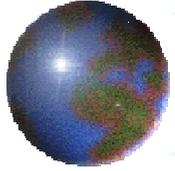


Universidade Federal do Paraná
Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura



GA119 - MÉTODOS GEODÉSICOS

Profa. Regiane Dalazoana



3 - Métodos Físicos em Geodésia

3.1 - Gravimetria e reduções gravimétricas

3.1.1 - Gravímetros;

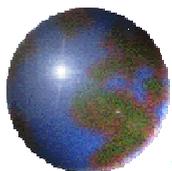
3.1.2 - Redes gravimétricas fundamentais;

3.1.3 - Levantamentos gravimétricos:

desenvolvimento, correções, distribuição dos erros e cálculos;

3.1.4 - Novas plataformas para a gravimetria e modelos gravimétricos globais.

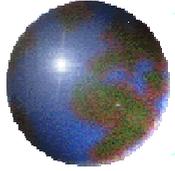
3.2 - Modelos Globais do Geopotencial



3.1 - Gravimetria e reduções gravimétricas

A Gravimetria proporciona o valor de g (módulo do vetor gravidade) na superfície física da Terra ou em pontos exteriores. No SI a unidade é ms^{-2} , em Geodésia é comum o uso do Gal e seus submúltiplos (mGal e μGal).

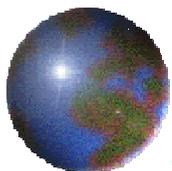
Nome	Símbolo	Equivalência
Gal	Gal	10^{-2}ms^{-2}
miligal	mGal	10^{-5}ms^{-2}
microgal	μGal	10^{-8}ms^{-2}



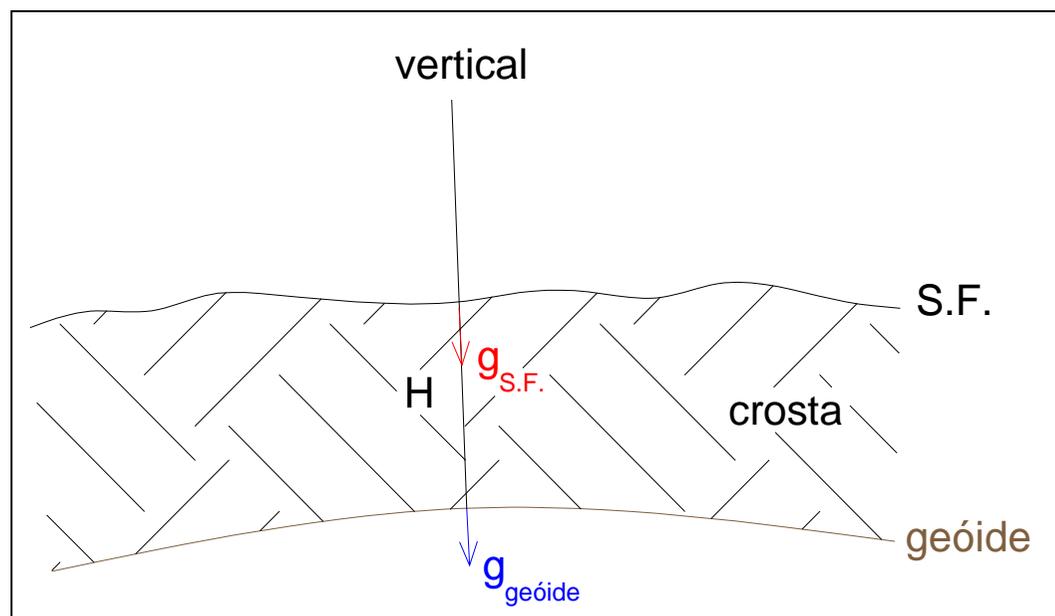
3.1 - Gravimetria e reduções gravimétricas

Quais aplicações fazem uso do valor da gravidade medido na superfície física da Terra? - Alguns exemplos:

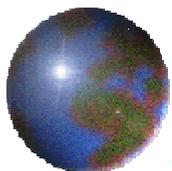
Exemplo 1: ANOMALIA DA GRAVIDADE



- Usualmente o local onde necessitamos o conhecimento da gravidade é diferente daquele onde podemos medir. A obtenção do valor da gravidade nos pontos de interesse (diferentes dos locais onde foram realizadas as observações) é feita com base em reduções gravimétricas.



- Por exemplo: aplicações que fazem uso do valor observado reduzido ao nível do geóide (para esta redução é necessário se efetuar a consideração do que preenche a crosta (material) entre o ponto na superfície física e o geóide).

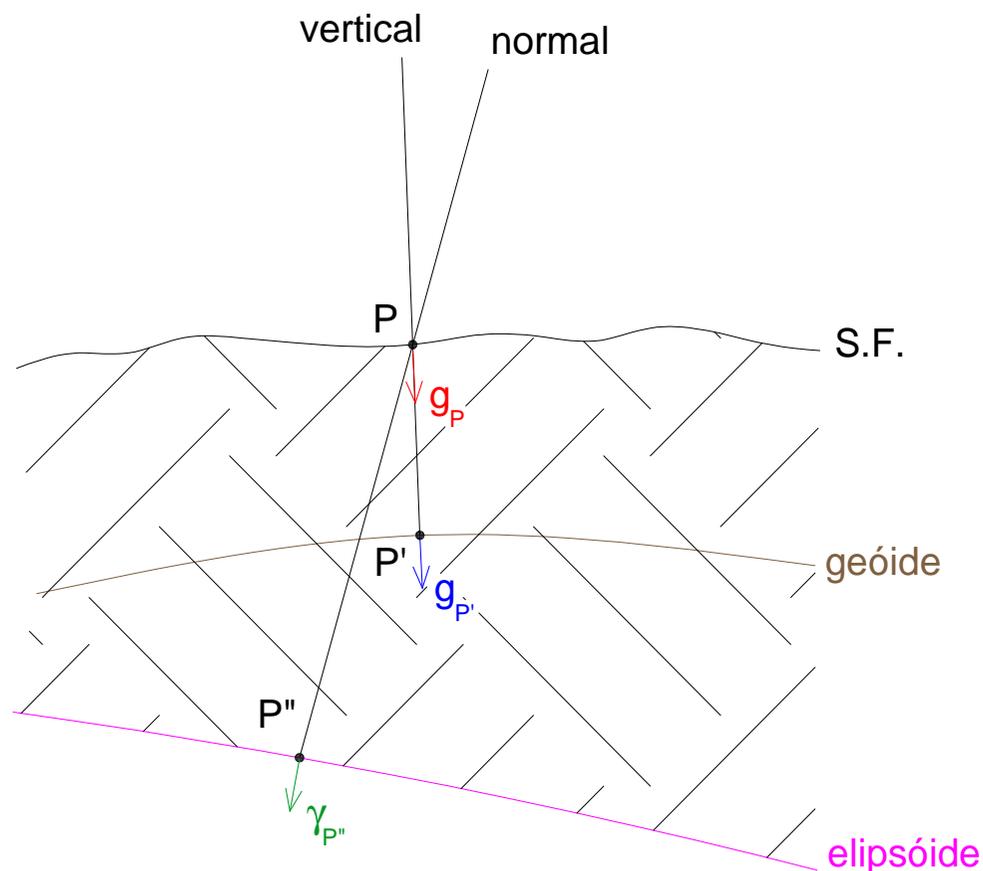


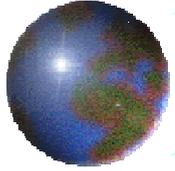
- Anomalia da gravidade (Δg_P) é a diferença entre a gravidade medida na S.F. e reduzida ao geóide ($g_{P'}$) e a gravidade normal sobre o elipsóide ($\gamma_{P''}$)

$$\Delta g_P = g_{P'} - \gamma_{P''}$$



Relaciona o afastamento entre as duas superfícies: geóide e elipsoide

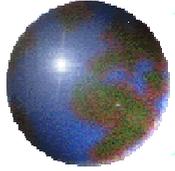




3.1 - Gravimetria e reduções gravimétricas

Quais aplicações fazem uso do valor da gravidade medido na superfície física da Terra? - Alguns exemplos:

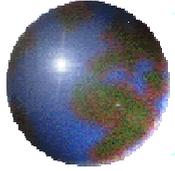
Exemplo 2: DISTÚRBO DA GRAVIDADE



3.1 - Gravimetria e reduções gravimétricas

Quais aplicações fazem uso do valor da gravidade medido na superfície física da Terra? - Alguns exemplos:

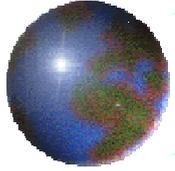
Exemplo 3: CÁLCULO DO NÚMERO GEOPOTENCIAL



3.1 - Gravimetria e reduções gravimétricas

Quais aplicações fazem uso do valor da gravidade medido na superfície física da Terra? - Alguns exemplos:

Exemplo 4: PROSPECÇÃO MINERAL, MODELAGEM GEOFÍSICA E ESTRUTURA DA TERRA

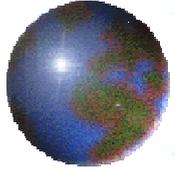


3.1 - Gravimetria e reduções gravimétricas

Quais aplicações fazem uso do valor da gravidade medido na superfície física da Terra? - **MOTIVAÇÃO:**

"Gravidade! O que é? Você não pode ver! Você não pode cheirar! Você não pode tocar! Mas está lá. Na realidade, está em todos os lugares. Enquanto a força da gravidade é fraca quando comparada com outras forças da natureza, tal como o magnetismo e a eletricidade, os seus efeitos são os mais dramáticos e os de mais longo alcance. A gravidade controla desde o movimento das marés do oceano até a expansão do universo."

Fonte: www.csr.utexas.edu/grace

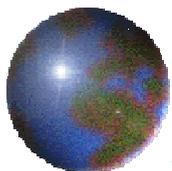


3.1 - Gravimetria e reduções gravimétricas

Motivação

Para que conhecer o campo da gravidade?

- Desenvolvimento geóides locais (MAPGEO por exemplo)
- Desenvolvimento de Geóide global (permite a unificação dos diferentes sistemas locais numa única referência para a altitude, por exemplo)
- Quem sabe no futuro - a transformação de altitudes elipsoidais em ortométricas. O objetivo é obter altitudes a partir do conhecimento do geóide + posicionamento GPS



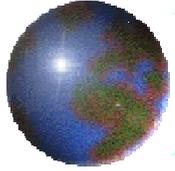
3.1 - Gravimetria e reduções gravimétricas

Motivação

Para que conhecer o campo da gravidade?

- Determinação precisa de órbitas \Rightarrow o que implica numa melhoria direta no posicionamento (GPS, por exemplo)



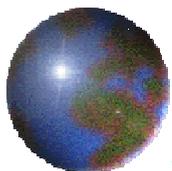


3.1 - Gravimetria e reduções gravimétricas

Motivação

Para que conhecer o campo da gravidade?

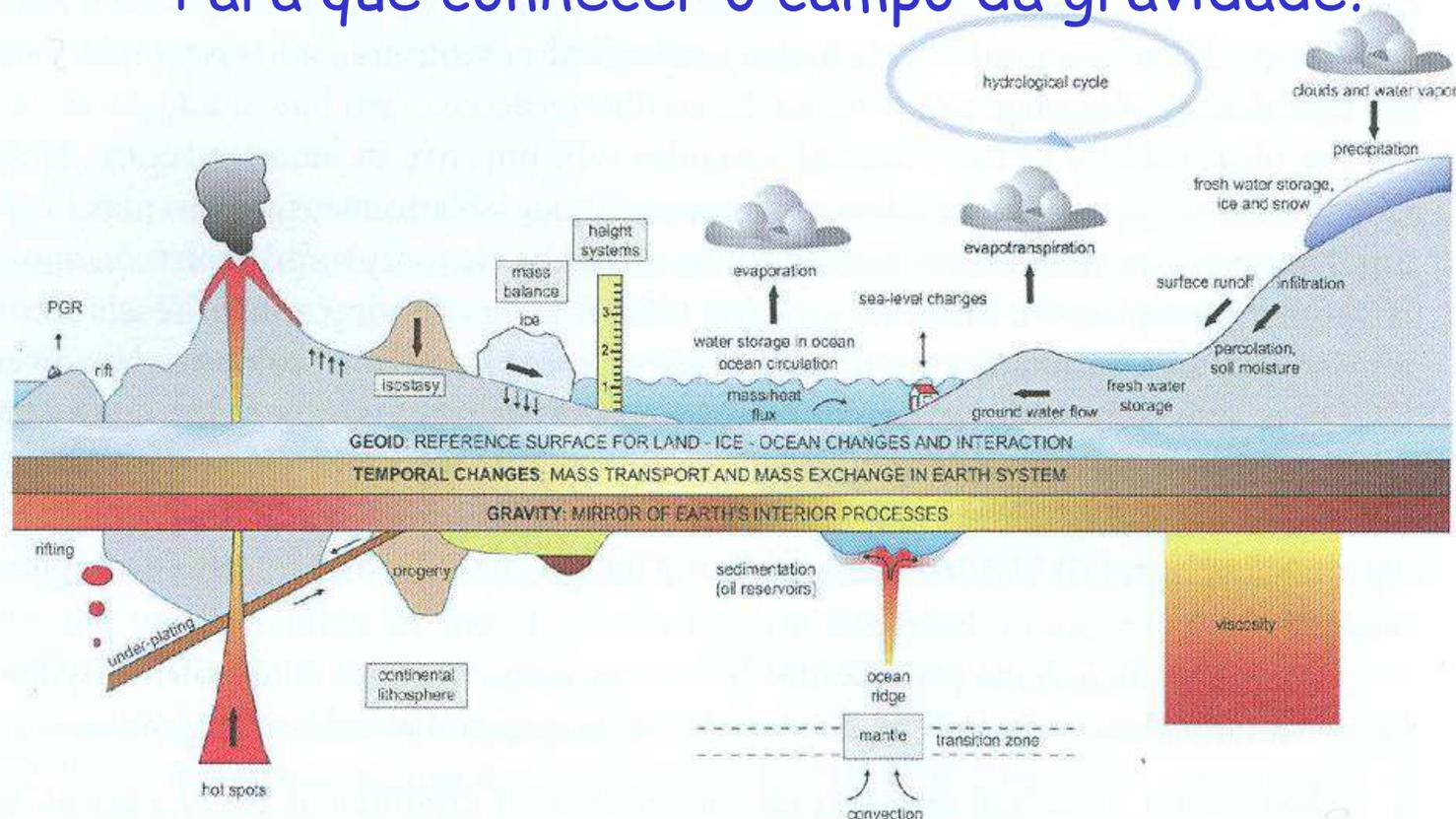
- Necessidade de validar informações, por exemplo: dados de gravidade provenientes de sensores aerotransportados ou a bordo de satélites são validados (checados) através de dados de gravidade terrestres
- Variações do campo da gravidade estão relacionadas com movimentação de massas no planeta



3.1 - Gravimetria e reduções gravimétricas

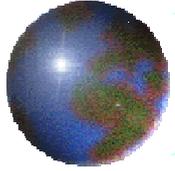
Motivação

Para que conhecer o campo da gravidade?



