



Manuela Vasconcelos
(mvasconcelos@dgterritorio.pt)

Lisboa, 25 de Maio de 2017

Sistema de Referência Vertical

Um Sistema de Referência Vertical é definido por:

- um *datum* vertical
- um sistema de altitudes

Datum:

Normalmente relacionado com o nível médio do mar

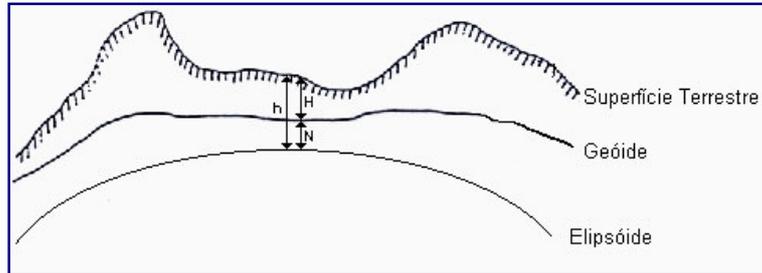
Altitudes:

Ortométricas

Normais



Altitudes



$$H = h - N$$

H = Altitude Ortométrica (Nivelamento)

h = Altitude Elipsoidal (GNSS)

N = Ondulação do Geóide (Gravimetria)

Geóide

Carl Friedrich Gauss (1777-1855):

a superfície equipotencial do campo gravítico da Terra
coincidente com o nível médio dos oceanos

Esta definição considera as águas dos oceanos como estando em repouso, movendo-se de forma homogénea, apenas sujeitas à força da gravidade e não variando no tempo.



Geóide

GGM01 – GRACE Gravity Model 01

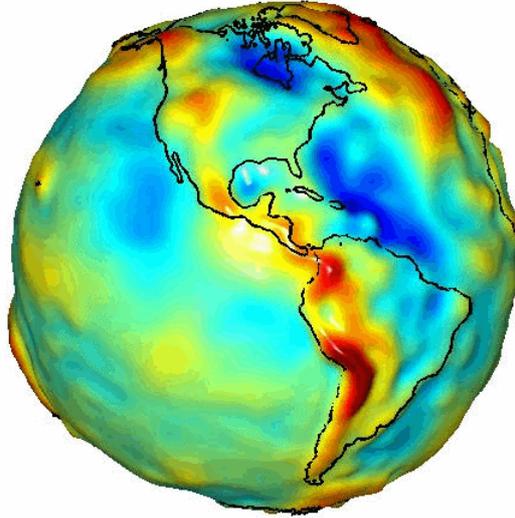
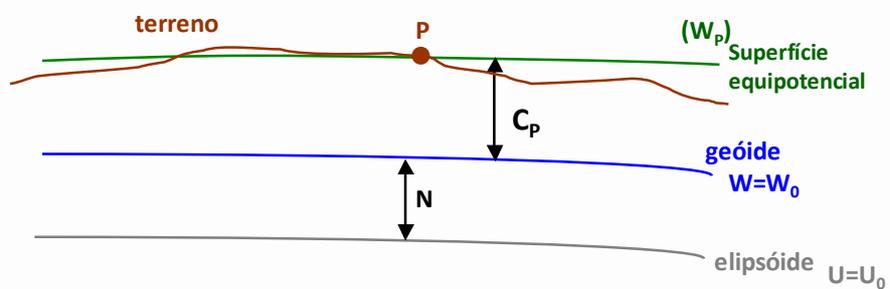


