

UMA TENTATIVA DE HOMOGENEIZAR OS DADOS GRAVIMÉTRICOS EXISTENTES NO BRASIL

NELSI CÔGO DE SÁ e DENIZAR BLITZKOW

*Instituto Astronômico e Geofísico – USP
C.P. 30627, 01051 – São Paulo, SP, Brasil*

The Woollard Gravity Network (WGN) was the base for all gravity surveys in Brazil up to the officialization of the International Gravity Standardization Net 1971 (IGSN71). The mean difference between gravity values in common stations, in a global sense, is approximately 14 mGal. However, this value varies significantly from one region to another in the world. A total of 97 stations in Brazil, whose gravity values are referred to both systems, are used here to estimate the correction to be applied in the gravity networks established in Brazil before 1971. The results indicate that a correction of -15.0 mGal must be applied to all data referred to the WGN to make them consistent with the IGSN71 system.

INTRODUÇÃO

A redução de medidas gravimétricas a um único sistema de âmbito mundial constitui uma preocupação de geodestas e geofísicos desde que iniciou a medição gravimétrica relativa.

O aperfeiçoamento dos gravímetros portáteis, propiciando alta precisão e rapidez na medição relativa, e a multiplicidade de aplicações da Gravimetria, motivando a realização de inúmeros levantamentos gravimétricos locais e regionais, vêm proporcionando maior precisão e um progressivo aumento no volume de informações gravimétricas. Mas, para que essas informações possam ser realmente úteis em Geodésia, Geofísica e Geologia, tanto em escala regional como global, é necessária ainda que elas sejam consistentes e sobretudo compatíveis.

No Brasil, a Rede Gravimétrica Woollard (RGW) constitui a base dos levantamentos gravimétricos realizados até a adoção da International Gravity Standardization Net 1971 (IGSN71), em 1971.

Neste trabalho, são utilizadas 97 estações gravimétricas, cujos valores da aceleração estão vinculados simultaneamente às duas redes, para o cálculo da diferença média para cada região e para todo o Brasil. Isto visa compatibilizar os dados resultantes de todos os levantamentos gravimétricos realizados no território brasileiro.

SISTEMAS GRAVIMÉTRICOS MUNDIAIS

O primeiro sistema gravimétrico adotado em âmbito mundial foi o de Viena, em 1900. A medição absoluta realizada por Oppolzer, em 1884, constituiu o *datum* para esse sistema (Pick, 1973).

Em 1909 foi adotado o sistema Potsdam, tendo como *datum* a estação absoluta, localizada no Instituto Geodésico dessa cidade. Na medição, realizada entre 1898-1904 por

Kühnen e Furtwängler sob a supervisão de Helmert, foram utilizados pêndulos reversíveis, conduzindo ao seguinte valor numérico para a aceleração da gravidade:

$$g_{PA} = 981\,274 \text{ mGal}$$

Este valor constituiu a base para a medição gravimétrica relativa em todo o mundo e reduziu o sistema vienense em 16 mGal.

A partir de 1930 foram realizadas várias medições absolutas mais precisas.

Em Washington, com pêndulo reversível, por Heyl e Cook; em Teddington, também com pêndulo reversível, por Clark; em Sèvres, usando queda-livre, por Volet (Cook, 1961); em Leningrado, com vários métodos, por Agaletsky et al. (1959); e em Ottawa, utilizando queda-livre, por Preston-Thomas (1959).

A comparação dos valores de g , obtidos nesses locais, com aqueles vinculados ao sistema Potsdam mostrou que o *datum*, então vigente, deveria receber uma correção subtrativa de aproximadamente 14 mGal.

Em 1930, iniciou também o desenvolvimento de gravímetros portáteis que, em menos de duas décadas, atingiram uma precisão de $\pm 0,01$ mGal, proporcionando elevada consistência e rapidez na medição gravimétrica relativa. Esta evolução modificou a sistemática até então utilizada na implantação de sistemas gravimétricos mundiais. O trabalho de Woollard, iniciado em 1948, com a reocupação de 33 estações pertencentes às redes nacionais de vários países e a implantação de 150 novas estações (Woollard, 1950) mostrou que o erro médio quadrático das estações básicas nacionais, que na época era de ± 2 a ± 5 mGal (Hirvonen, 1948) seria inferior a ± 1 mGal com a utilização de gravímetros. A partir de 1950, várias instituições internacionais desenvolveram trabalhos visando a implantação de uma rede gravimétrica internacional. Entretanto, os critérios quanto à distribuição

das estações e às técnicas de observação só foram unificados em 1954, quando a International Gravity Commission (IGC), órgão da International Association of Geodesy (IAG), assumiu a coordenação dos trabalhos. Em 1956, foi instituída a First Order World Gravity Net (FOWGN), mas resultou em sub-redes não homogêneas devido às dificuldades técnicas e logísticas (Rosier, 1979).