FONTE: H.-P. Plag & M. Pearlman (eds.), 2009. Global Geodetic Observing System, Springer, pp. 118

Os processos geofísicos estão associados com a redistribuição de massas no planeta e variações na dinâmica, afetando então o campo da gravidade, a geometria e a rotação da Terra.

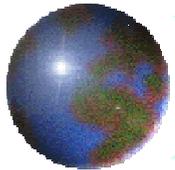


3.1 - Gravimetria e reduções gravimétricas

Motivação

Para que conhecer o campo da gravidade?

- Uma melhor determinação do campo da gravidade contribui também para o melhor conhecimento da litosfera
- Estruturas e variações de massa e transporte de energia dentro e entre os componentes da Terra
- O conhecimento do geóide combinado com dados de altimetria por satélites é fundamental para determinação da circulação superficial do oceano
- O melhor conhecimento da circulação global oceânica é a chave para entender os processos de transporte, como o transporte de plâncton, de águas poluídas, de calor e nutrientes; velocidades de correntes

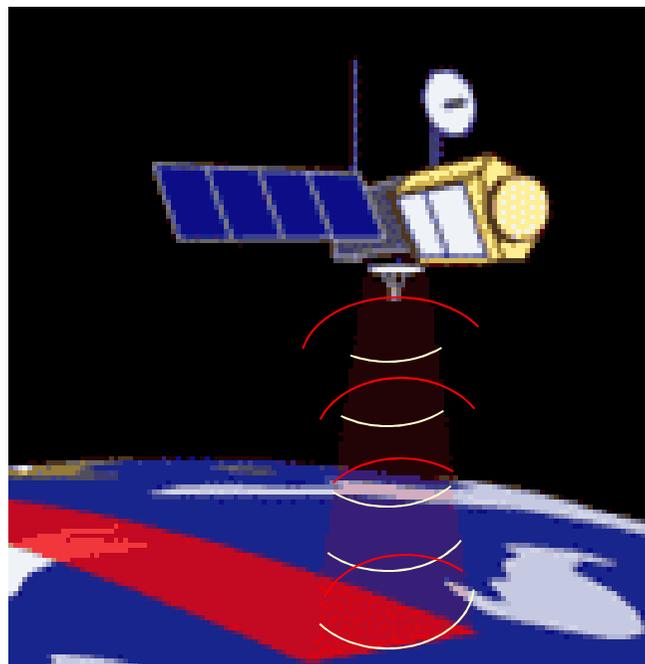


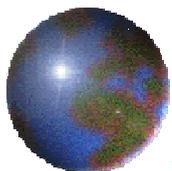
3.1 - Gravimetria e reduções gravimétricas

Motivação

Para que conhecer o campo da gravidade?

- Um campo da gravidade mais acurado melhora o modelamento da órbita dos satélites (usados na altimetria satelital), reduzindo o erro da componente radial



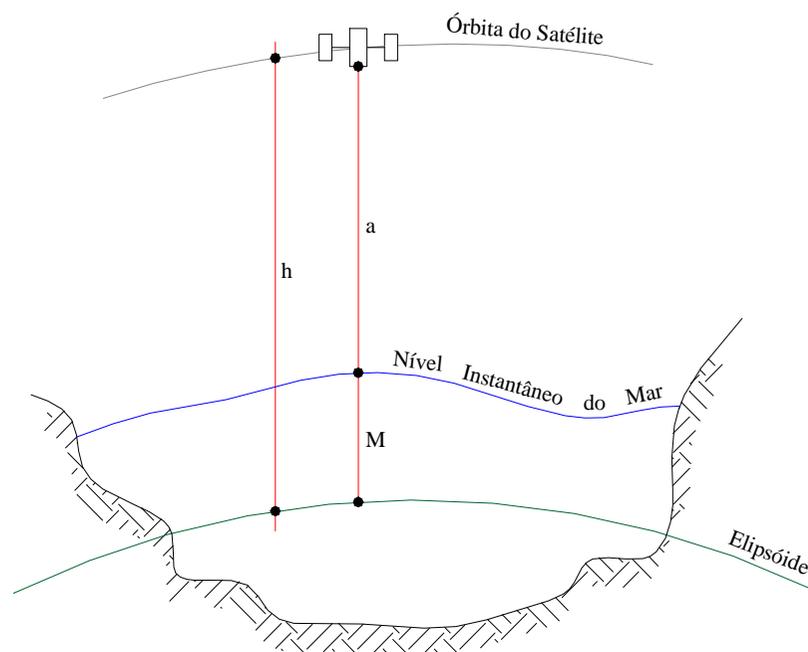


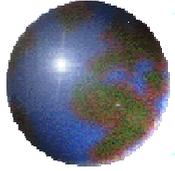
3.1 - Gravimetria e reduções gravimétricas

Motivação

Para que conhecer o campo da gravidade?

- A componente radial afeta diretamente as medidas realizadas pelo altímetro

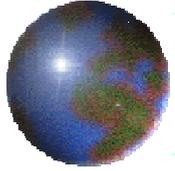




3.1 - Gravimetria e reduções gravimétricas

A determinação do módulo do vetor da gravidade g se baseia na observação dos efeitos físicos que esta provoca. Portanto, a determinação de sua grandeza é realizada por medida indireta, relacionada a outras grandezas, as quais são o objeto de mensurações diretas (por ex., o deslocamento de uma massa presa por uma mola e submetida à ação do campo da gravidade).

A determinação de g pode ser obtida por dois métodos: o absoluto e o relativo.



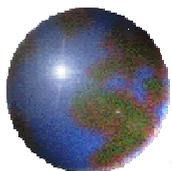
3.1 - Gravimetria e reduções gravimétricas

A gravimetria pode fornecer valores da gravidade no ponto onde é instalado o equipamento medidor - medições absolutas (necessidade de ocupação de um único ponto no levantamento)

Ou diferenças de gravidade - medições relativas (necessidade de ocupação de dois pontos, sendo que se em um deles o valor de g é conhecido é possível determinar o valor de g no segundo ponto - mesmo conceito do nivelamento)

A) MENSURAÇÕES ABSOLUTAS DA GRAVIDADE

- Medidas pendulares e baseadas em queda livre (ambas introduzidas por Galileu Galilei - 1564-1642)

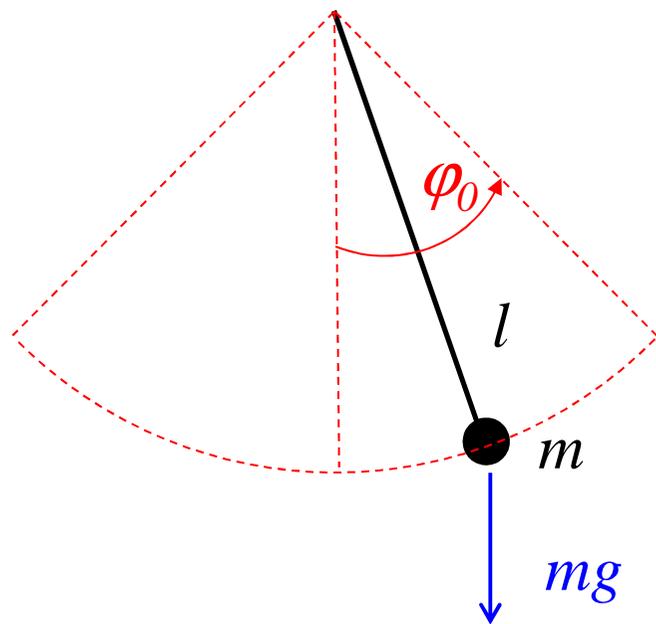


3.1 - Gravimetria e reduções gravimétricas

A) MENSURAÇÕES ABSOLUTAS DA GRAVIDADE

O método pendular é considerado um método clássico de obtenção de g , não é mais empregado atualmente, mas foi utilizado por cerca de 300 anos na gravimetria.

