

Determinação do Geóide

1. Determinação gravimétrica do geóide

- O modelo gravimétrico do geóide é determinado unicamente com recurso a observações gravimétricas – anomalias da gravidade;
- O método integral de Stokes é o método mais comum para modelos regionais ou locais, que recorre à integração numérica directa ou à Transformada Rápida de Fourier – FFT;
- Os dados de anomalias da gravidade devem ser reduzidos, de alguma forma, dos efeitos topográficos – anomalias reduzidas;
- Os valores de anomalias devem interpolados na forma de grelha regular, com espaçamentos fixo em latitude - $\Delta\phi$ e em longitude - $\Delta\lambda$;
- Para modelação local, deve serem também removida a componente regional do campo gravítico, através de modelos globais (ex.: EGM96);
- Após a sua determinação pelo Integral de Stokes, devem ser repostos todos os efeitos removidos – efeito indirecto e modelo geopotencial.

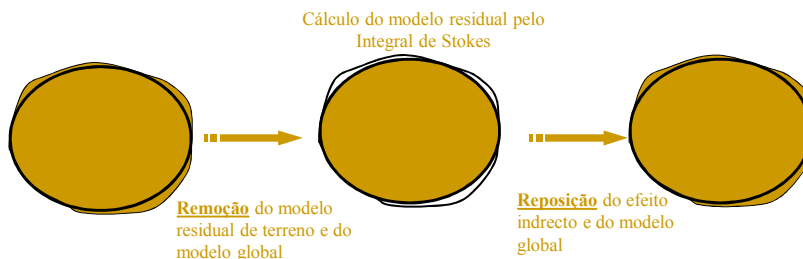
Geodesia & Aplicações - Aula 13

FCUL-EG

Determinação do Geóide

1.1 Técnica da remoção-reposição

- São removidos os efeitos de atracção gravitacional do modelo geopotencial global e residual do terreno a retirar dos valores observados de anomalias, e posteriormente, repostos sobre a forma de ondulações (efeito indirecto);
- É usada a chamada “**Técnica de Remoção - Reposição**”.



Geodesia & Aplicações - Aula 13

FCUL-EG

Determinação do Geóide

1.1 Técnica da remoção-reposição

- Esta técnica é usada, não na forma convencional, mas na forma de otimização da determinação rigorosa dos pequenos comprimentos de onda (componente residual).

REMOÇÃO $\Rightarrow \Delta g_{\text{res}} = \Delta g_{\text{obs}} - \Delta g_{\text{EGM96}} - \Delta g_{\text{RTM}}$

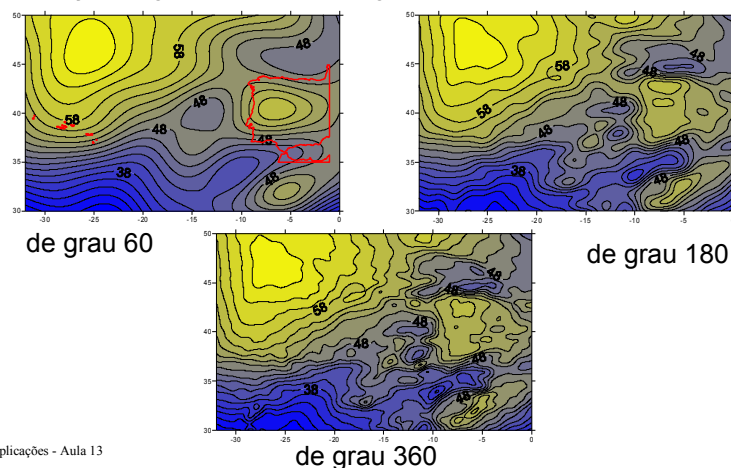
STOKES $\Rightarrow N_{\text{res}} = \frac{S_0}{\gamma} \Delta g(\varphi_1, \lambda_k) + \frac{R}{4\pi\gamma} \iint_{\sigma} \Delta g S(\psi) d\sigma$

REPOSIÇÃO $\Rightarrow N = N_{\text{res}} + N_{\text{EGM96}} + \delta N$

Determinação do Geóide

1.1 Técnica da remoção-reposição

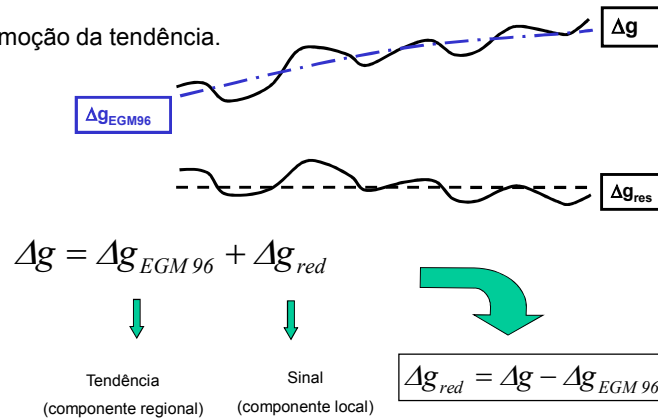
- Ondulação do geóide EGM96 na região Atlântico Norte / Ibérica



Determinação do Geóide

1.1 Técnica da remoção-reposição

- Remoção da tendência.