Na Assembléia de Paris, em 1962, a IGC definiu os três aspectos básicos do sistema gravimétrico mundial, isto é,

- o *datum* gravimétrico,
- a rede gravimétrica de primeira ordem, e
- as bases de calibração.

No ano seguinte, foram intensificados os trabalhos de medição e os resultados preliminares foram apresentados três anos depois (Szabo, 1966).

Na Assembléia de Lucerne, em 1967, a International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG), com base na análise das medidas absolutas obtidas até aquele ano, decidiu reduzir em 14 mGal o valor da estação fundamental do sistema Potsdam, através da resolução nº 22, resultando para o novo *datum* de Potsdam:

$$g_{PN} = 981\,260 \text{ mGal}$$

Em 1970, a IGC recomendou um ajustamento englobando todas as medidas gravimétricas, obtidas segundo os critérios unificados, e a sua adoção em âmbito mundial com o nome de International Gravity Standardization Net 1971. Esse procedimento alterou o conceito de sistema gravimétrico que, até então, era constituído de uma rede de primeira ordem tendo como *datum* uma única estação absoluta.

No ajustamento da IGSN71 (Morelli et al., 1974) foram utilizadas:

- 10 estações absolutas, onde a medição foi realizada com o método da queda-livre, utilizando aparelhos construídos por Cook, Hammond, Faller, Tate e Sakuma, entre 1967-71;
- 1200 medidas pendulares relativas, obtidas com pêndulos Gulf, Cambridge e outros desenvolvidos pela IGC, pelo US Coast and Geodetic Survey, Earth Physics Branch e Geographical Survey Institut, entre 1952-67; e
- 23700 medidas relativas, obtidas em grande parte com gravímetros LaCoste & Romberg, mas também com Worden, Askania, North American e Western, entre 1949-69.

Desse ajustamento resultaram cerca de 1854 estações que constituem a IGSN71, adotada oficialmente pela IUGG na Assembléia de Moscou, realizada em 1971.

No Brasil, foram implantadas 46 estações da IGSN71. Atualmente, menos de 30 permanecem em condições de uso, as demais desapareceram devido às modificações locais, principalmente reconstrução de aeroportos.

A REDE GRAVIMÉTRICA WOOLLARD (RGW) NO BRASIL

A equipe liderada por Woollard foi pioneira nos trabalhos para a implantação de uma rede gravimétrica mundial. No Brasil, as atuações da sua equipe iniciaram em 1949 quando Harding, utilizando um gravímetro Worden, implantou cerca de 14 estações gravimétricas. Em 1952 Black,



Figura 1 — Estações da RGW no Brasil.

numa campanha pelas Américas Central e do Sul, implantou mais 33 estações (Woollard, 1966). Jackson (1959), utilizando pêndulos Cambridge, realizou uma campanha de ligações das principais estações relativas às absolutas.

No programa de cooperação entre a University of Wisconsin (UW) e o Inter American Geodetic Survey (IAGS) do Ano Geofísico Internacional, Kozlosky e Longfield realizaram uma campanha na qual reocuparam cerca de 20 estações com gravímetros LaCoste & Romberg, visando fixar a precisão nos trabalhos desenvolvidos por Harding e Black (Woollard et al., 1966).

A última campanha para a implantação da RGW foi realizada por Woollard e Rose, entre 1962-63, utilizando gravímetros Worden e pêndulos Cambridge (Woollard & Rose, 1963).

Em 1964, o Air Photographic and Charting Service (APCS) desenvolveu um trabalho para a ligação gravimétrica dos aeroportos brasileiros, utilizando gravímetros LaCoste & Romberg. Nesse trabalho foram implantadas cerca de 55 novas estações, incluídas na RGW dois anos depois (Woollard et al., 1966) cujas descrições foram publicadas no ano seguinte (Woollard et al., 1967). A Fig. 1 mostra as estações dessa rede situadas no Brasil.

LEVANTAMENTOS GRAVIMÉTRICOS DO BRASIL COM BASE NA RGW

Até a adoção oficial da IGSN71, a RGW serviu de base para todos os levantamentos gravimétricos realizados no Brasil.