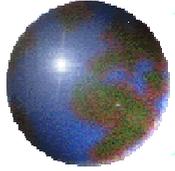
Aqui o período do **pêndulo** (T) é expresso em função do seu comprimento (l) e do valor da gravidade (g):



$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \left(1 + \frac{\varphi_0^2}{16} + \dots \right)$$

φ_0 é a amplitude do pêndulo, mantida pequena ($\varphi_0 \ll l$), pode-se dizer que:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

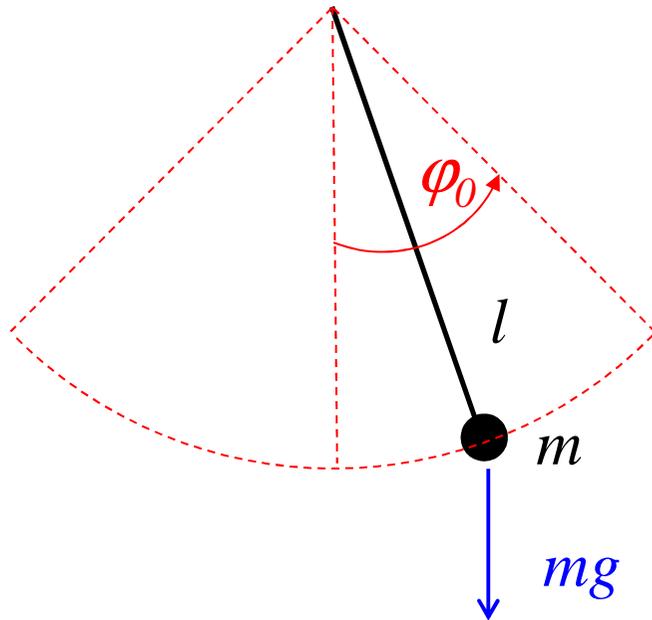


3.1 - Gravimetria e reduções gravimétricas

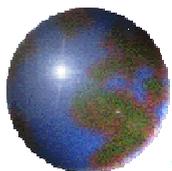
A) MENSURAÇÕES ABSOLUTAS DA GRAVIDADE

Apesar do conceito simples, a realização prática é complexa.

Para g com precisão de 1mGal é necessário conhecer o período com $0,5 \times 10^{-6}$ e o comprimento com 10^{-6}



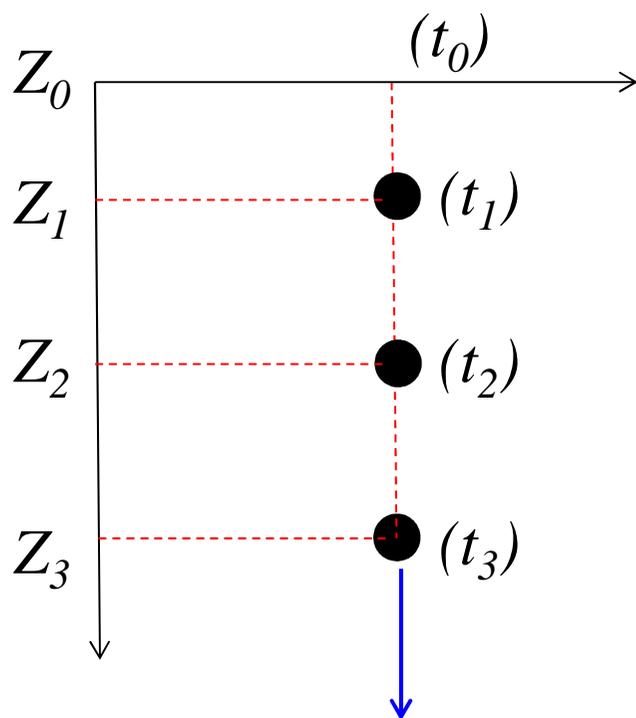
$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$



3.1 - Gravimetria e reduções gravimétricas

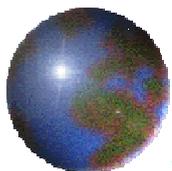
A) MENSURAÇÕES ABSOLUTAS DA GRAVIDADE

Nos métodos baseados em **queda livre**, se forem observados 3 pares de posição (Z) e instante (t) para um corpo em queda livre, da equação do movimento é possível derivar a seguinte equação para a gravidade:



$$g = 2 \frac{(Z_3 - Z_1)(t_2 - t_1) - (Z_2 - Z_1)(t_3 - t_1)}{(t_3 - t_1)(t_3 - t_2)(t_2 - t_1)}$$

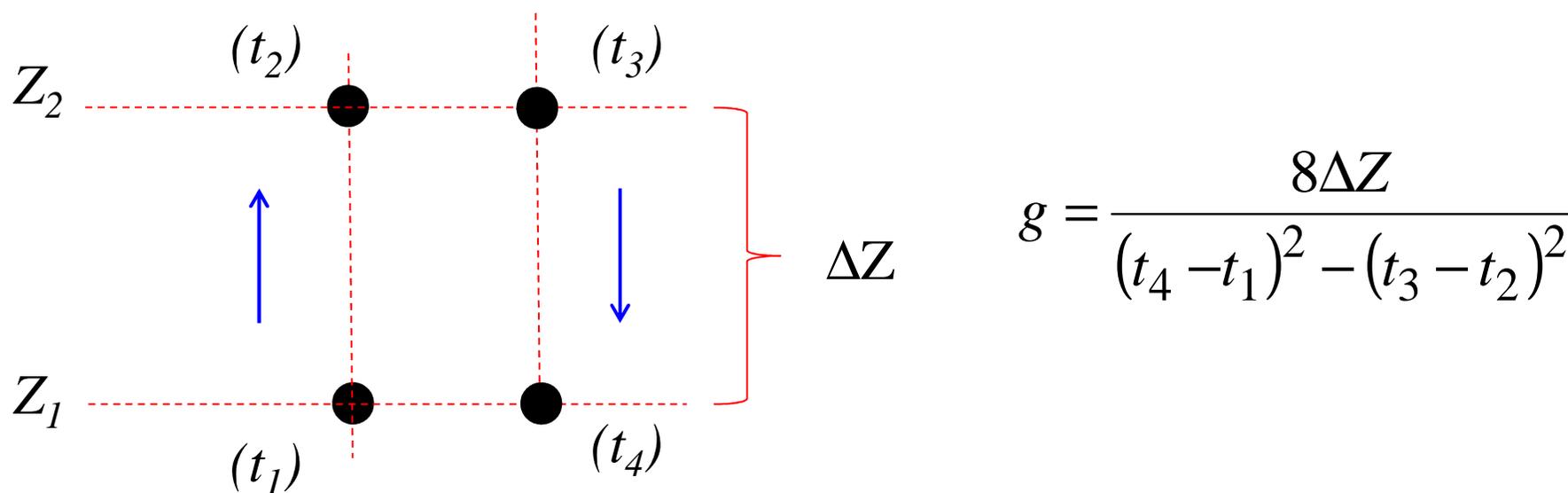
Muitas observações conduzem a um ajustamento



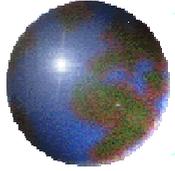
3.1 - Gravimetria e reduções gravimétricas

A) MENSURAÇÕES ABSOLUTAS DA GRAVIDADE

Pode-se também observar os instantes de passagem (t) do corpo em *ascensão e queda* pelas posições (Z) - *método das duas estações*:



Muitas observações conduzem a um ajustamento

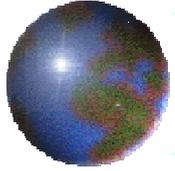


3.1 - Gravimetria e reduções gravimétricas

A) MENSURAÇÕES ABSOLUTAS DA GRAVIDADE

Para g com precisão de $1 \mu\text{Gal}$ (10^{-8} ms^{-2}), supondo queda de 20cm num tempo de 0,2s é necessário precisão de $\pm 0,2\text{nm}$ (10^{-9} m) e $\pm 0,1\text{ns}$ para posição e tempo respectivamente.

