

## ESTUDO DO FATOR DE ESCALA DO GRAVÍMETRO WORDEN N.º 178

JANDYR DE MENEZES TRAVASSOS e IRINEU FIGUEIREDO

CNPq/Observatório Nacional – Departamento de Geofísica – Rua General Bruce, 586  
20.921 – Rio de Janeiro – RJ

It has been studied variations with time of the Worden Gravimeter n.º 178 small dial factor. The study covered years 1955-1980.

The base used consists on ten gravimetric stations beginning in Observatorio Nacional and ending at the top of Mount Corcovado.

No explicit dependence with time of the small dial factor was detected.

### INTRODUÇÃO

Em 1947 foi fabricado pelo Houston Technical Laboratories, o Gravímetro Worden compensado termicamente (Woolard, 1950). Desde então, este tipo de instrumento vem sendo largamente utilizado em levantamentos terrestres devido a sua precisão, rapidez de operação e portabilidade.

O interesse em garantir a boa qualidade dos dados obtidos com este tipo de gravímetro, levou alguns pesquisadores a estudar as várias fontes de imprecisão que interferem nas medições gravimétricas. Uma dessas é a variação do valor do fator de escala do gravímetro. Foram estudadas variações do fator de escala de Gravímetros Worden com a pressão atmosférica (Caputo, 1957; Gantar e Morelli, 1959), com a temperatura ambiental (Morelli, 1959) e com o tempo (Saxov, 1959).

Neste trabalho, apresenta-se uma contribuição ao estudo do comportamento do fator de escala do Gravímetro Worden em relação ao tempo. Na literatura, existem afirmações de haver uma dependência temporal explícita desse fator (Saxov, 1959; Schoeffler, 1975). Aqui procura-se mostrar que esta afirmativa não pode ser generalizada.

Em fevereiro de 1955, foi implantada uma linha gravimétrica ligando o Observatório Nacional ao alto do Corcovado, no Rio de Janeiro. Destinava-se então às aferições periódicas do Gravímetro Worden n.º 178, empregado em levantamentos terrestres pela equipe do Observatório Nacional. Com este objetivo foi reocupada várias vezes até o final de 1966 (Gama e Gualda, 1968).

As cadernetas de campo dos períodos de reocupação da linha foram utilizadas nos cálculos do fator de escala. Estes períodos estão compreendidos entre os anos 1955-1966 e 1979-1980. No lapso 1966-1979, o gravímetro deixou de ser utilizado nos levantamentos gravimétricos. Na segunda metade de 1978, decidiu-se colocar o instrumento novamente em operação. Para isto, foi refeito o vácuo parcial do aparelho em julho de 1979 (Travassos et al, 1979) e, logo após, reocupada a linha

de calibração em duas oportunidades, 3 de julho de 1979 e 20 de junho de 1980.

O vácuo parcial da câmara do sistema elástico do gravímetro, foi estabelecido cinco vezes, durante o período coberto pelo presente estudo. O instrumento não foi enviado ao fabricante em nenhuma oportunidade.

### FATOR DE ESCALA

O Gravímetro Worden é um instrumento estático de quartzo, que não utiliza termostato. O sistema sensível encontra-se em uma câmara hermeticamente fechada, no interior de um vaso de Dewar, destinado a impedir as trocas rápidas de temperatura. A figura 1 apresenta um esquema do Gravímetro Worden. A pressão no interior da câmara é reduzida, em torno de 400-667

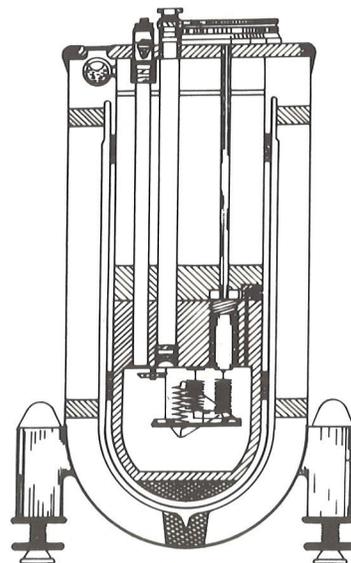


Figura 1 — Esquema simplificado do Gravímetro Worden.

$N/m^2$  (3-5 mmHg) o suficiente para amortecer as oscilações do sistema.