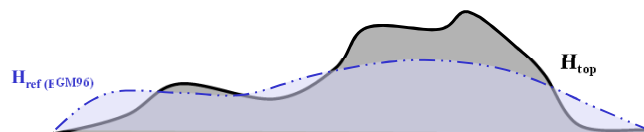
Geodesia & Aplicações - Aula 13

FCUL-EG

Determinação do Geóide

1.1 Técnica da remoção-reposição

- O modelo de anomalias da gravidade do EGM96 correspondem a anomalias reduzidas (sem efeitos do terreno), cujas reduções foram feitas com base num modelo global de terreno (DTM global), designado de superfície topográfica de referência;



- Como este modelo difere da topografia real, com um DTM mais rigoroso pode-se calcular os efeitos residuais de terreno (RTM – correcção topográfica residual) relativamente aos efeitos removidos pelo modelo global EGM96.

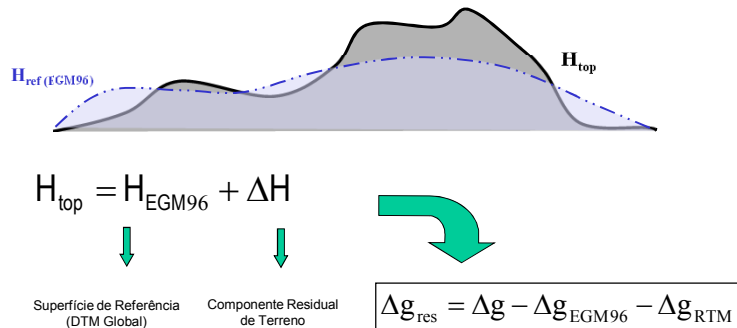
Geodesia & Aplicações - Aula 13

FCUL-EG

Determinação do Geóide

1.1 Técnica da remoção-reposição

- Remoção do Modelo Residual do Terreno - RTM.

