

VAGNER GONÇALVES FERREIRA

LEVANTAMENTOS GRAVIMÉTRICOS

CURITIBA
2007

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	3
1.1. Considerações Gerais.....	3
1.2. Unidades.....	4
2. DETERMINAÇÕES RELATIVAS DO VALOR DA GRAVIDADE.....	5
2.1. Relativas Empregando Pêndulos.....	5
2.2. Relativas Empregando Gravímetros.....	6
3. CIRCUITOS GRAVIMÉTRICOS.....	8
4. CORREÇÕES APLICADAS ÀS MEDIDAS GRAVIMÉTRICAS.....	10
4.1. Fator de Calibração.....	10
4.2. Cálculo da Atração Luni-Solar.....	10
4.3. Correção da Deriva Instrumental.....	11
5. AJUSTAMENTO.....	13
EXERCÍCIOS.....	16
REFERÊNCIAS.....	19
APÊNDICE A.....	20
APÊNDICE B.....	21

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os levantamentos gravimétricos são baseados em medidas das variações do campo da gravidade da Terra, portanto, a gravimetria (do latim: *gravis* = peso, e do grego μετρέω = medida) consiste de um conjunto de técnicas que tem por finalidade a medida da intensidade da *gravidade*. A gravimetria exerce fundamental importância sobre os levantamentos geodésicos, principalmente entre as componentes geométricas dadas pelas técnicas de posicionamento, como por exemplo, a *altitude elipsóidica* e as componentes físicas dadas pelo campo gravitacional da Terra, como por exemplo, *altitude "ortométrica"*.

O estudo do campo da gravidade, externo da Terra é um dos objetivos primordiais da Geodésia (Gemael, 2002). Para alcançá-lo, o geodesta vale-se dos conceitos, técnicas e procedimentos que, didaticamente, constituem a chamada Geodésia Física. Além de fornecer subsídios à Geodésia, os levantamentos gravimétricos contribuem de forma importante para estudos geológicos e geofísicos, dentre outras áreas de conhecimento.

O objetivo da *gravimetria* é determinar o campo da gravidade da Terra, ou de qualquer outro corpo celeste, como função da posição e do tempo através da medição do valor da gravidade e do seu gradiente na superfície do corpo ou nas suas imediações (TORGE, 1989).

Os levantamentos gravimétricos com fins geodésicos requerem técnicas e níveis de precisão que garantam a qualidade das observações levantadas bem como um controle rigoroso destas mesmas informações após o processamento das mesmas.

A importância da determinação da gravidade pode ser evidenciada em vários aspectos como:

- Cálculos das anomalias da gravidade, com as quais é possível determinar as componentes do *desvio da vertical* e da *altura geoidal*¹;
- O módulo da gravidade é de fundamental importância juntamente com o nivelamento geométrico na determinação de altitudes com significado físico como a normal e “ortométrica”;
- Auxílio na prospecção mineral, modelagem geofísica e estrutura da Terra.

Podem-se considerar dois casos de medida do valor da gravidade:

- Determinações absolutas;
- Determinações relativas.

A determinação absoluta proporciona diretamente o valor da gravidade, fugindo do escopo deste trabalho. A segunda, determinação relativa, tem um caráter relativo exigindo a ocupação de duas estações determinando a diferença de gravidade entre as duas (desnível gravimétrico).

1.2. UNIDADES

A unidade do valor da gravidade no SI (Sistema Internacional) é o ms^{-2} , porém, na geodésia é muito comum a utilização de uma unidade auxiliar, o Gal (em homenagem a Galileu), para representar o valor da gravidade e os pequenos valores ou os valores de anomalias por mGal.

Tabela 1. Equivalência entre unidades.

Nome	Símbolo	Equivalência
Gal	Gal	10^{-2}ms^{-2}
miligal	mGal	10^{-5}ms^{-2}
microgal	μGal	10^{-8}ms^{-2}

¹ Se somente um ponto trata-se de altura geoidal, caso seja um conjunto de pontos trata-se como ondulação geoidal.