A figura 2 mostra, esquematicamente, o sistema elástico do gravímetro. Uma massa,  $M$ , de aproximadamente  $5 \times 10^{-6}$  kg, e uma haste,  $H$ , fundidas em uma só peça, giram em torno de um eixo, de articulações de torção em  $F$  e  $F'$ , ao qual estão rigidamente ligados, um indicador,  $I$ , para a leitura e uma haste solitária a mola principal em  $S'$ . A outra extremidade da mola está ligada a um dispositivo de compensação térmica que, por sua vez, está ligado por molas ao dial pequeno,  $D_1$ , e ao dial geodésico,  $D_2$ . O instrumento é sensível a variações de 0,01 mGal (Anônimo, 1954).

O gravímetro é um instrumento destinado às medições da componente vertical da aceleração da gravidade  $g$ . A partir de uma diferença de leituras,  $\Delta L$ , entre dois pontos distintos,  $A$  e  $B$ , encontramos a diferença de gravidade  $\Delta g$ , por meio da expressão.

$$\Delta g = k \Delta L$$

onde  $k$  é o fator de escala do aparelho. O Gravímetro Worden n.º 178, possui dois fatores de escala,  $k$  e  $k'$ , associados aos diais  $D_1$  e  $D_2$ , respectivamente. O primeiro utilizado em levantamentos de detalhe e o segundo para levantamentos em larga escala, onde não seja necessária uma precisão de 0,01 mGal. Neste trabalho tratar-se-á do fator  $k$ , cujo valor, fornecido pelo fabricante, está escrito em uma placa presa na parte externa do gravímetro.

O fator de escala é calculado experimentalmente. Supondo não haver erro de leitura, o erro envolvido na sua determinação,  $\epsilon_k$ , interfere em  $\Delta g$ , com um erro

$$\epsilon_{\Delta g} = \epsilon_k \Delta L \quad (2)$$

E, como o dial pequeno alcança 80 divisões, cada uma correspondendo a cerca de 1 mGal,  $\Delta g$  será obtido com um erro inferior a 0,01 mGal, se

Tabela 1 — Estações integrantes da linha ON-Corcovado.

Estação	Localização	Número IGSN	$g$ (mGal)	Erro Estimado (mGal)
ON	Observatório Nacional	40123A	978789,90	0,019
TRC	Túnel do Rio Comprido, 1	—	978780,81	0,016
TRC'	Túnel do Rio Comprido, 2	—	—	—
SI	Silvestre (antigo hotel), 1	—	978756,69	0,019
SII	Silvestre (estrada auxiliar), 2	—	978725,26	0,018
SII-B	Silvestre (estrada auxiliar), 3	—	978726,03	0,024
PI	Paineiras (hotel), 1	—	978703,60	0,018
PII	Paineiras (estrada auxiliar), 2	—	978671,56	0,026
Rch	Rocha do Corcovado	—	978671,58	0,016
CK	Corcovado	40123M	978637,28	0,027

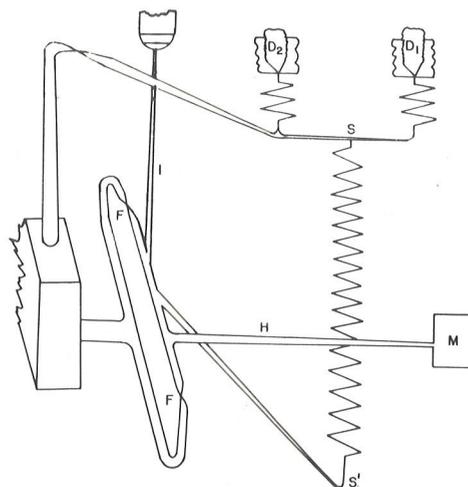


Figura 2 — Esquema do sistema sensível do Gravímetro Worden.

$$\epsilon_k < 0,0001$$

A determinação do fator de escala, ou calibração, pode ser realizada por três processos: plano inclinado, diferença de cotas e confronto com um intervalo conhecido de gravidade. Neste trabalho utiliza-se uma linha de calibração cujo intervalo de gravidade é conhecido.

## METODOLOGIA

Em 1971 as estações extremas da linha gravimétrica Observatório Nacional — Corcovado, passaram a integrar a IGSN-71 (International Gravity Standardization Net-1971). Na tabela 1 estão consignados os valores ajustados destas duas estações (Mc Connel et al, 1979), assim como os valores preliminares das demais, tendo como base resultados publicados (Gama e Gualda, 1968).