Imagem: University of Texas Center for Space Research and NASA

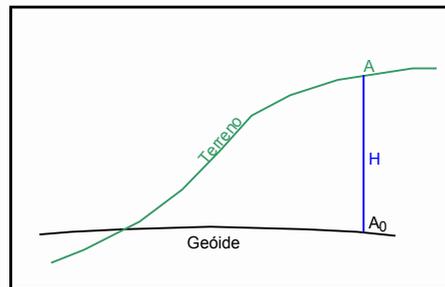
Altitudes

As altitudes são diferenças de potencial entre o geóide e a superfície equipotencial que passa pelo ponto, expressas em números geopotenciais:

$$C_p = W_0 - W_p \quad [m^2 s^{-2}]$$



Sistemas de Altitude



- **Altitude Ortométrica:** comprimento H do segmento da linha de força do campo gravítico que passa pelo ponto A, medido desde o geóide (A_0) até A.

$$H_p = \frac{C_p}{g_m}$$

g_m : valor médio da gravidade ao longo da linha de força entre o ponto e o geóide

Sistemas de Altitude

- **Altitude Normal:**

$$H^N_p = \frac{C_p}{\gamma_m}$$

γ_m : valor médio da gravidade normal ao longo da normal ao elipsóide

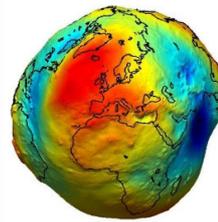
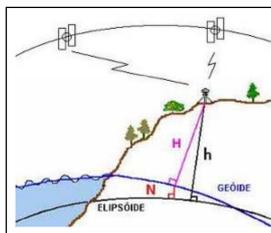
De modo a evitar a utilização de modelos sobre a distribuição das massas topográficas

Métodos para a Determinação de Altitudes

- Nivelamento geométrico + gravimetria

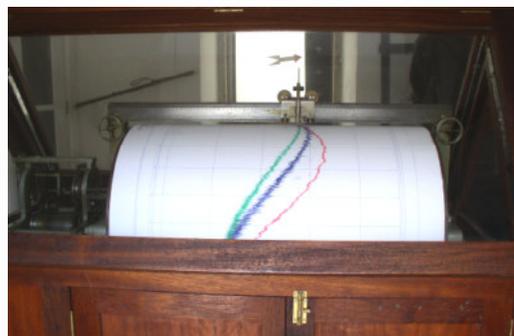


- GNSS + Modelo de geóide



Data Altimétricos definidos a partir de Marégrafos

- Normalmente o *datum* é definido com base em apenas um marégrafo
- Uma época, média para um período, ...
- Baixa-mar, nível médio, ...



Data Altimétricos de Portugal – Continente

Datum: Cascais 1938



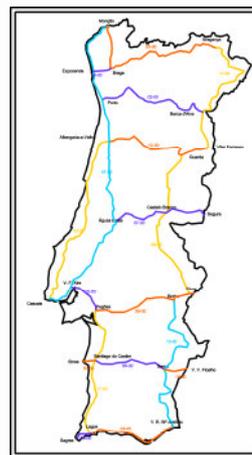
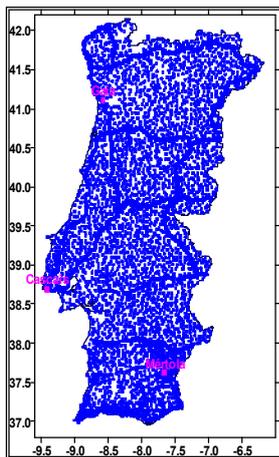
Rede Gravimétrica:
mais de 6500 estações
relativas

Rede de Nivelamento:
4000 km, 4500 marcas
sem época

Ajustamento:
em números geopotenciais

Altitudes:
Ortométricas (Helmert)