2. DETERMINAÇÕES RELATIVAS DO VALOR DA GRAVIDADE

Nos métodos relativos, o operador ocupa duas estações e mede a diferença do valor de gravidade entre ambas.

2.1. Relativas Empregando Pêndulos

O pêndulo era empregado nas determinações relativas da gravidade. O método consiste em medir o período de um pêndulo de comprimento “invariável” em duas estações, uma com o valor da gravidade conhecido (g_1) e outra que queremos determinar o valor da gravidade (g_2). De forma resumida temos:

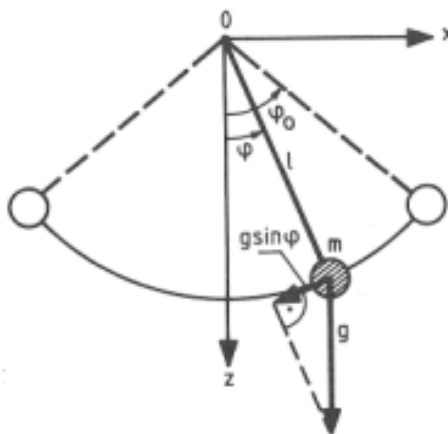


Figura 1. Método pendular.

Fonte: Torge (1989)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (1)$$

aplicando em (1) para as duas estações e fazendo a relação entre elas temos:

$$\frac{g_2}{g_1} = \frac{T_1^2}{T_2^2} \quad (2)$$

Com a gravidade g_1 conhecida, pode-se calcular o valor de g_2 unicamente de T_1 e de T_2 , e a diferença g_2-g_1 da gravidade é obtida sem calibração. Por expansão em série de Taylor

$$\Delta g_{1,2} = g_2 - g_1 = -2g_1 \frac{T_2 - T_1}{T_2} + 3g_1 \frac{(T_2 - T_1)^2}{T_2^2} - \dots \quad (3)$$

Derivando a equação (2) tem-se:

$$\frac{dg_2}{g_2} = \frac{d(\Delta g_{1,2})}{g_2} = 2 \left(\frac{dT_1}{T_1} - \frac{dT_2}{T_2} \right) \quad (4)$$

se a diferença de gravidade necessita ser determinada com uma precisão de $\pm 1 \mu\text{ms}^{-2}$ faz-se necessário medir o período T com uma precisão de $\pm 5 \cdot 10^{-8}$ s.

2.2. Relativas Empregando Gravímetros

Os gravímetros surgiram em 1930, até então o método empregado era o pendular.

Em linhas gerais em um gravímetro o peso de um corpo é equilibrado por uma força antagônica geralmente elástica. A variação da posição de equilíbrio do sistema em função da variação da gravidade permite a avaliação desta última.

A Figura 2 esquematiza um exemplo simples. O peso da esfera suspensa na extremidade da mola está contrabalançado pela força elástica da mola. Designando por l_0 o comprimento da mola livre e por l o comprimento da mola quando carregada, a lei de Hooke² diz que a deformação Δl é proporcional ao módulo da força que a produz

² Robert Hooke (18 de Julho de 1635 - 3 de Março de 1703) foi um dos maiores cientistas experimentais ingleses do século XVII e, portanto, uma das figuras chave da revolução científica. A lei de Hooke é a lei da física relacionada a elasticidade de corpos, que serve para calcular a deformação causada pela força exercida sobre um corpo, tal que a força é igual ao deslocamento da

$$mg = k(l - l_0) = k\Delta l. \quad (5)$$

O coeficiente de elasticidade k depende das características da mola.

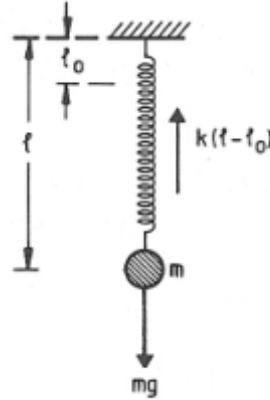


Figura 2. Princípio de funcionamento do gravímetro.