A variação máxima de g na linha é de 152,62 mGal, não permitindo a determinação do fator de escala com precisão igual a do fabricante, cujo desvio padrão é da ordem de 0,000005. Entretanto, é suficiente para que variações razoáveis no valor do fator de escala sejam detectadas. O erro absoluto em k é obtido por meio da expressão.

$$\epsilon_k = \frac{1}{\Delta L} (\epsilon_{\Delta g} + \frac{\Delta g}{\Delta L} \epsilon_{\Delta L}) \quad (3)$$

onde  $\epsilon_{\Delta g}$  e  $\epsilon_{\Delta L}$  são, respectivamente, os erros de gravidade e de leitura. No nosso caso, encontra-se:

$$\epsilon_k = 0,00004 \text{ mGal/div}$$

A ordem adotada nas medições nas estações a, b, c, d, . . . , foi

a b a b c b c d c d . . . ,

fazendo-se uma medida extra sempre que o aparelho necessitar ser ajustado.

Ao longo dos anos estudados, o intervalo de tempo máximo de fechamento de uma "perna" do tipo

a b a b,

situou-se na faixa 20-40 min. Isto permite ter segurança quanto a linearidade da deriva instrumental (Anônimo, 1954). Por outro lado, o efeito da maré terrestre foi calculada separadamente para todo o período estudado. O comportamento da componente vertical da maré terrestre pode ser considerado linear, para os intervalos de tempo estudados. As discrepâncias entre os valores calculados da maré e os valores obtidos supondo-a linear, permaneceram iguais ou inferiores a 0,01 mGal em 99,98% dos casos analisados. A figura 3 mostra a freqüência (em porcentagem) das discrepâncias entre os valores calculados da componente vertical da maré e os valores obtidos supondo-a linear.

Supondo então os efeitos de deriva e maré lineares, pode-se efetuar uma correção única aos dois efeitos, confundindo-os. Por exemplo, a diferença de leituras entre as estações a e b,  $\Delta L_{ab}$ , será obtida das leituras

$$L_a^1 \quad L_b^1 \quad L_a^2 \quad L_b^2 \quad ,$$

realizadas, respectivamente, nos instantes

$$t_a^1 \quad t_b^1 \quad t_a^2 \quad t_b^2 \quad ,$$

utilizando a expressão

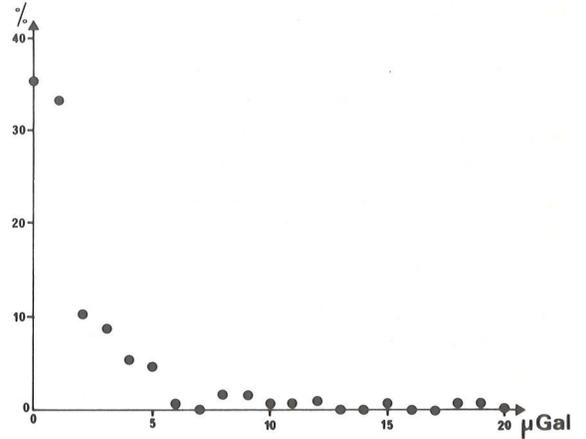


Figura 3 — Porcentagem de ocorrência das discrepâncias entre o valor calculado de maré e a mesma suposta linear.

$$\Delta L_{ab} = \frac{1}{2} \left[ L_a^1 + \frac{L_a^1 - L_a^2}{t_a^1 - t_a^2} (t_b^1 - t_a^1) - L_b^1 + L_a^2 - \frac{L_b^1 - L_b^2}{t_b^1 - t_b^2} (t_b^2 - t_a^2) - L_b^1 \right] \quad (4)$$

### RESULTADOS E CONCLUSÕES

A tabela 2 apresenta os valores obtidos para o fator de escala do Gravímetro Worden n.º 178, juntamente com as datas em que o vácuo parcial do aparelho foi refeito. Esta tabela mostra também que o valor de k volta a situar-se em torno do valor fornecido pelo fabricante,  $k_0 = 0,10391 \text{ mGal/div}$ , quando a pressão residual atinge entre 400 e 667 N/m<sup>2</sup>. O erro em todas as determinações é de 0,00004 mGal/div. Não foi notada nenhuma modificação no comportamento da deriva, associada aos restabelecimentos do vácuo.

Os valores encontrados para o fator de escala estão representados graficamente na figura 4. É de se esperar um comportamento não-linear do fator de escala ao longo do tempo (Saxov, 1959). Mas, devido ao pequeno número de determinações disponíveis, resolveu-se fazer ajustes lineares entre as datas em que o vácuo foi refeito e havia 3 ou mais determinações. Os coeficientes de regressão situaram-se na faixa 80-90%. Logo após o res-

tabelecimento do vácuo em 23 de junho de 1962 só há uma determinação, por isso o seu valor não está representado na figura 4.