$$H'_P = \frac{C_P}{g_P + 4.2 \times 10^{-8} \times h}$$



Data Altimétricos de Portugal – R.A. Açores

Grupo	Ilhas	DATUM		
		Nome	Método para o seu estabelecimento	Ano
Oriental	Ilhéus das Formigas	<i>Cais da Vila do Porto</i>	Escala de Marés.	1965
	Santa Maria			
	S. Miguel	<i>Ponta Delgada</i>	Marégrafo.	1991
Central	Faial	<i>Horta</i>	Marégrafo situado no cais do molhe do porto artificial da Horta.	1935
	Graciosa	<i>Santa Cruz da Graciosa</i>	Escala de marés instalada no Cais da Barra em Sta Cruz da Graciosa.	1938
	Pico	<i>Cais da Madalena</i>	Escala de marés instalada no Cais da Madalena.	1937
	S. Jorge	<i>Cais das Velas</i>	Escala de marés instalada no canto Norte do Cais das Velas.	1937
	Terceira	<i>Cais da Figueirinha</i>	Marégrafo situado no cais da Figueirinha em Angra do Heroísmo.	1951
Ocidental	Corvo			
	Flores	<i>Santa Cruz das Flores</i>	Escala de marés instalada junto ao marégrafo.	1965

Rede de Nivelamento: Praticamente inexistente Rede Gravimétrica: Dispersa

Altitudes:
Resultantes de nivelamento trigonométrico

Data Altimétricos de Portugal – R.A. Madeira

Ilhas	DATUM		
	Nome	Método para o seu estabelecimento	Ano
Ilhas Desertas	<i>Cais da Pontinha</i>	Escala de marés instalada no Cais da Pontinha, no Funchal.	1913
Porto Santo	<i>Cais da Vila</i>	Escala de marés instalada junto a um pilar da Ponte, no Cais da Vila, em Porto Santo.	1936

Rede de Nivelamento: Praticamente inexistente

Rede Gravimétrica: Dispersa

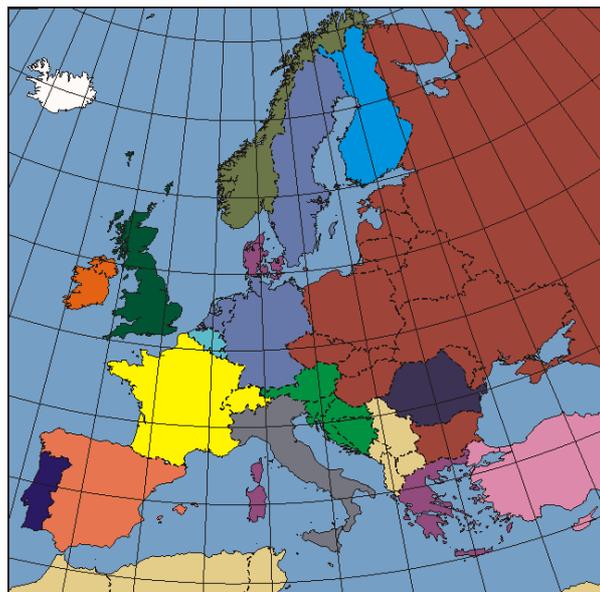
Altitudes:

Resultantes de nivelamento trigonométrico



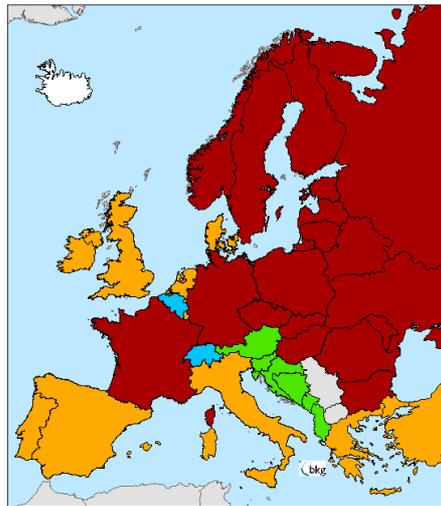
Europa – Marégrafos de Referência

- Alicante
- Amsterdã
- Antalya
- Cascais
- Constanta
- Genova
- Helsinki
- Kronstadt
- Malln Head
- Marseille
- Newlyn
- Ostende
- Tregde
- Trieste
- no information
- other



[EVRS]

Europa – Tipos de Altitudes



Kind of heights

no information	orthometric heights
pure leveled heights	normal-orthometric heights
normal heights	no leveling network