Ao realizar uma leitura em uma segunda estação teremos $\Delta g_{1,2}$ e conseqüentemente um $\Delta l + \delta l$, a deformação δl é medida através da diferença das leituras efetuadas na escala, nas duas estações. Tem-se então:

$$\Delta g_{1,2} = C\delta l = C(L_2 - L_1) \quad (6)$$

Em que:

C é o fator de calibração previamente definido;

L_1 e L_2 são as leituras nas estações 1 e 2 respectivamente.

O sistema elástico que constitui o gravímetro sofre influencia devido a variação da temperatura. Para mantê-la constante, o interior do gravímetro é termostaticado, isto é, a temperatura é mantida constante, em um valor pré-

massa a partir do seu ponto de equilíbrio vezes a característica constante da mola ou do corpo que sofrerá deformação.

estabelecido pelo fabricante, por um sistema elétrico, chamada de temperatura de operação do gravímetro, esta temperatura varia entre os gravímetros (TORGE, 1989).

3. CIRCUITOS GRAVIMÉTRICOS

A determinação dos valores da força da gravidade em diferentes pontos da superfície a ser pesquisada, com o objetivo de se obter o quadro de anomalias gravimétricas, denomina-se levantamento gravimétrico (MIRÓNOV, 1977).

Em cada ponto, mede-se a variação da força da gravidade com respeito a determinado ponto da região a investigar, o qual é denominado estação de referência, com o valor da gravidade conhecido. Portanto, o valor da gravidade de todos os pontos do levantamento gravimétrico é obtido somando-se algebricamente a variação de gravidade ao valor do ponto de referência (MIRÓNOV, 1977).

As redes de densificação podem ser formadas de polígonos Figura 3 (a), ou em linhas que tem como pontos inicial e final estações de ordem superior Figura 3 (b). Os levantamentos gravimétricos, dependendo da finalidade, poderão ser vinculados ao IGSN (*International Gravity Standardization Net*), ou até mesmo a redes nacionais como as implantadas pelo ON (Observatório Nacional) e ainda existem as redes estaduais como a Rede Gravimétrica Científica do Paraná³. A mesma tem por objetivo constituir uma rede de referência para a gravidade com precisão superior às demais redes relativas existentes no Brasil.

O retorno a estação inicial ou o fechamento em uma estação de ordem superior se justificam pela necessidade de se calcular a deriva instrumental, que será objeto de estudo no item 4.2, principal inconveniente dos gravímetros (GEMAEL, 2002).

³ Maiores detalhes sobre a Rede Gravimétrica Científica do Paraná consultar a tese de Santos Jr. (2005).