A determinação do valor de g também pode ser feita com o uso de **gravímetros** absolutos.



3.1 - Gravimetria e reduções gravimétricas

B) MENSURAÇÕES RELATIVAS DA GRAVIDADE

No método **pendular**: Mede-se o período de um pêndulo de comprimento considerado invariável em duas estações, uma com gravidade conhecida e outra na qual queremos determinar o valor de g .

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

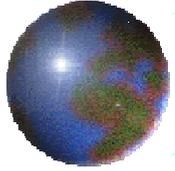
No ponto P_1 :

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g_1}}$$

No ponto P_2 :

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g_2}}$$

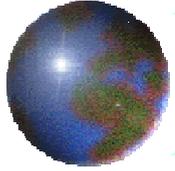
$$g_2 = g_1 \frac{T_1^2}{T_2^2}$$



3.1 - Gravimetria e reduções gravimétricas

B) MENSURAÇÕES RELATIVAS DA GRAVIDADE

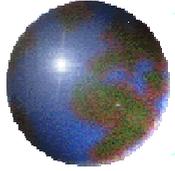
Nos **gravímetros** relativos uma força antagônica é utilizada para manter uma massa teste em equilíbrio sob ação da gravidade. As variações da gravidade são obtidas a partir das correspondentes variações da contraforça, que pode ser de natureza elástica ou magnética.



3.1.1 - Gravímetros

Antes do advento dos gravímetros as determinações relativas eram realizadas com pêndulos, exigindo um operador especializado e o rendimento máximo alcançava uma estação por dia.

No início da década de 30, surgiram os gravímetros portáteis. Pequenos, leves e de manejo simples, porém de extrema delicadeza quanto a sua constituição interna, produziram em termos de Gravimetria, o mesmo impacto que o GPS no posicionamento. Cinco minutos bastam para levantar uma estação com precisão dez vezes superior à do método pendular (Gemael, 1999).

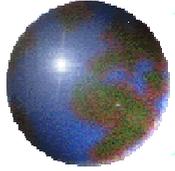


3.1.1 - Gravímetros

Gravímetros são instrumentos que conduzem a medição de valores da gravidade ou diferenças de gravidade.

- Valores de g - gravímetros absolutos (1 ponto ocupado)
- Diferenças de g - gravímetros relativos (2 pontos ocupados)

As mensurações absolutas da gravidade estão relacionadas diretamente com padrões de comprimento (distância) e de tempo, enquanto que nas medidas relativas é empregada uma força contrária na determinação das diferenças de gravidade.

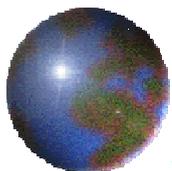


3.1.1 - Gravímetros

GRAVÍMETROS ABSOLUTOS:

Exemplo: FG-5





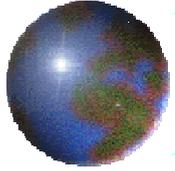
3.1.1 - Gravímetros

GRAVÍMETROS ABSOLUTOS:

Exemplo: JILAG-3

Numa queda com duração de 2s são efetuadas 200 medidas de tempo e distância que ajustadas geram um valor de g . Foi usado na implantação da RENECA





3.1.1 - Gravímetros

GRAVÍMETROS RELATIVOS:

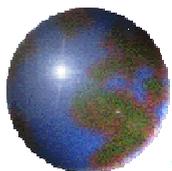
Gravímetros relativos - Princípio de Funcionamento

Usualmente no gravímetro, tem-se o peso de uma esfera suspensa por uma mola sendo contrabalançado pela força elástica da mola. A variação da posição de equilíbrio do sistema em função da variação da gravidade permite a avaliação desta última (Gemael, 1999).

Designando por l_0 o comprimento da mola livre e por l o comprimento quando carregada, a lei de Hooke institui que a deformação é proporcional a força que a produz :

$$mg = k(l - l_0) = k \Delta l$$

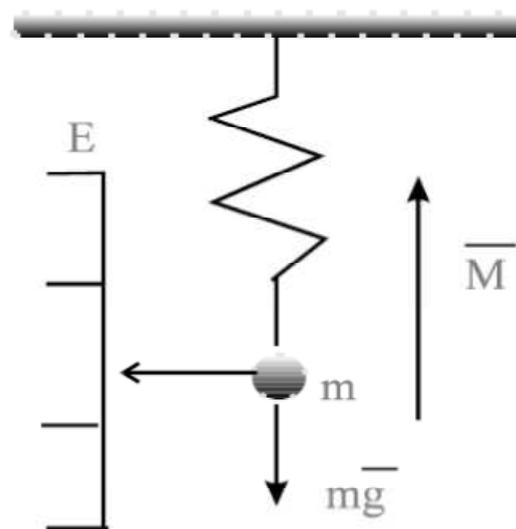
K é um coeficiente de proporcionalidade que depende das características elásticas de cada mola



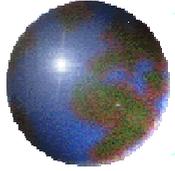
3.1.1 - Gravímetros

Gravímetros relativos - Princípio de Funcionamento

Numa segunda estação teremos $g + \delta g$ e , conseqüentemente um $\Delta l + \delta l$, a deformação δl pode ser medida pela diferença das leituras efetuadas numa escala E , nas duas estações. Da variação da deformação pode-se remontar à variação da gravidade:



$$mg = k (l - l_0) = k \Delta l$$



3.1.1 - Gravímetros

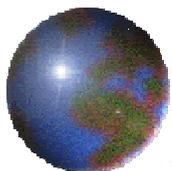
Gravímetros relativos - Princípio de Funcionamento

$$\delta g = C \delta l = C(E_2 - E_1)$$

sendo:

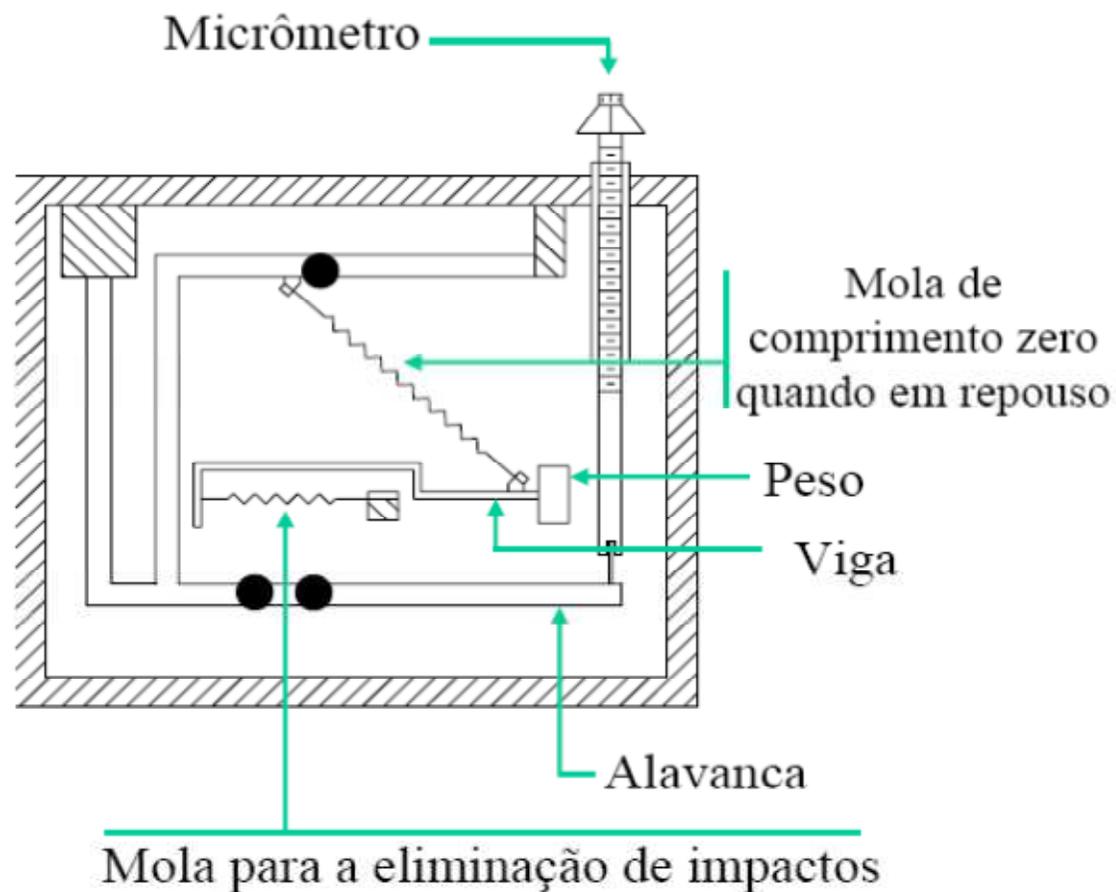
C= fator de calibração previamente definido

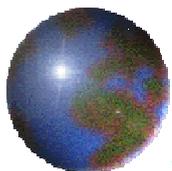
E₂= leitura na escala na 2^o estação; **E₁**= leitura na escala na 1^o estação



3.1.1 - Gravímetros

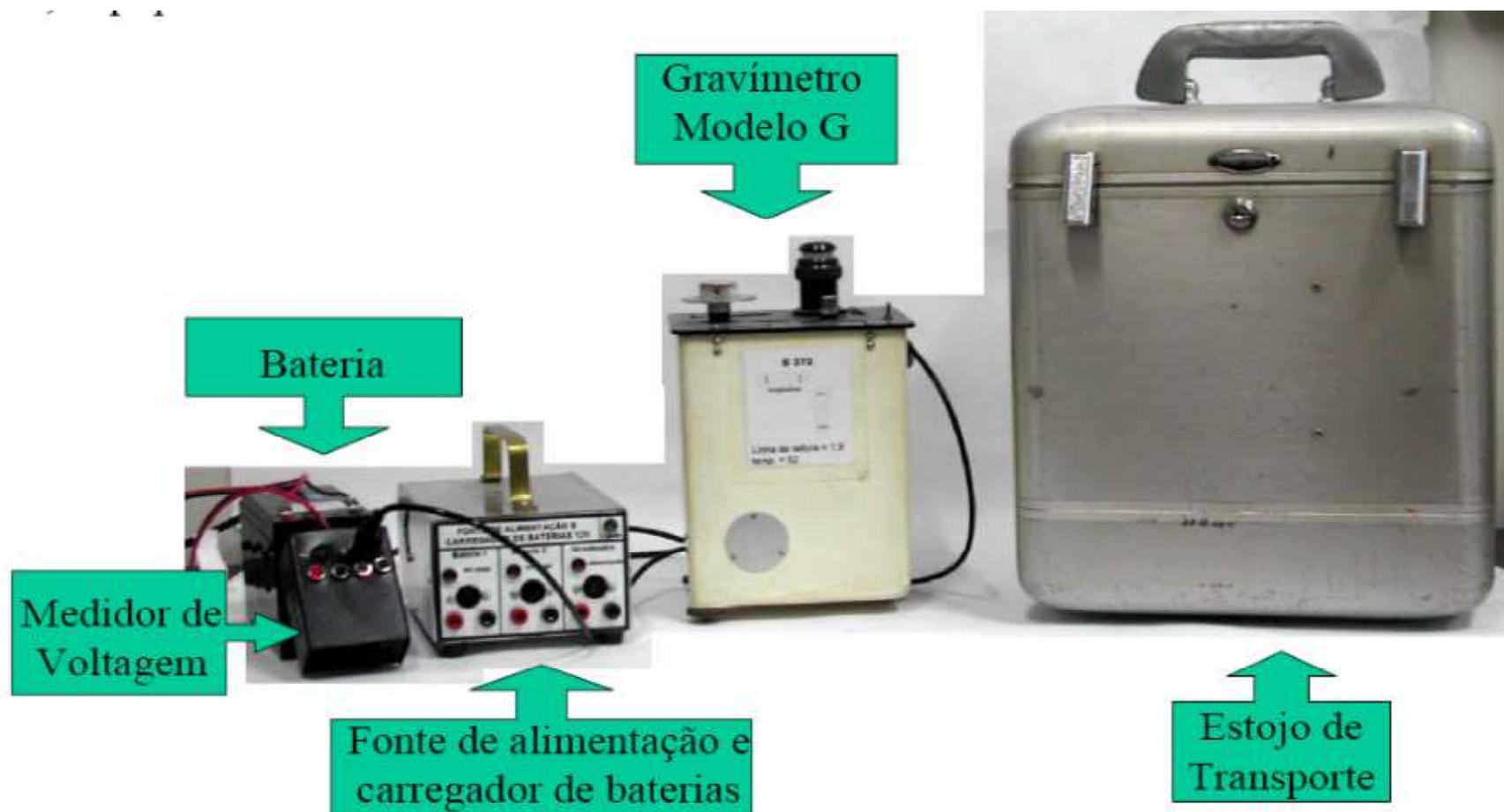
Gravímetros relativos - Princípio de Funcionamento