As instituições que desenvolveram trabalhos de densificação gravimétrica nessa época foram:

- Petróleo Brasileira S/A (PETROBRÁS),
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE),
- Universidade Federal do Paraná (UFPR),
- Observatório Nacional (ON), e
- Inter American Geodetic Survey (IAGS) este, em colaboração com IBGE e ON.

A PETROBRÁS realizou levantamentos gravimétricos de detalhe em várias Bacias e na Plataforma Continental, e de reconhecimento em outras regiões de interesse à prospecção petrolífera. O IBGE desenvolveu um levantamento gravimétrico visando a orientação do elipsóide de referência no *datum* geodésico (IBGE, 1964). A UFPR realizou trabalhos de densificação no município de Curitiba e na ilha de Florianópolis (Gemael & Doubek, 1975). O ON desenvolveu levantamentos gravimétricos sobre a rede de nivelamento geométrico do IBGE, ao longo das principais rodovias das regiões Sul, Sudeste e Nordeste do Brasil (Gama, 1971, 1972, 1973; Gualda, 1971).

O número de estações gravimétricas, resultante de todos esses trabalhos ultrapassa 400000, com uma concentração maior nas áreas de atuação da PETROBRÁS.

CONVERSÃO DE ESTAÇÕES GRAVIMÉTRICAS VINCULADAS À RGW PARA A IGSN71

A partir de 1971, a IGSN71 passou a ser utilizada

como base em todos os levantamentos gravimétricos realizados em nosso país. A RGW, tal como foi utilizada pelas instituições brasileiras, estava vinculada ao antigo valor do *datum* de Potsdam. Isto significa que os dados gravimétricos referidos à RGW são incompatíveis com aqueles referidos à IGSN71.

Para uma transformação rigorosa, seria necessário reocupar, com base na IGSN71, todas as estações da RGW utilizadas nos levantamentos de densificação e, a partir dos valores de *g* obtidos para essas estações, recalcular aquelas da densificação. Este procedimento, entretanto, torna-se difícil por duas razões: o desaparecimento de muitas estações da RGW, utilizadas nos levantamentos de densificação e a inexistência de identificação da base nas estações armazenadas em fitas magnéticas de computador.

A solução alternativa é calcular a diferença média, para cada região ou para o Brasil, a partir das estações da RGW em que são conhecidos também os valores de *g* referidos à IGSN71, e adotá-la na transformação das estações de densificação nas áreas correspondentes.

No Brasil, existem atualmente 97 estações da RGW vinculadas também à IGSN71 (Fig. 1) das quais 32 são comuns com as da IGSN71 (Morelli et al., 1974), 54 foram medidas pelo IAGS (Woollard et al., 1980) e 11 coincidem com as de levantamentos recentes do ON (Escobar, 1980; Escobar et al., 1980).

A partir dos valores de *g*, referidos a ambos os sistemas, é calculada a diferença média para cada região e também para todo o território brasileiro (Tabela 1).

Tabela 1 — Diferenças médias entre RGW e IGSN71.

Região	Número de estações usadas	Diferença média (dg) mGal	Desvio padrão mGal
Sul	13	15,1	0,10
Sudeste	20	14,9	0,23
Nordeste	26	15,1	0,21
Centro-Oeste	19	14,9	0,10
Norte	19	15,0	0,21
Brasil	97	15,0	0,20

O gráfico da Fig. 2 mostra que as diferenças calculadas praticamente não apresentam correlação com a variação de *g*. A reta que melhor se ajusta a essas diferenças tem a expressão:

$$\delta g = 14,92 + 0,000\ 054 (g_w - 977\ 000) \text{ (mGal)}, \quad (1)$$

onde g_w representa a base Woollard, e conduz ao seguinte coeficiente de correlação: $c = 0,097$.