[EVRS]

Europa – Início dos Trabalhos de Unificação



- 1864 (1.^a Conferência Geodésica Internacional em Berlim): comparação do nível do mar na Europa através de nivelamento e estabelecimento de um ponto de origem do datum
- 1890 (após 25 anos de nivelamentos)
 - Comparação dos níveis do mar através de ajustamento de 48 circuitos de nivelamento e de registos de marégrafos
 - Erros do nivelamento: $\sim 4\text{-}5\text{mm} / \text{km}$
 - Não houve acordo relativamente à escolha do ponto para fixação do datum

[Sacher and Liebsch, 2015]

Europa – Evolução dos Trabalhos de Unificação



- 1948: Kukkamäki sugere que as redes de nivelamento dos vários países sejam ligadas
- 1954: Resolução da IUGG em Roma:
 - Estabelecimento de uma Comissão para a unificação da rede europeia de nivelamento – UELN (United European Leveling Network)
 - rede não homogénea
 - ajustamento de diferenças geopotenciais
- 1963: Relatório final

[Sacher and Liebsch, 2015]

Rede UELN 1955

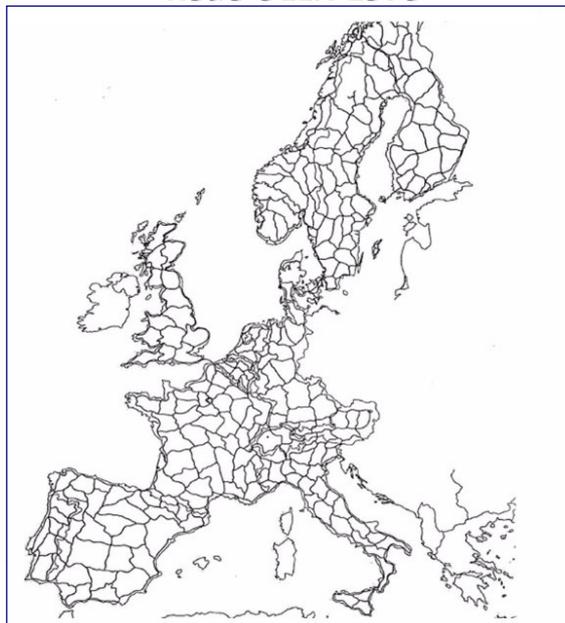


[Rizos, 2015]

Europa – Evolução dos Trabalhos de Unificação

- 1971: Assembleia da IUGG em Moscovo – reactivação da subcomissão UELN da IAG
- Cálculos realizados em 1973 e 1986 por dois centros
- Ajustamento das redes de nivelamento dos países participantes
- *Datum*: NAP (*Normaal Amsterdams Peil*)
- Ajustamento em Números Geopotenciais
- Único ponto fixo: NAP
- **Resultados**: altitudes geopotenciais dos nodos da rede

Rede UELN 1973



[Rizos, 2015]

EUREF - Década de 1990

- Em 1995 foi tomada a decisão de realizar um **EVRS** (*European Vertical Reference System*) de modo a criar um sistema integrado que combinasse num único conjunto de dados:
 - Coordenadas 3D (GPS)
 - Altitudes
 - Variações do nível do mar
- Objectivo: unificação do sistema altimétrico europeu com uma precisão decimétrica
- Na década de 1990 foram desenvolvidos dois grandes projectos:
 - UELN-95 (*United European Levelling Network*)
 - EUVN (*European Vertical Reference Network*)