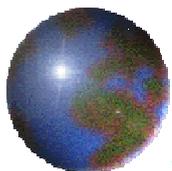




3.1.1 - Gravímetros

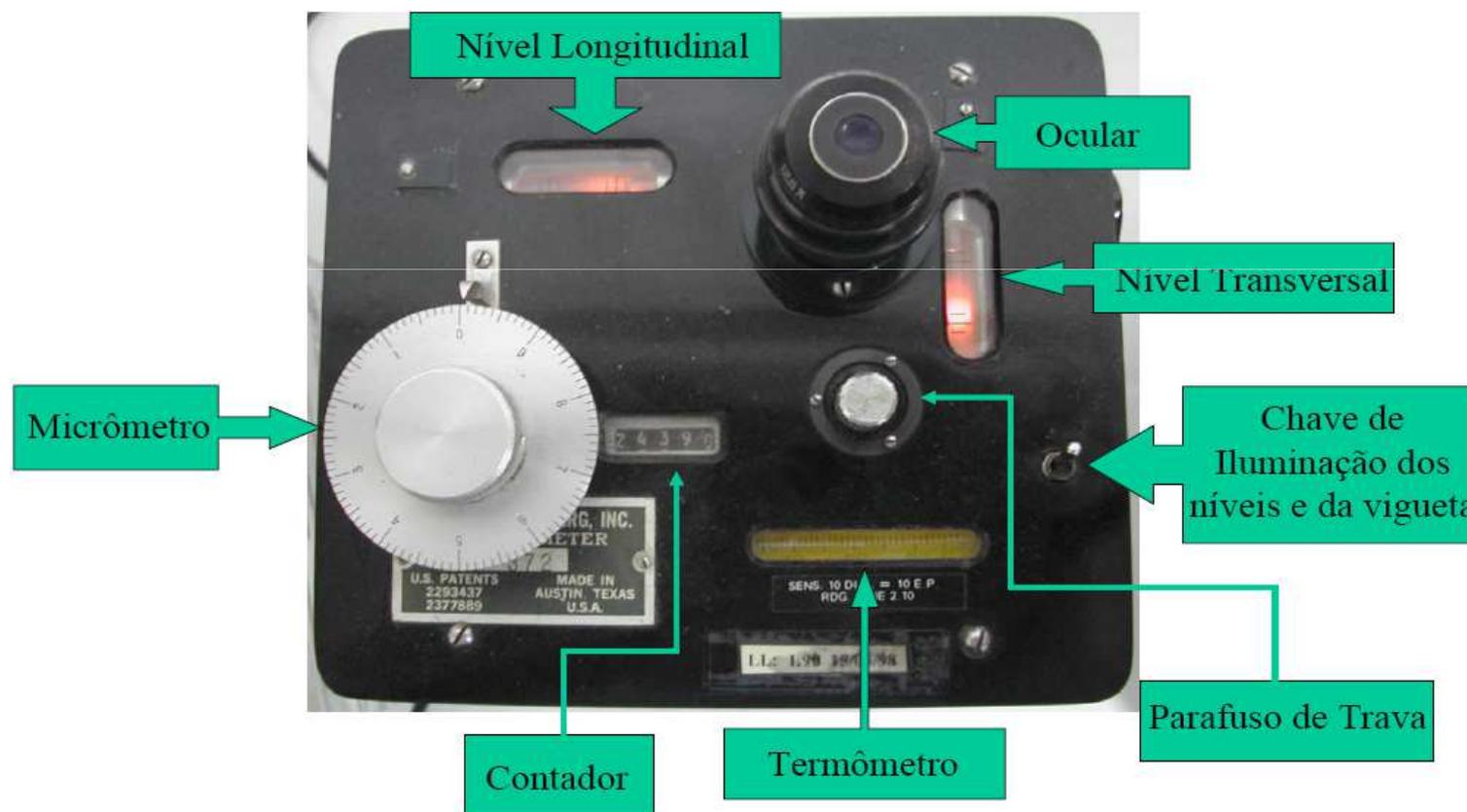
Gravímetros - Exemplo LaCoste & Romberg (analógico)

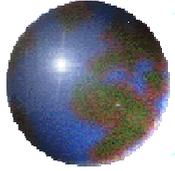




3.1.1 - Gravímetros

Gravímetros - Exemplo LaCoste & Romberg (analógico)

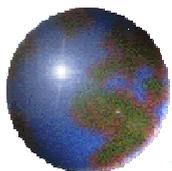




3.1.1 - Gravímetros

Gravímetros - Exemplo LaCoste & Romberg (analógico)

O interior do gravímetro é termostaticado, ou seja, sua temperatura é mantida constante uma vez que o sistema elástico do gravímetro sofre influências devido à variação da temperatura. A temperatura é mantida constante em um valor pré-estabelecido pelo fabricante, por um sistema elétrico. Esta temperatura é chamada de temperatura de operação do gravímetro, e varia entre os gravímetros, ou seja, depende do equipamento.



3.1.1 - Gravímetros

Gravímetros - Exemplo LaCoste & Romberg (analógico)

O gravímetro possui uma linha de leitura que serve de referência para as leituras realizadas. A cada leitura esta linha deve ser posicionada em uma posição específica da escala (depende do equipamento).

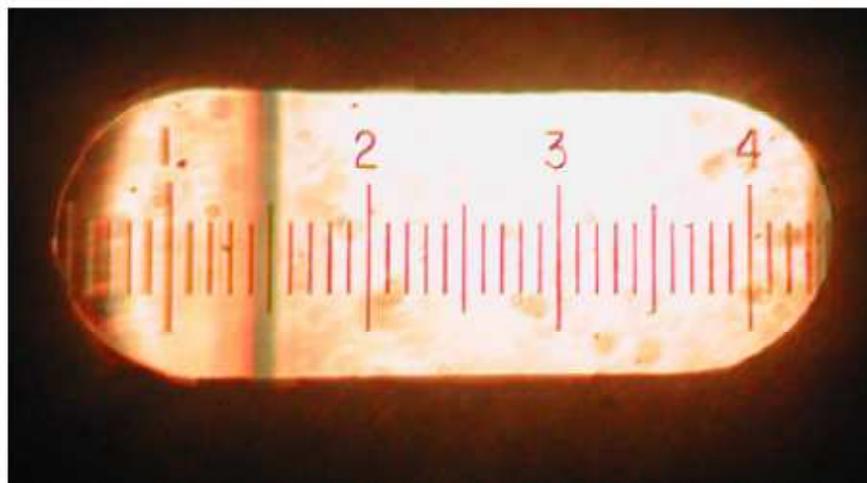
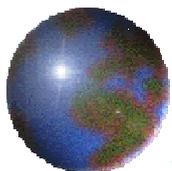


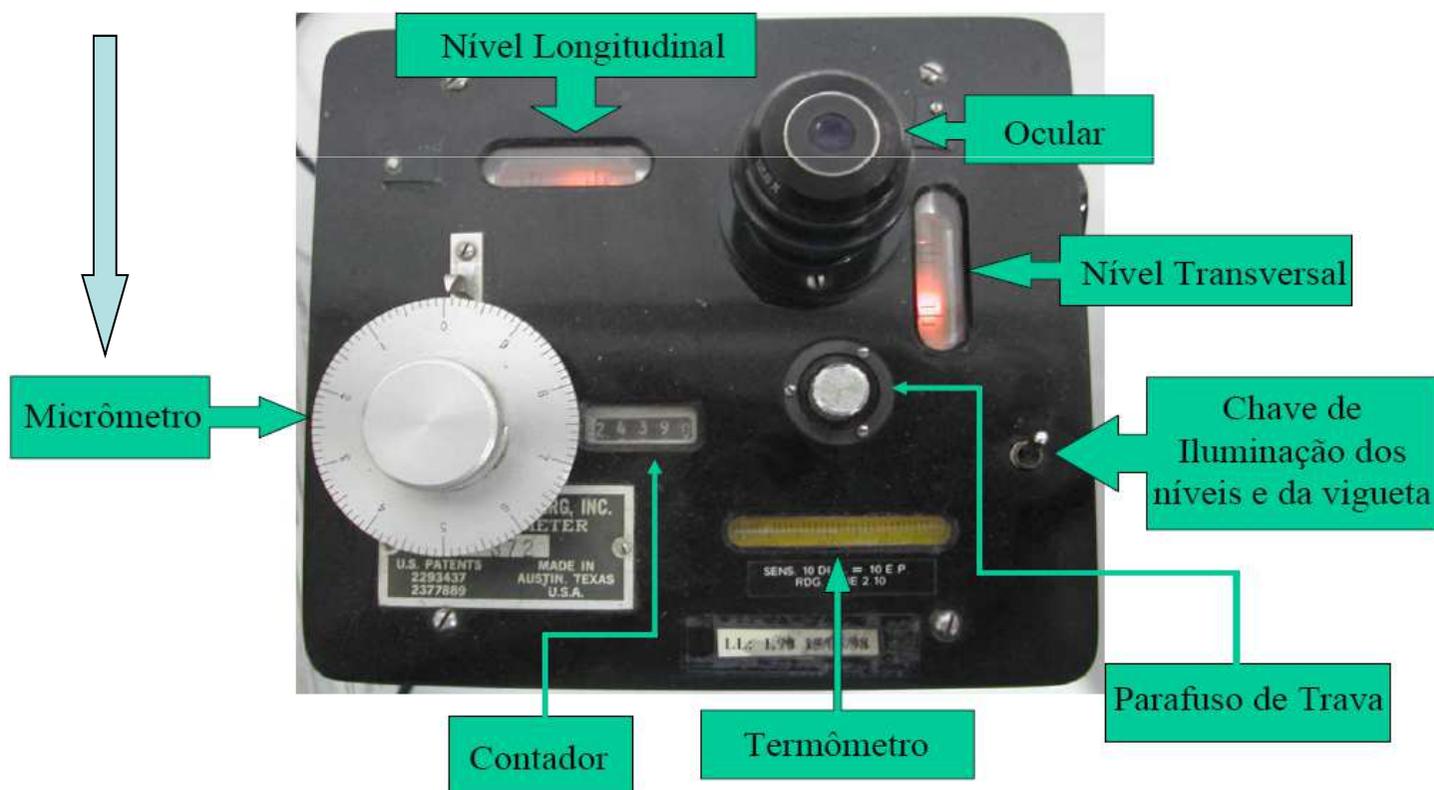
Imagem da escala e linha de leitura observada pela ocular do Gravímetro