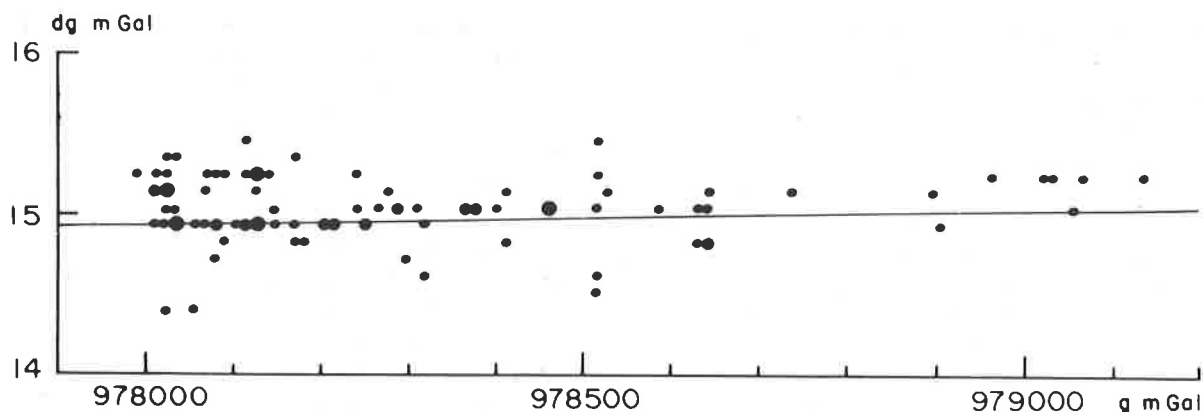


Figura 2 — Diferenças de g nas estações vinculadas à RGW e IGSN71.

A expressão (1) proporciona também a conversão de uma estação da RGW para a IGSN71, na seguinte forma:

$$g_{IGSN} = g_{RGW} - \delta g \quad (2)$$

Mas, na impossibilidade de identificar a base, a solução é o uso da média (Tabela 1)

$$g_{IGSN} = g_{RGW} - dg \quad (3)$$

CONVERSÃO DE ANOMALIAS GRAVIMÉTRICAS

A conversão de anomalias gravimétricas envolve duas correções. Uma decorre da mudança da fórmula da gravidade teórica e a outra da alteração do sistema gravimétrico de referência. A fórmula internacional da gravidade adotada em 1930 pela IUGG, na Assembléia de Estocolmo, foi a de Cassinis (1930)

$$\gamma_{30} = 978\,049 (1 + 0,005\,288\,4 \sin^2 \varphi - 0,000\,005\,9 \cdot \sin^2 2\varphi) \text{ mGal} \quad (4)$$

onde φ é a latitude geodésica da estação. Esta fórmula permaneceu em vigor até 1967, quando a IUGG, na Assembléia de Lucerne, adotou a do GRS67 (IAG, 1967)

$$\gamma_{67} = 978\,031,8 (1 + 0,005\,302\,4 \sin^2 \varphi - 0,000\,005\,9 \cdot \sin^2 2\varphi) \text{ mGal} \quad (5)$$

A conversão de γ , calculado com a fórmula de 1930, para a de 1967, é obtida a partir de (4) e (5) (Gemael, 1972)

$$\gamma_{67} = \gamma_{30} - 17,2 + 13,6 \sin^2 \varphi \text{ (mGal)}, \quad (6)$$

e a de g_{RGW} para g_{IGSN} é obtida por (3).

Portanto, a conversão da anomalia calculada a partir de γ_{30} e g_{RGW} (Δg_{30RGW}) para γ_{67} e g_{IGSN} (Δg_{67IGSN}) é expressa por

$$\Delta g_{67IGSN} = \Delta g_{30RGW} - dg + 17,2 - 13,6 \sin^2 \varphi \text{ (mGal)}, \quad (7)$$

com dg obtido da Tabela 1.

CONCLUSÕES

As estações gravimétricas, vinculadas à RGW e à IGSN71, cobrem praticamente todas as áreas de levantamentos de densificação realizados no Brasil até 1971.

As diferenças médias, calculadas separadamente para cada região, são coerentes com a diferença média obtida para todo o território brasileiro, indicando que praticamente não há distorção entre as duas redes. Esta, na realidade, é indicada pela inclinação da reta na Fig. 2, e pode ser quantificada com a expressão (1). O resultado é uma distorção inferior a 0,1 mGal por 1000 mGal e, portanto, menor do que a encontrada por Woollard (1979) para a América do Sul. Isto ocorre por duas razões: maior consistência entre as duas redes no Brasil e maior número de estações utilizadas neste trabalho.

Portanto, a diferença média $dg = 15,0$ mGal constitui um parâmetro adequado das expressões (3) e (7) para a conversão de estações e anomalias gravimétricas respectivamente.

REFERÊNCIAS

- AGALETSKY, P.N., YEGOROV, K.N. & MARTSINYAK, A.I. — 1959 — Results of absolute determination due to gravity by three independent methods. Bull. Géod., 51: 82-90.
- CASSINIS, G. — 1930 — Sur l'adoption d'une formule internationale pour la pesanteur normale. Bull. Géod., 26: 40-49.
- COOK, A.H. — 1961 — Report on absolute measurements of gravity. Bull. Géod., 60: 131-139.
- ESCOBAR, I.P. — 1980 — Métodos de levantamento e ajustamento de observações gravimétricas visando a implantação da Rede Gravimétrica Fundamental Brasileira. Obs. Nac., Rio de Janeiro, Publ. n° 1, 57 pp.
- ESCOBAR, I.P. & SANTOS, N.P. — 1980 — Ajustamento da rede gravimétrica do Observatório Nacional. Obs. Nac., Rio de Janeiro, Publ. n° 2, 32 pp.