UENL 95

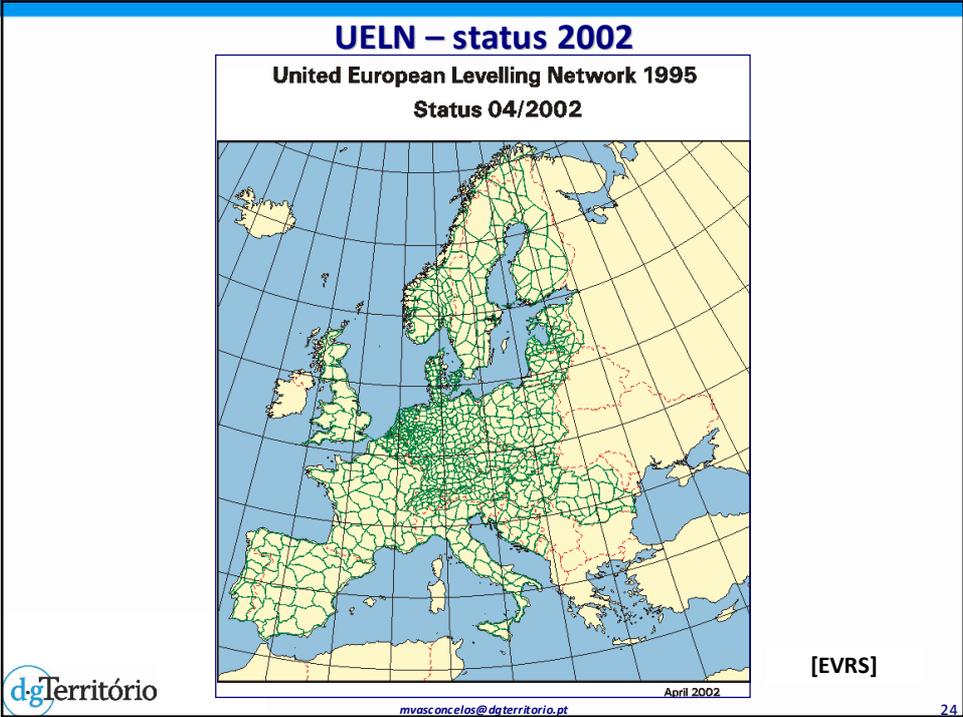
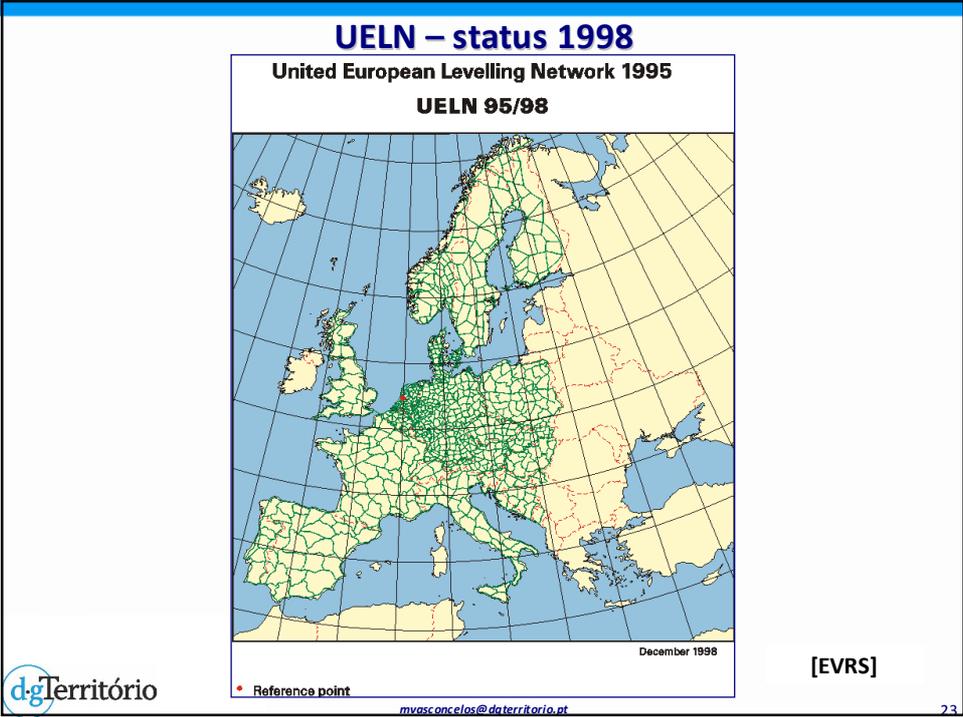
- Repetição dos Ajustamentos realizados em 1973 e 1986
- Ajustamento das redes de nivelamento dos países participantes
- *Datum*: NAP
- Ajustamento em Números Geopotenciais
- Único ponto fixo: NAP
- **Resultados**: altitudes geopotenciais dos nodos da rede