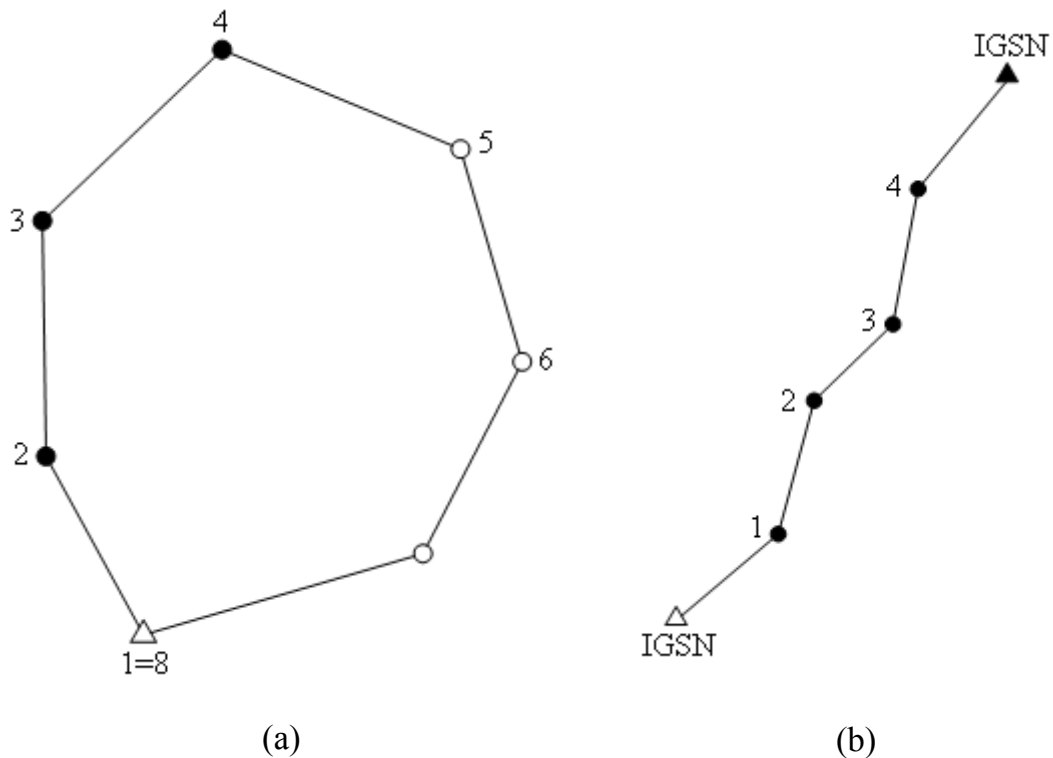


Figura 3. Circuitos gravimétricos.
Adaptado da Fonte: Gemael (2002)

À semelhança dos levantamentos planimétricos e altimétricos, os levantamentos gravimétricos são classificados em:

- Alta Precisão;
- Precisão; e
- Para Fins de Detalhamento.

Os levantamentos de alta precisão (Fundamental ou de 1ª Ordem) têm por finalidade prover valores de controle para a aceleração da gravidade nos trabalhos regionais e locais. Vinculados à IGSN 71, desenvolvem-se em circuitos, com estações espaçadas, preferencialmente de, no máximo, 100 km ou a uma distância que permita um tempo de retorno as adjacentes, inferior a 48 horas. Os valores finais para a aceleração da gravidade serão determinados através de ajustamento, tomando-se as estações da IGSN 71 como fixas e com fechamento máximo, por circuitos, de 0,05 mGal.

4. CORREÇÕES APLICADAS ÀS MEDIDAS GRAVIMÉTRICAS

4.1. Fator de Calibração

O fator de calibração de um gravímetro é necessário para ajustar as medidas realizadas com o equipamento de acordo com a variação da gravidade em função da região do levantamento. Para determinar se a resposta do gravímetro é coerente com esta variação, recomenda-se a realização de uma campanha envolvendo a ocupação de, no mínimo, duas estações gravimétricas absolutas da rede nacional. Assim, pode-se comparar a diferença de gravidade obtida com o gravímetro com a diferença de gravidade entre as duas estações absolutas. O resultado é a geração de um fator que será utilizado para corrigir as medidas realizadas na região do levantamento. Este procedimento deve ser realizado devido ao comportamento do gravímetro sofrer variações temporais em seus elementos sensores gerando imprecisões nas medidas obtidas (JORDAN, *et al.*, 1998; GEMAEL, 2002; SIMÕES, *et al.* 2003).

4.2. Cálculo da Atração Luni-Solar

As marés terrestres, tal como as suas congêneres marinhas, fazem com que a elevação do ponto de observação varie. No caso marinho a amplitude da variação pode ir desde menos de 1 m até quase à dezena de metros, no caso continental as variações atigem no máximo alguns cm.

A interação gravitacional da Terra com a Lua e o Sol introduz perturbações no campo de gravidade terrestre que devem ser removidas da aceleração da gravidade medida nos levantamentos gravimétricos (VANIČEK, 1980; GEMAEL, 2002).