- GAMA, L.I. — 1971 — Valores da gravidade no Nordeste e região Centro-Leste do Brasil. Obs. Nac., Rio de Janeiro, Publ. Serv. Grav., n^o 2, 45 pp.
- GAMA, L.I. — 1972 — Valores da gravidade nas Regiões Centro e Sul do Brasil. Obs. Nac., Rio de Janeiro, Publ. Serv. Grav., n^o 4, 78 pp.
- GAMA, L.I. — 1973 — Valores da gravidade: extensão da rede do Nordeste. Obs. Nac., Rio de Janeiro, Publ. Serv. Grav., s/n, 34 pp.
- GEMAEL, C. — 1972 — Gravidade normal no Sistema Geodésico de Referência 1967. Bol. da Univ. Fed. do Paraná, Geodésia, 13 25 pp.
- GEMAEI, C. & DOUBEK, A. — 1975 — Levantamento gravimétrico no município de Curitiba. Bol. da Univ. Fed. do Paraná, Geodésia, 17: 6 pp.
- GUALDA, J. — 1971 — Levantamentos gravimétricos no Nordeste e região Centro-Leste do Brasil. Obs. Nac., Rio de Janeiro, Publ. Serv. Grav., n^o 3, 55 pp.
- HIRVONEN, R.A. — 1948 — On the establishment of the values of gravity for the national reference stations. Ann. Acad. Sci. Fennicae, Ser. H III, Geol. Geogr., n^o 17, Helsinki, 21 pp.
- IAG — 1967 — Geodetic Reference System 1967. Bull. Geod., Spec. Pub., n^o 3, 116 pp.
- IBGE — 1964 — Relação das estações gravimétricas da região do datum geodésico, Rio de Janeiro, 703 pp.
- JACKSON, S.E. — 1959 — Observations with the Cambridge Pendulum apparatus in North, Central and South America. Geophys. Jour., Royal Astron. Soc., 2: 337-347.
- MORELLI, C., GANTAR, G., HONKASALO, T., McCONNELL, R.K., TANNER, J. G., SZABO, B., UOTILA, U. & WHALEN, C.T. — 1974 — The International Gravity Standardization Net 1971. Bull. Geod., Spec. Pub., n^o 4, 194 pp.
- PICK, M., PICHA, J. & VYSKOCIL, V. — 1973 — Theory of the Earth's Gravity Field. New York, Elsevier, 538 pp.
- PRESTON-THOMAS, H. — 1959 — Absolute determination of g at Ottawa. Bull. Géod., 51: 107-109.
- ROSIER, F.A. — 1979 — Medidas diferenciais da gravidade: ajustes de uma sub-rede de estações gravimétricas e determinação de coeficientes de escala para os gravímetros G41, G372 e G454. Dissertação, Univ. Fed. do Paraná, Curitiba, 190 pp.
- SZABO, B. — 1966 — The status of the world gravity standardization and first-order net. In: Orlin, M. (ed.), Gravity anomalies: unsurveyed areas, 142 pp.
- WOOLLARD, G.P. — 1950 — The gravity meter as a geodetic instrument. Geophysics, 15: 1-29.
- WOOLLARD, G.P. — 1963 — International gravity measurements. Soc. Explor. Geophys., Spec. Pub., 518 pp.
- WOOLLARD, G.P., CALDERA, J.M. & KOZLOSKY, J.A. — 1966 — A network of modern gravity control bases in Central America and South America. Geof. Int., 6: 38-68.
- WOOLLARD, G.P., CALDERA, J.M., ROSE, J.C. & KOZLOSKY, J.A. — 1967 — Catalogue of gravimetric stations in Latin America, II-South America. Geof. Int., 7: 87-211.
- WOOLLARD, G.P. — 1979 — The new gravity system — changes in international gravity base values and anomaly values. Geophysics, 44: 1352-1366.
- WOOLLARD, G.P. & GODLEY, V.M. — 1980 — Progress in the global standardization of gravity: an analysis of the Woollard and Rose international gravity values. Hawaii Inst. Geophys., Tech. Report, n^o 80-1, 190 pp.