Fig. 1
Nieuwe Bruggen vóór 1930. Marmeren steen met „zeewijshout, etc.” uit 1882 nog op de oorspronkelijke plaats. Bij de verbouwing omstreeks 1935 werd deze steen verplaatst. (Historisch Topografische Atlas, Gemeentelijk Archiefdienst, Amsterdam)



Fig. 2
Detail van Fig. 1 (Historisch Topografische Atlas, Gemeentelijk Archiefdienst, Amsterdam)



EUVN – European Vertical Reference Network

- Em 1997 foi realizada uma campanha GPS (EUVN97) com o objectivo de produzir coordenadas tridimensionais em ETRS89 para um conjunto de pontos onde existissem também números geopotenciais.
- Foram utilizados três tipos de observações:
 - GPS
 - nivelamento geométrico entre as estações EUVN e os pontos nodais da UELN
 - Nível do mar
- A EUVN consiste em mais de 190 pontos
- A solução final da campanha GPS foi constrangida às coordenadas ITRF96 (época 1997.4) de 37 estações com um desvio-padrão *a priori* de 0.01mm. De seguida estas coordenadas foram transformadas para ETRS89



EUVN



- ▲ EUREF sites
- ▲ GPS permanent stations - EUREF
- △ GPS permanent stations
- UELN & UPLN nodal points
- ⊙ GPS permanent stations - nodal points
- ◆ Tide gauge sites
- ⊙ GPS permanent stations - tide gauge
- UELN lines

[EVRS]

EVRS (European Vertical Reference System)



Symposia - Resolutions

Tromsø, 22 - 24 June 2000

Resolution No. 5

The IAG Subcommittee for Europe (EUREF)

noting the recommendation of the spatial referencing workshop, in Marne-la-Vallée 27 – 30 November 1999, to the European Commission to adopt the results of the EUVN/UELN projects for Europe wide vertical referencing,

decides to define an European Vertical Reference System (EVRS) characterised by:

- the datum of 'Normaal Amsterdams Peil' (NAP),
- gravity potential differences with respect to NAP or equivalent normal heights,

endorses UELN95/98 and EUVN as realisations of EVRS using the name EVRF2000,

asks the EUREF Technical Working Group to finalise the definition and initial realisation of the EVRS and to make available a document describing the system.

EVRS – Definição do Sistema

O EVRS é um sistema de referência altimétrico-gravimétrico definido pelas seguintes convenções:

- a) O *datum* vertical é o nível zero para o qual o potencial do campo gravítico da Terra (W_0) é igual ao potencial normal do elipsóide médio da Terra (U_0): $W_0 = U_0$.
- b) As componentes altimétricas são as diferenças ΔW_p , entre o potencial do campo gravítico da Terra nos pontos P considerados (W_p) e o potencial do nível zero do EVRS (W_0). As diferenças de potencial $-\Delta W_p$ são também designadas por números geopotenciais C_p :
 $-\Delta W_p = C_p = W_0 - W_p$
- c) O EVRS é um sistema de maré zero, de acordo com as Resoluções da IAG.

Nas alíneas a) e b) o potencial da Terra inclui o potencial devido à deformação de maré permanente, mas exclui o próprio potencial de maré permanente.