Na maioria dos casos, o valor obtido para k logo após a recuperação do vácuo é superior a  $k_0$ . Isto é explicado em termos da dificuldade de controle da pressão interna da câmara durante a recuperação do vácuo. Além disso, na prática é aconselhável deixar uma margem de segurança, procurando-se valores da pressão interna em torno do limite inferior da faixa de pressão recomendada (400 a 667 N/m<sup>2</sup>), o que faz o fator de escala atingir valores relativamente elevados.

Outro fato aparente na figura 4 é a variação do coeficiente angular das retas em relação ao tempo. A figura 5 apresenta um histograma que representa graficamente a variação da taxa de perda do vácuo parcial na câmara com o tempo. Na figura foram suprimidos os períodos onde não houve determinações do valor de k. Também é apresentada a exponencial de ajuste aos valores encontrados para a taxa de perda do vácuo. O comportamento apresentado pela taxa ao longo do tempo, pode ser explicado pela perda progressiva na capacidade de vedação da válvula de acesso, implicando em redução dos períodos de uso do gravímetro.

Assim, pode-se concluir que, para o Gravímetro Worden n.º 178, nada indicou que o fator de escala varie explicitamente com o tempo, no período observado. Quando o vácuo é refeito, o fator de escala volta a atingir valores situados em torno de  $k_0$ .

Tabela 2 — Valores obtidos para o fator de escala e as datas de recuperação do vácuo parcial do gravímetro.

Data	Fator de Escala (mGal/div)	Vácuo Refeito
16.02.55	0,10382	
29.03.56	0,10377	
23.10.56	0,10365	
20.11.59	0,10331	
27.12.59	0,10330	
14.05.61	0,10311	
08.06.61	0,10318	
13.12.61	0,10304	
29.12.61	0,10402	28.12.61
24.02.62	0,10388	
16.05.62	0,10387	
22.07.62	0,10381	
24.07.62	0,10390	23.07.62
24.12.65	0,10398	23.12.65
11.01.66	0,10394	
11.03.66	0,10390	
21.06.66	0,10381	
19.07.66	0,10378	
02.09.66	0,10371	
04.10.66	0,10397	06.09.66
11.11.66	0,10393	
03.07.79	0,10393	11.06.79
20.06.80	0,10341	

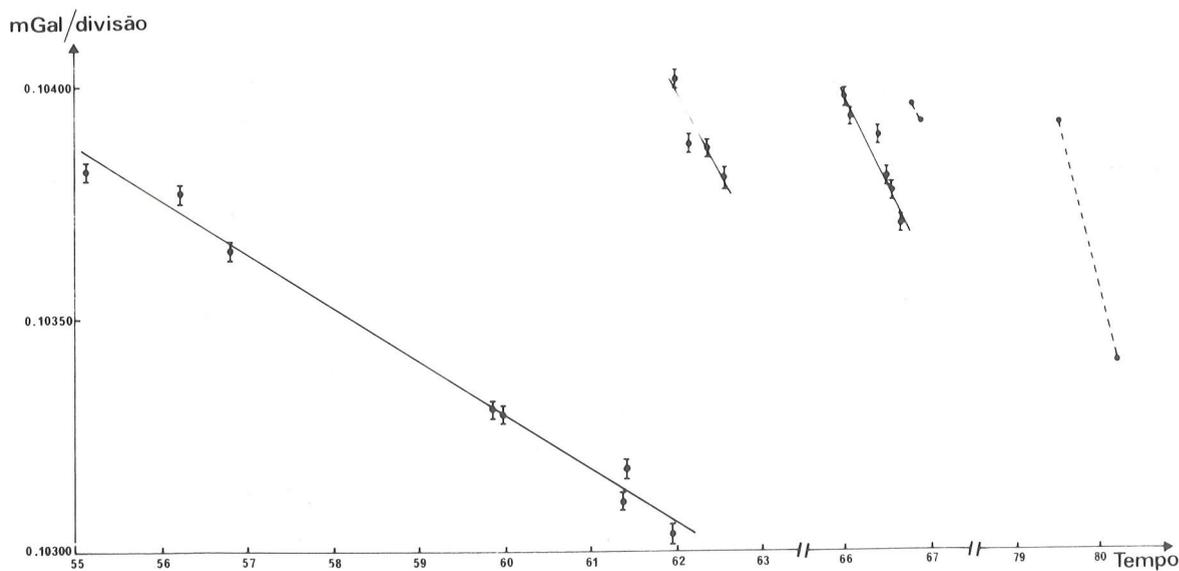


Figura 4 -- Evolução temporal do valor de escala. As barras indicam o desvio padrão das regressões.