Os efeitos de maré podem ser calculados e existem também sob a forma de tabelas publicadas na imprensa geofísica. As fórmulas geralmente empregadas para o cálculo da perturbação luni-solar nas observações dos levantamentos gravimétricos são as expostas em Longmann (1959).

As variações da gravidade devidas à maré terrestre têm um máximo de amplitude de aproximadamente $\pm 0,3\text{mGal}$ e um período próximo de 12 horas. Essa correção tem uma variação suave e qualquer indicio de anormalidade, tanto na variabilidade como na magnitude deve ser investigada.

4.3. Correção da Deriva Instrumental

Os gravímetros sofrem variações em suas condições elásticas resultando em leituras distintas para um mesmo ponto em diferentes instantes. Além disso, as condições ideais de operação precisam ser constantemente verificadas de modo a tornar os resultados do levantamento homogêneos.

Em relação às condições elásticas, a leitura do gravímetro tende a variar com o tempo mesmo que a aceleração não varie, ou seja, que o aparelho seja mantido no mesmo ponto. Esta variação é denominada de *deriva* instrumental. A deriva instrumental tem um comportamento diferente se o aparelho estiver estacionado num ponto (*deriva estática*) ou se estiver em movimento (*deriva dinâmica*) e as mesmas precisam ser controladas de forma específica.

A deriva dinâmica pode ser controlada realizando a leitura final no mesmo ponto ou em outro ponto da rede de referência, num intervalo de tempo não superior ao máximo estabelecido para o aparelho. No caso em que, durante um levantamento gravimétrico, haja necessidade de parar por mais de 1 hora, é recomendável que se faça uma leitura ao parar e outra antes de reiniciar o trabalho para controlar a deriva estática.

A deriva estática D_e em uma linha gravimétrica representa a soma das variações ocorridas nas interrupções da linha, geralmente com duração maior que uma hora

$$D_e = \sum_{i=1}^m (L_i - L_{i+1}) \quad (7)$$

onde m é o numero de interrupções da linha e L_i é a leitura média em mGal corrigida da perturbação luni-solar, nas estações da linha. O tempo correspondente à deriva estática é expresso por

$$t_e = \sum_{i=1}^m (t_{i+1} - t_i) \quad (8)$$

Onde t_i é o instante da observação.

A deriva dinâmica D_d corresponde à variação ocorrida no período em que o gravímetro permaneceu em movimento, que equivale ao tempo decorrido entre a primeira e a ultima leitura da linha, menos o tempo da deriva estática, sendo:

$$D_d = \frac{L_1 - L_n}{t_d} \quad (9)$$

onde L_1 e L_n é a primeira e ultima leitura respectivamente, corrigidas da perturbação luni-solar e da deriva estática, e t_d é o tempo da deriva dinâmica, dado por

$$t_d = t_n - t_1 - t_e \quad (10)$$

onde t_1 e t_n são os instantes da primeira leitura e da ultima leitura respectivamente e t_e é o tempo da deriva estática. Portanto, a correção da deriva para a i -ésima estação tem a forma

$$D_i = (D_e)_i + (D_d)t_i \quad (11)$$

Onde t_i é o tempo decorrido entre a primeira e a i -ésima leituras.

As leituras corrigidas da perturbação luni-solar e da deriva instrumental são obtidas a partir das leituras em mGal e das correções calculadas

$$(L_c)_i = L_i + \delta g_i + D_i. \quad (12)$$

5. AJUSTAMENTO

Com o objetivo de ajustar a rede gravimétrica, poder-se-á aplicar o Método dos Mínimos Quadrados (MMQ), na forma paramétrica conforme TORGUE (1989).

A aplicação do ajustamento pelo MMQ na forma paramétrica possibilita calcular quantidades indiretamente, se estas se vinculam matematicamente a outras medidas, as quais são obtidas de forma direta (SANTOS *et al.*, 2005).