EVRF2000

O EVRF2000 é a realização do EVRS

As características fundamentais do EVRF2000 são:

- O *datum* foi realizado pelo nível zero do NAP, assumindo-se $C_{\text{NAP}} = 0$
- É usado o GRS80 para os parâmetros e constantes relacionadas
- Em consequência, tem-se que o potencial gravítico da Terra no NAP é estabelecido como igual ao potencial normal do GRS80: $W_{\text{NAP}} = U_{0 \text{ GRS80}}$
- O *datum* do EVRF2000 é fixo pela altitude geopotencial e a equivalente altitude normal do ponto referência da UELN, NAP (Nº 000A2530/13600)

EVRS – Definição Actual

The European Vertical Reference System (EVRS) is a kinematical height reference system. The EVRS definitions fulfil the following four conventions:

- (1) The vertical datum is defined as the equipotential surface for which the Earth gravity field potential is constant:

$$W_0 = W_{0E} = \text{const.}$$

and which is in the level of the Normaal Amsterdams Peil.

- (2) The unit of length of the EVRS is the meter (SI). The unit of time is second (SI). This scale is consistent with the TCG time coordinate for a geocentric local frame, in agreement with International Astronomical Union (IAU) and International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG) resolutions (1991). This is obtained by appropriate relativistic modelling.

- (3) The height components are the differences between the potential ΔW_P of the Earth gravity field through the considered points P , and the potential W_P of the EVRS conventional zero level. The potential difference $-\Delta W_P$ is also designated as the geopotential number c_P

$$-\Delta W_P = c_P = W_{0E} - W_P$$

Normal heights are equivalent with geopotential numbers, provided that the reference gravity field is specified.

- (4) The EVRS is a zero tidal system, in agreement with the IAG Resolutions No. 9 and 16 adopted in Hamburg in 1983 - Appendix 2.

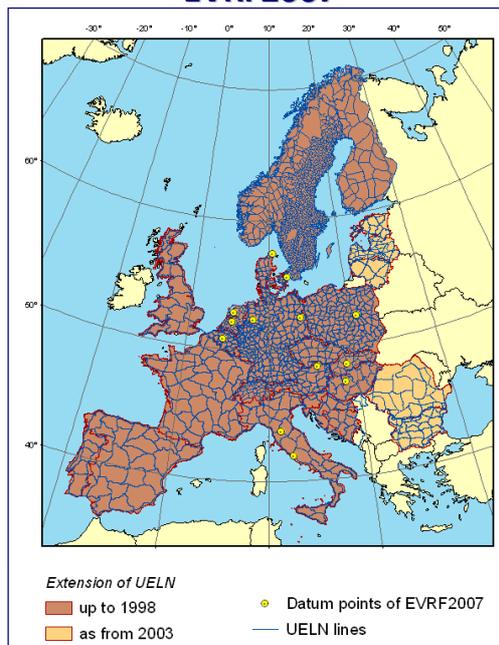
EVRF2007

O EVRF2007 é a última realização do EVRS

System	EVRS(2000)	EVRS2007
description	Gravity related height reference system	+kinematical
datum	$W_0=U_0$	$W_0=W_{0E}=\text{const.}$, level NAP
scale	SI- meter, second	SI – meter, second, TCG time
Kind of heights	Geopotential numbers: $-\Delta W_p = c_p = W_{0E} - W_p$ normal heights equivalent (specification of reference gravity field provided)	
Tidal system	Zero tide	
Realization	EVRF2000	EVRF2007
datum	1 point: 000A2530 in the Netherlands with the same geop. number as in UELN-73/86	13 datum points with their geopotential numbers of UELN-95/98
scale	rod scale and temperature correction, in the authority of the particular countries	
reference gravity field	normal gravity field of GRS80	
adjustment	free	
network	UELN-95/98+ EE, LV, LT, RO (status 2000)	UELN status 2007
tidal system	No reductions applied: mean tide	Zero tide
Reduction to a common epoch	FI, NO, SE reduced to 1960	FI, NO, SE, DK, PL, EE, LT, LV, parts of DE, PL reduced to 2000

