].

Na figura seguinte é feita uma representação dos erros médios quadráticos obtidos 3 métodos utilizados na conversão de coordenadas.

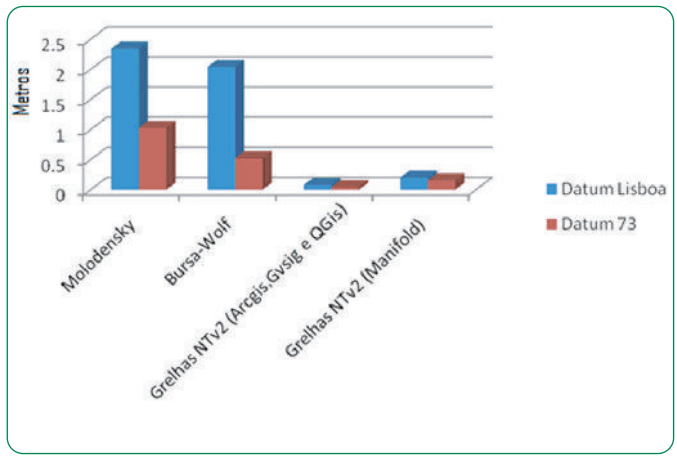

Figura 1.10- *Erros Médios Quadráticos para os diferentes métodos de transformação de Data*

Mais uma vez, é bem elucidativa a diferença de valores apresentados pelos diferentes métodos. No caso do método de Molodensky e Bursa-Wolf, os erros médios quadráticos são da ordem dos 2 metros para o uso do Datum Lisboa para ETRS89 e entre 0.5 e 1 metros, no caso do Datum 73.

Se forem usadas as grelhas NTv2, estes valores caem consideravelmente para valores na ordem dos 15 a 20 centímetros, no caso do Manifold, e para valores de 4 a 8 centímetros para o Datum 73 e Datum Lisboa, respectivamente, se for usado o software ArcGis e GvSIG.

A metodologia das grelhas NTv2 apresenta-se como um método de elevada precisão, dando origem a resultados muito melhores face aos métodos de Molodensky e Bursa-Wolf, ficando a dever-se à possibilidade de se ajustar localmente, o que permite assim uma melhor modelação da rede geodésica em Portugal.

É de todo aconselhável o seu uso e a sua implementação nos softwares SIG, de forma a obter resultados de elevada precisão, especialmente quando o trabalho o exige, como é o exemplo de trabalhos de grande escala, em zonas urbanas ou na criação de redes de apoio ligada à rede geodésica.

É essencial que, no futuro, os softwares SIG tenham já implementados de raiz estas grelhas NTv2, como já acontece no caso da Espanha, Canadá e outros países, para que seja possível usá-las com maior facilidade e uniformizar o tipo de método usado para transfor-mação de coordenadas, permitindo assim dissipar uma série de dúvidas que surgem em torno desta matéria, pois não está dependente nem da introdução de parâmetros nem de convenções como Position Vector Transformation e Coordinate Frame Rotation, sendo de fácil aplicabilidade por parte dos utilizadores de informação geográfica.

2. Referências Bibliográficas

2.1 Documentos impressos

GONÇALVES, José A. - Conversões de coordenadas com o programa PROJ: método de conversão com grelhas. Porto: FCUP, 2008. 9 f.

GONÇALVES, José A. Conversões de sistemas de coordenadas nacionais para ETRS89 utilizando grelhas. In Actas da Conferência Nacional de Cartografia e Geodesia. S.l.: CNCG, 2009 (in press).

LOPES, José Transformação de coordenadas entre sistemas geodésicos. In Boletim do Instituto Geográfico do Exército. Lisboa: IGeoE. Nº 63 (Novembro de 2001). ISSN 0872-7600.

NETTO, Sérgio Orlando Antoun; RIBEIRO, João Araújo - Emprego da biblioteca PROJ.4 nos sistemas de informação geográfica . Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis: INPE (2007). p. 2915-2921.

SFERLAZZA, Ernesto; Bellini, Epifanio Conversione di coordinate com grigliati NTv2: un'applicazione per il territorio siciliano. Itália: SITR, 200-?. 10 f.

VASCONCELOS, Manuela; BOTELHO, Henrique Implementação do ETRS89 em Portugal Continental Projecção visual. Ministério do ambiente, do ordenamento do território e do desenvolvimento regional. Lisboa: Instituto Geográfico Português, 200-?. 16 diapositivos: color.

VASCONCELOS, Manuela; PATRÍCIO, Paulo - Co-ordinate Transformation in Portugal Mainland: a brief study. Ponta Delgada: EUREF Symposium, 2002.

2.2 Documentos Electrónicos

GONÇALVES, José A. - Conversão de coordenadas cartográficas e geográficas usando grelhas de transformação de datum Em linha. Porto: FCUP, 2009. Consult. 15 Set. 2011. Disponível em WWW: <URL: http://www.fc.up.pt/pessoas/jagoncal/coordenadas/>

GRASS, Paul - Creation of NTv2 grid file for french NTF: RGF93 datum conversions Em linha. Londres: stjohnspoint, actual. Jul. 2008. Consult. 6 Jun. 2011. Disponível em WWW: <URL: http://www.stjohnspoint.co.uk/gis/france.htm>

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF OIL & GAS PRODUCERS - Coordinate reference system [Em linha]. V.6-17. [Londres]: EPSG, actual. 2 de Fevereiro de 2009. Consult. 9 Out. 2011]. Versão portuguesa. Disponível em WWW:
<URLhttp://spreadsheets.google.com/pub?key=pqto3s91EMthHVKvbNX7MVQ&output=html>

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF OIL & GAS PRODUCERS - Geomatics: guidance note number 7, part 1 Em linha. S.l.: OGP, 2011. Consult. 8 Dez. 2011. Disponível em WWW: <URL: http://www.epsg.org/guides/docs/G7-1.pdf>

MADEIRA, Luís Carlos Uma espécie de bloco de notas... Em linha. Portugal: Node-ThirtyThree, cop. 2010, actual.8 de Janeiro 2010. Consult. 9 Out. 2011. Disponível em WWW: <URL: http://luiscarlosmadeira.blogs.sapo.pt/23964.html>