De acordo com Gemael (1994), o modelo funcional que representa a ligação entre as incógnitas ou parâmetros é:

$$\mathbf{f}(\mathbf{x}_a) = \mathbf{l}_a \quad (13)$$

No modelo (13), o vetor dos valores observados ajustados \mathbf{l}_a são expressos explicitamente como função do vetor dos parâmetros estimados \mathbf{x}_a , constituindo deste modo a forma paramétrica do método dos mínimos quadrados.

O modelo funcional que representa o relacionamento entre as observações e os parâmetros incógnitos na forma de equações de observação

$$\mathbf{l}_b + \mathbf{v} = \mathbf{f}(\mathbf{x}_a) \quad (14)$$

sendo:

\mathbf{l}_b o vetor das observações $n \times 1$ e

\mathbf{v} o vetor dos resíduos $n \times 1$.

O modelo estocástico

$$\mathbf{l}_b + v = f(x_0 + x) \quad (15)$$

onde \mathbf{x}_0 é o vetor dos valores aproximados e \mathbf{x} vetor das correções, que transformam os parâmetros em ajustados.

Designamos a função dos parâmetros aproximados por:

$$f(x_0) = \mathbf{l}_b \quad (16)$$

e por \mathbf{A} , a matriz dos coeficientes, cujos elementos são derivadas parciais,

$$A = \left. \frac{\partial f}{\partial x_a} \right|_{x_a=x_0}, \quad (17)$$

Pode-se escrever a (15) como:

$$v = Ax + l_0 - l_b \quad (18)$$

fazendo

$$\mathbf{l}_0 - \mathbf{l}_b = \mathbf{l}, \quad (19)$$

impondo a condição de mínimo quadrados ponderado,

$$v = Ax + l. \quad (20)$$

$$v^T P v \Rightarrow \min \quad (21)$$

ao sistema (18), sendo \mathbf{P} a matriz dos pesos, obtém-se

$$x = -(A^T P A)^{-1} A^T P l \quad (22)$$

sendo os parâmetros ajustados por:

$$x_a = x_0 + x, \quad (23)$$

a matriz de variância covariância dos valores observados ajustados é:

$$\Sigma x_a = \hat{\sigma}_0^2 (A^T P A)^{-1}, \quad (24)$$

em que $\hat{\sigma}_0^2$ é a variância *a posteriori*, seu valor é dado por:

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{\mathbf{v}^T \mathbf{P} \mathbf{v}}{n - u}. \quad (25)$$

EXERCÍCIOS

1. Cálculo de um circuito gravimétrico (Valor da gravidade para a estação de referencia CEM igual a 978700,000 mGal).

Estação	Hora	ΔT	L_i^* (U.I.)	L_i (mGal)	δg_i^{**} (mGal)	$L_i + \delta g_i$ (mGal)	$(D_e)_i$ (mGal)	$L_i + \delta g_i + (D_e)_i$ (mGal)	$(D_d)_i$ (mGal)	$L_i + \delta g_i + (D_e)_i + (D_d)_i$ (mGal)	Δg_i (mGal)
CEM	10,05		2474,576		0,095						
Paranaguá	11,73		2368,803		0,166						
Porto	19,01		1907,734		-0,115						
Hotel	21,51		2337,206		-0,054						
Hotel	30,85		2337,225		-0,104						
Matinhos	36,50		2147,561		0,156						
CEM	42,58		2474,985		-0,088						

* Leituras em unidades instrumentais (U.I.) para o gravímetro LaCoste & Romberg modelo G (Apêndice B).

** Correção da maré terrestre calculado com o aplicativo TMARÉ, disponível no LAIG (Laboratório de Aferição e Instrumentação Geodésica).