Outra conclusão é que o período ótimo de uso do gravímetro, após cada recuperação do vácuo, dependerá da capacidade de vedação da válvula, que se deteriorou com o tempo. No nosso caso esta capacidade não se mostrou satisfatória.

A determinação do fator de escala antes e depois de cada expedição é necessária para assegurar a boa qualidade das observações gravimétricas. A extensão da faixa de valores de  $k$  na qual o instrumento poderá ser usado, dependerá da precisão necessária a cada levantamento, o que pode ser avaliado com a expressão (2).

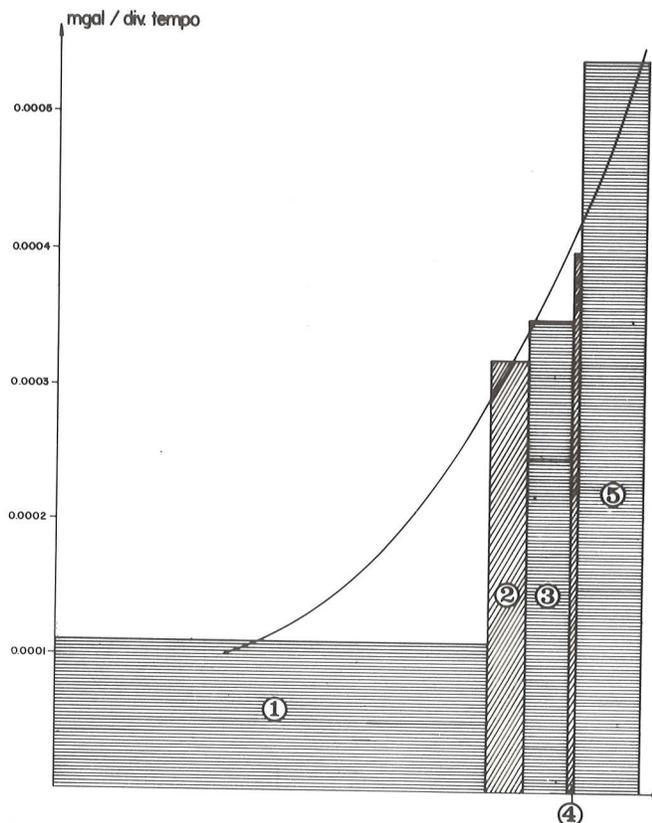


Figura 5 — Histograma da taxa de perda da pressão residual, nos períodos de:

1. 16.02.55 à 22.12.61
2. 29.12.61 à 22.07.62
3. 24.12.65 à 02.09.66
4. 04.10.66 à 13.04.67
5. 03.07.79 à 20.06.80

## BIBLIOGRAFIA

ANÔNIMO — 1954 — Instruction book worden gravity meter. Houston Technical Laboratories.

CAPUTO, M. — 1957 — On the behaviour of a worden gravimeter for periodical variations in external temperature and rapid variations of pressure. *Geophysical Prospecting* V, 193-201.

GAMA, L.I. e GUALDA, J. — 1968 — Base gravimétrica do Corcovado. Publicações do Serviço Gravimétrico, n.º 1, ON.

GANTAR, G. e MORELLI, G. — 1959 — Some pressure effects on the behaviour of Worden Gravity meters. *Geophysical Prospecting* VIII, 111-117.

McCONNELL, R.K., WINTER, P.J. e GELLER, R.F. — 1979 — Red Latino Americana de Normalización de Gravedad, 1977, SILAG.

MORELLI, C. — 1959 — Discussão sobre o artigo de Saxov (1959).

SAXOV, S. — 1959 — Variation of the Worden gravimeter small dial scale factor with time. *Geophysical Prospecting* VII, 146-157.

SCHOEFFLER, J. — 1975 — Gravimétrie appliqué aux recherches structurales et à la prospection pétrolière et minière, Tecnip, Paris.

TRAVASSOS, J.M., BRAGA, L.F.S., SOUZA, M.A. e FONTES, S.L., 1979 — Restabelecimento do Vácuo de Gravímetros Worden. 31a. Reunião Anual da SPBC, Fortaleza, CE.

WOOLARD, G.P. — 1950 — The gravity meter as a geodetic instrument. *Geophysics* XV, 1-23.