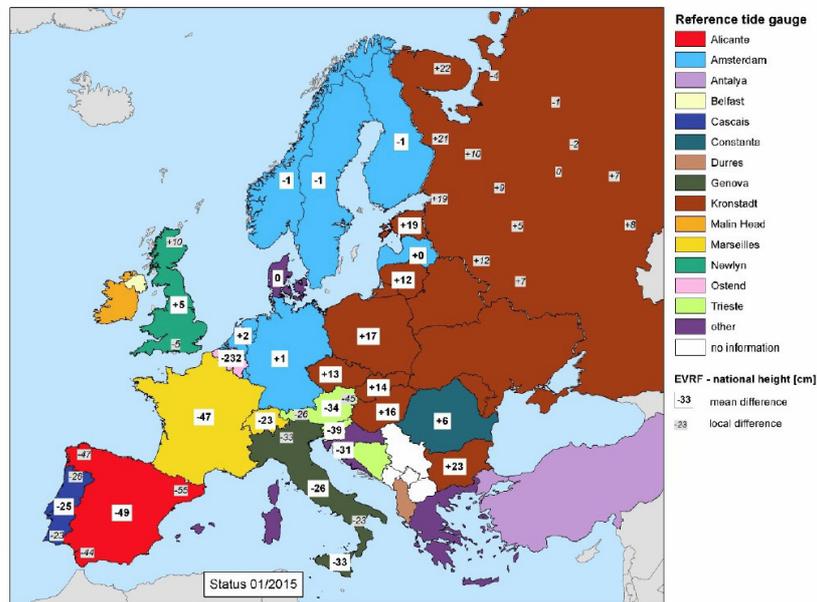
[Sacher and Liebsch, 2015]

EVRF2007



[EVRS]

Parâmetros de Transformação



Parâmetros de Transformação

Operation method
formula

$$H(II) = H(I) + a1 + a2 \cdot Mo \cdot (LAT - LATo) + a3 \cdot No \cdot (LON - LONo) \cdot \cos(LAT)$$

H(I): height in the source system [m]

H(II): height in the target system [m]

Mo: radius of curvature in the meridian of GRS80 [m] in Po

No: radius of curvature perpendicular to the meridian of GRS80 [m] in Po

LAT: latitude in ETRS89 [radian]

LON: longitude in ETRS89 [radian]

Po(LATo, LONo): Reference point of the transformation

a1...vertical translation [m]

a2...slope in the direction of the meridian [radian]

a3...slope in the direction perpendicular to the meridian [radian]

Parâmetros de Transformação

Description of the Transformation

Operation_ID	PT_CASC / OH to EVRF2007	Operation_Valid_Area	Portugal
Source_Coordinate_Reference_System_ID	PT_CASC / OH	Operation_Scope:	applicable for points up to a maximum height of about 1000 m
Target_Coordinate_Reference_System_ID	EVRF2007_AMST / NH	Operation_Method_Remarks:	coordinates of the reference point Po: Lat = 39°47' N Lon = 8°13' W
Quality:	Transformation parameters were derived from 16 identical points (UELN nodal points), RMS = 0.012 m, residual deviation between -0.036 m and +0.012 m. Transformation quality is impaired by the difference between orthometric heights (national system) and normal heights (EVRF2007).		
Operation Parameters :			
vertical translation	-0.250 m		
slope in the direction of the meridian (positive when up northwards)	-0.015"	Equivalent to -0.007 m height change at a distance of 100 km of Po. To be in agreement with formulas the slope parameter has to be converted to Radians.	
slope in the direction perpendicular to the meridian (positive when up eastwards)	-0.012"	Equivalent to -0.006 m height change at a distance of 100 km of Po. To be in agreement with formulas the slope parameter has to be converted to Radians.	