2. A precisão necessária para a prospecção gravimétrica é de $10 \mu\text{Gal}$. Determine qual a precisão que necessita de ter na determinação da altura ortométrica.
3. Qual o valor da gravidade normal dado pelo GRS80 para um ponto à latitude de Curitiba?
4. O site <http://icgem.gfz-potsdam.de/ICGEM/ICGEM.html> contém toda a informação relativa ao modelo global de ondulação do geóide EGM96. A partir da informação que lhe está disponível represente g relativamente ao WGS84, para o território do Estado do Paraná utilizando uma malha de 0,25 graus.
5. Utilize a fórmula de Somigliana para determinar a gravidade normal num ponto de latitude $28^{\circ}14'11,8080''$ S (GRS80).
6. Suponha que a Terra (esférica) roda com velocidade crescente até que um observador localizado no Equador observe gravidade nula. Qual será então a duração do dia?
7. Considere a Terra como um corpo esférico e homogêneo, com um raio de 6378160 m e massa $5,99 \times 10^{24}$ kg, rodando com um período de 24 h. Qual o valor da deflexão da vertical nos pólos, no equador, e num ponto de latitude 28° S?
8. Suponha que a Terra (esférica) roda com velocidade crescente até que um observador localizado no Equador observe gravidade nula. Qual será então a duração do dia?

9. Se um pêndulo com 1m de comprimento e a massa de 1 kg completasse uma oscilação em 2 segundos, qual o valor da gravidade?

REFERÊNCIAS

FREITAS, S. R. C.; SANTOS JUNIOR, G.; FAGGION P. L.; GEMAEL C.; SILVA JR, J. S.; SIMÕES, K. **Concepção dos Levantamentos Gravimétricos para o Estabelecimento de Rede Gravimétrica de Alta Precisão no Estado do Paraná**. Série em Ciências Geodésicas, Curitiba, vol.2, pp 41 – 56, 2002.

GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas**. Curitiba: Editora da UFPR, 1994. 319p.

GEMAEL, C. **Introdução à geodésia física**. Curitiba: Editora da UFPR, 2002. 302p.

IBGE, Resolução PR-nº 22, de 21 de Junho de 1983. **Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos**. Boletim de serviço nº 1602. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

JORDAN, E. N.; GEMAEL, C.; FREITAS, S. R. C. de. **Calibração Estática de Gravímetro Pelo Método da Inclinação**. Boletim de Ciências Geodésicas, Curitiba, v. 3, p. 82-84, 1998.

LONGMAN, I. M. **Formulas for Computing the tidal Accelerations Due to the Moon and the Sun**. Journal of Geophysical Research, Los Angeles, Institute of Geophysics, University of California, , vol 64, nº 12, p. 2351-2355, 1959.

MIRONOV, V. S. **Curso de prospección gravimétrica**. Traduzido do russo por GISBERT, M. Barcelona: Editorial Reverte, 1977. 524p.

SANTOS JUNIOR, G. dos. **Rede gravimétrica: novas perspectivas de ajustamento, análise de qualidade e integração de dados gravimétricos**. Tese de doutorado. UFPR, Curitiba, 2005. 172p.

SIMÕES, K.; FAGGION, P. L.; FREITAS, S. R. C. de; DALAZOANA, R. SILVA JUNIOR, J. S. da. **Otimização do Processo de Calibração de Gravímetro a Mola Métodos e Resultados Obtidos no LAIG**. Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. UFPR, Curitiba, 2003.

TORGE, W. **Gravimetry**. Berlin; New York: Walter de Gruyter, 1989. 465p.

APÊNDICE A

Quadro (VII) – Sistema Geodésico Brasileiro Especificações para Gravimetria.