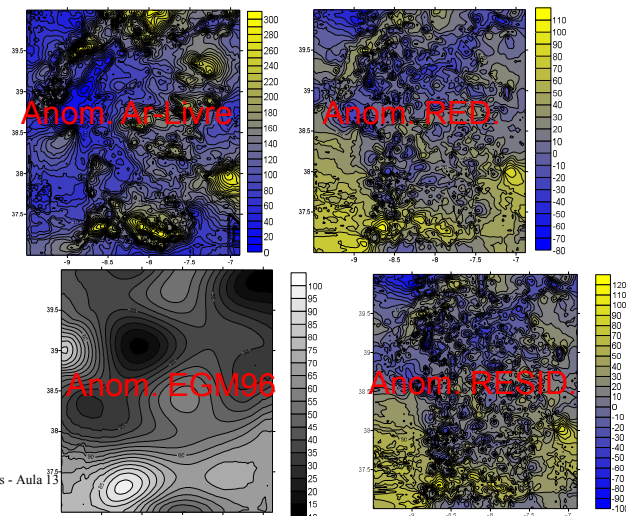


Geodesia & Aplicações - Aula 13

FCUL-EG

Determinação do Geóide

1.1 Técnica da remoção-reposição



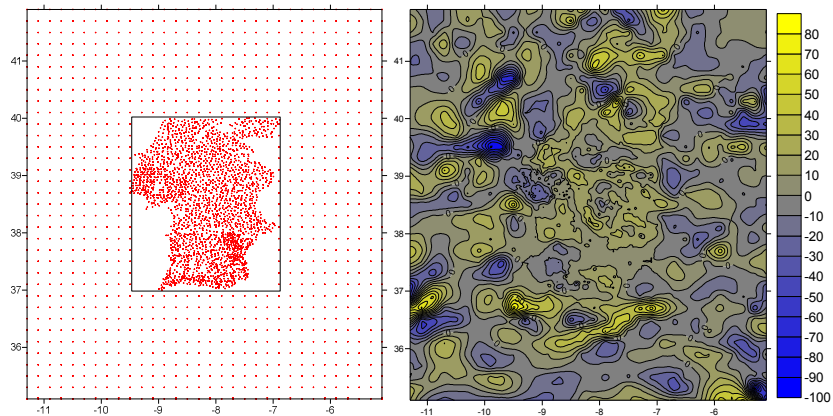
Geodesia & Aplicações - Aula 13

FCUL-EG

Determinação do Geóide

1.1 Técnica da remoção-reposição

Anom. RESIDUAIS Interpoladas



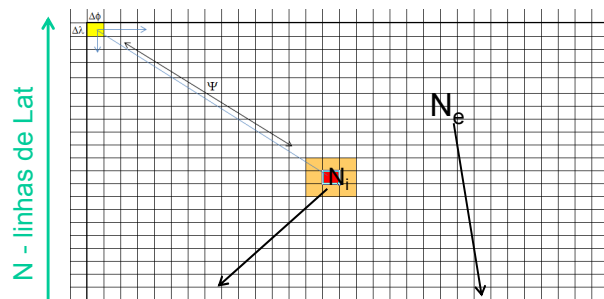
Geodesia & Aplicações - Aula 13

FCUL-EG

Determinação do Geóide

1.1 Técnica da remoção-reposição

- Integração numérica da Fórmula de STOKES – dados em GRELHA



$$N_{res}(\varphi_i, \lambda_k) = \frac{S_0}{\gamma} \Delta g(\varphi_i, \lambda_k) + \frac{R}{4\pi\gamma} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M \Delta g_{res}(\varphi_j, \lambda_i) S(\varphi_i, \lambda_k, \varphi_j, \lambda_i) \cos \varphi_j \Delta \varphi \Delta \lambda$$

Geodesia & Aplicações - Aula 13

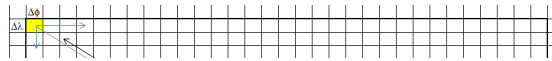
M - colunas de Lon

FCUL-EG

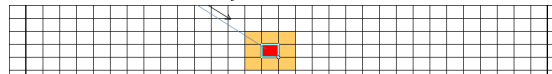
Determinação do Geóide

1.1 Técnica da remoção-reposição

- Integração numérica da Fórmula de STOKES – dados em GRELHA



$$N_{\text{res}}(\varphi_1, \lambda_k) = \frac{S_0}{\gamma} \Delta g(\varphi_1, \lambda_k) + \frac{R}{4\pi\gamma} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M \Delta g_{\text{res}}(\varphi_j, \lambda_i) \cos \varphi_j S(\varphi_1, \lambda_k, \varphi_j, \lambda_i) \Delta \varphi \Delta \lambda$$



$$S(\psi) = \frac{1}{\sin\left(\frac{\psi}{2}\right)} - 6 \sin \frac{\psi}{2} + 1 - 5 \cos(\psi) - 3 \cos(\psi) \ln \left(\sin \frac{\psi}{2} + \sin^2 \frac{\psi}{2} \right)$$

$$\psi = \cos^{-1}(\sin \varphi_i \sin \varphi_j + \cos \varphi_i \cos \varphi_j \cos(\lambda_i - \lambda_k))$$

Determinação do Geóide

1.1 Técnica da remoção-reposição

- Reposição do modelo global - EGM96 (ondulação do co-geóide)

$$N^c = N_{\text{res}} + N_{\text{EGM96}}$$

- Reposição do efeito indirecto

$$N = N^c + \delta N = N^c + \frac{\delta W}{\gamma}$$

$$N = N^c + \frac{\pi G \rho_0 H_p^2}{\gamma}$$

Determinação do Geóide

1.2 Ajuste e validação do modelo de geóide

- Para validar o modelo, deve-se determinar os resíduos do modelo em marcas de nivelamento principal (NP);
- Com observação de GPS em marcas NP obtém-se directamente a ondulação do geóide observada

$$N_{obs} = h_{GPS} - H_{NP}$$

- Fazendo a média e o desvio padrão dessas diferenças (resíduos), obtém-se a diferença absoluta em relação ao datum vertical e a precisão do modelo;
- Afim de se anular essa diferença e eliminar possíveis tendências residuais, deve-se proceder a um ajuste do modelo nas marcas de NP.

Determinação do Geóide

1.2 Ajuste e validação do modelo de geóide

- O ajustamento é feito a partir de 4 parâmetros, correspondendo de grosso-o-modo, a uma translação, um factor de escala e 2 rotações;

- Usa-se o modelo

$$N = N_0 + \begin{bmatrix} \cos \varphi \cos \lambda \\ \cos \varphi \sin \lambda \\ \sin \varphi \\ 1 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{bmatrix}$$

onde N_0 é o valor do modelo inicial (antes de ajustado) e N o valor após ajustamento;

- Os parâmetros são determinados pelo MMQ, com o seguinte sistemas de equações

$$A \cdot \hat{\delta} = \begin{bmatrix} \cos \varphi \cos \lambda \\ \cos \varphi \sin \lambda \\ \sin \varphi \\ 1 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ X_4 \end{bmatrix} = (N_{mod} - N_{NP}) + v$$

Determinação do Geóide

1.2 Ajuste e validação do modelo de geóide