ÍTEM	LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS		
	De Alta Precisão	De Precisão	Para Fins de Detalhamento
	Fundamental	Regional	Local
1. CONFIGURAÇÃO DOS CIRCUITOS E LINHAS 1.1 – Espaçamento máximo das estações 1.2 – Localização das estações 1.3 – Tempo máximo de retorno à base	100 km Em Referência de Nível 48 horas	30 km Em Referência de Nível 72 horas	De acordo com os objetivos. De acordo com as finalidades. De acordo com os objetivos.
2. INSTRUMENTAL 2.1 – Leitura direta ou equivalente 2.2 – Alcance de leitura sem “reset” 2.3 – Controle termostático	0,01 graduação 7000 mgal Sim	0,01 graduação 7000 mgal Sim	0,01 graduação 5000 mgal Sim
3. MEDIÇÃO POR ESTAÇÃO 3.1 – Número desejável de gravímetros em operação simultânea 3.2 – Condições operacionais por gravímetro 3.2.1 – Número de leituras 3.2.2 – Discrepância entre leituras 3.2.3 – Intervalo de tempo para as leituras (máximo) 3.2.4 – Intervalo de tempo mínimo para estabilização 3.3 – Discrepância das médias de leituras entre gravímetros	3 4 0,003 graduação 2 minutos 10 minutos 0,003 graduação	3 4 0,003 graduação 2 minutos 10 minutos 0,003 graduação	– 2 0,03 graduação 5 minutos 10 minutos 0,03 graduação
4. CORREÇÕES 4.1 – Atração luni-solar 4.2 – Deriva estática e dinâmica 4.3 – Pressão atmosférica	Sim Sim Sim	Sim Sim Sim	Sim Sim –
5. ERRO-PADRÃO MÁXIMO ACEITÁVEL DE FECHAMENTO DOS CIRCUITOS APÓS O AJUSTAMENTO	0,05 mgal	0,1 mgal	0,3 mgal

APÊNDICE B

Conversão de leituras de graduação para miligal. Gravímetro LaCoste & Romberg G-372.

Leituras		Fator para o intervalo	Leituras		Fator para o intervalo
Grad.	mGal		Grad.	mGal	
0	0,00	1,06951			
100	106,95	1,06931	3600	3845,41	1,06839
200	213,88	1,06912	3700	3952,25	1,06843
300	320,79	1,06895	3800	4059,09	1,06847
400	427,69	1,06877	3900	4165,94	1,06850
500	534,57	1,06862	4000	4272,79	1,06852
600	641,43	1,06847	4100	4379,64	1,06853
700	748,28	1,06835	4200	4486,49	1,06854
800	855,11	1,06822	4300	4593,35	1,06855
900	961,93	1,06811	4400	4700,20	1,06855
1000	1068,74	1,06802	4500	4807,06	1,06855
1100	1175,55	1,06794	4600	4913,91	1,06855
1200	1282,34	1,06789	4700	5020,77	1,06855
1300	1383,13	1,06785	4800	5127,62	1,06854
1400	1495,91	1,06781	4900	5234,48	1,06853
1500	1602,69	1,06778	5000	5341,33	1,06851
1600	1709,47	1,06776	5100	5448,18	1,06847
1700	1816,25	1,06775	5200	5555,03	1,06843
1800	1923,02	1,06775	5300	5661,87	1,06837
1900	2029,80	1,06776	5400	5768,71	1,06830
2000	2136,57	1,06778	5500	5875,54	1,06822
2100	2243,35	1,06780	5600	5982,36	1,06813
2200	2350,13	1,06782	5700	6089,17	1,06802
2300	2456,91	1,06785	5800	6195,97	1,06791
2400	2563,70	1,06788	5900	6703,76	1,06779
2500	2670,49	1,06791	6000	6409,54	1,06765
2600	2777,28	1,06794	6100	6516,31	1,06750
2700	2884,07	1,06797	6200	6623,06	1,06735
2800	2990,87	1,06801	6300	6729,79	1,06718
2900	3097,67	1,06805	6400	6836,51	1,06702
3000	3204,48	1,06809	6500	6943,21	1,06686
3100	3311,28	1,06814	6600	7049,90	1,06670
3200	3418,10	1,06820	6700	7156,57	1,06653
3300	3524,92	1,06825	6800	7263,22	1,06636
3400	3631,74	1,06830	6900	7369,86	1,06618
3500	3738,57	1,06835	7000	7476,48	