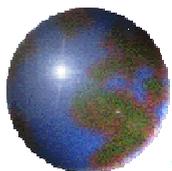


3.1.1 - Gravímetros

Gravímetros - Exemplo LaCoste & Romberg (analógico)

O posicionamento da linha de leitura é feito através de movimentos do micrômetro.

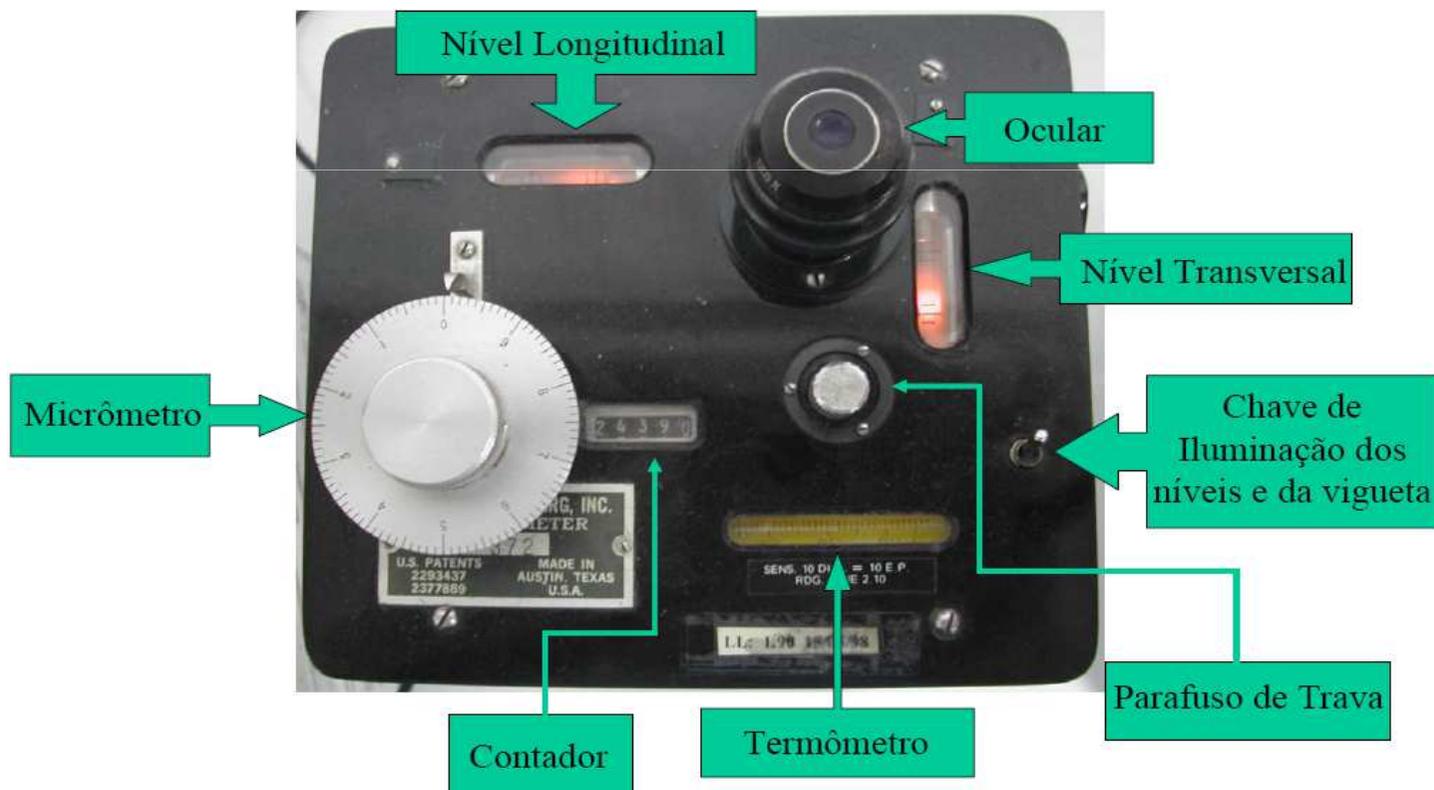


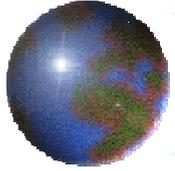


3.1.1 - Gravímetros

Gravímetros - Exemplo LaCoste & Romberg (analógico)

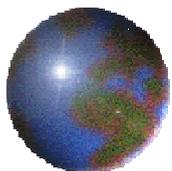
A leitura é feita no contador + micrômetro e é dada em unidades instrumentais





3.1.1 - Gravímetros

As leituras realizadas no gravímetro (analógico) estão em unidades instrumentais, através de uma tabela de calibração, fornecida pelo fabricante no manual do equipamento, as mesmas são convertidas para mGal, que é a unidade usada para o valor de g



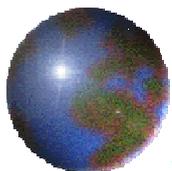
3.1.1 - Gravímetros

Gravímetros - Exemplo Scintrex (digital)

Tecnologia eletrônica
na observação,
registro, correção,
redução, ajustamento
e saída digital dos
dados

Cedido por
Faggion, 2007



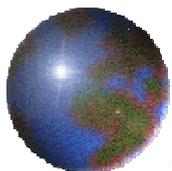


3.1.1 - Gravímetros

Gravímetros -
Exemplo
Scintrex
(digital)



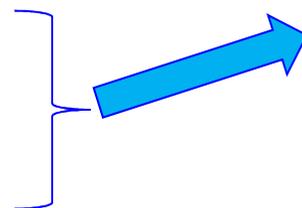
Cedido por
Faggion, 2007



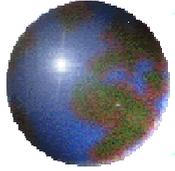
Além da gravimetria terrestre que restringe-se a parte continental do globo, existem outras formas de obtenção do valor da gravidade tanto na parte continental como na parte oceânica.

Possibilidades de obtenção:

- Gravímetros em navios
- Gravímetros em aviões
- Análise da órbita perturbada dos satélites
- Altimetria por satélites
- Missões satelitais dedicadas ao campo da gravidade (por exemplo: CHAMP, GRACE, GOCE)



Plataformas móveis
(helicópteros,
veículos - menos
usados)

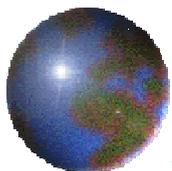


3.1.2 - Redes Gravimétricas Fundamentais

Datum Gravimétrico

De 1898 até 1904 foram conduzidas observações absolutas da gravidade em Potsdam na Alemanha (estação pendular no Observatório de Potsdam), esta foi estabelecida como Datum Gravimétrico mundial em 1909, mantida assim até 1971.

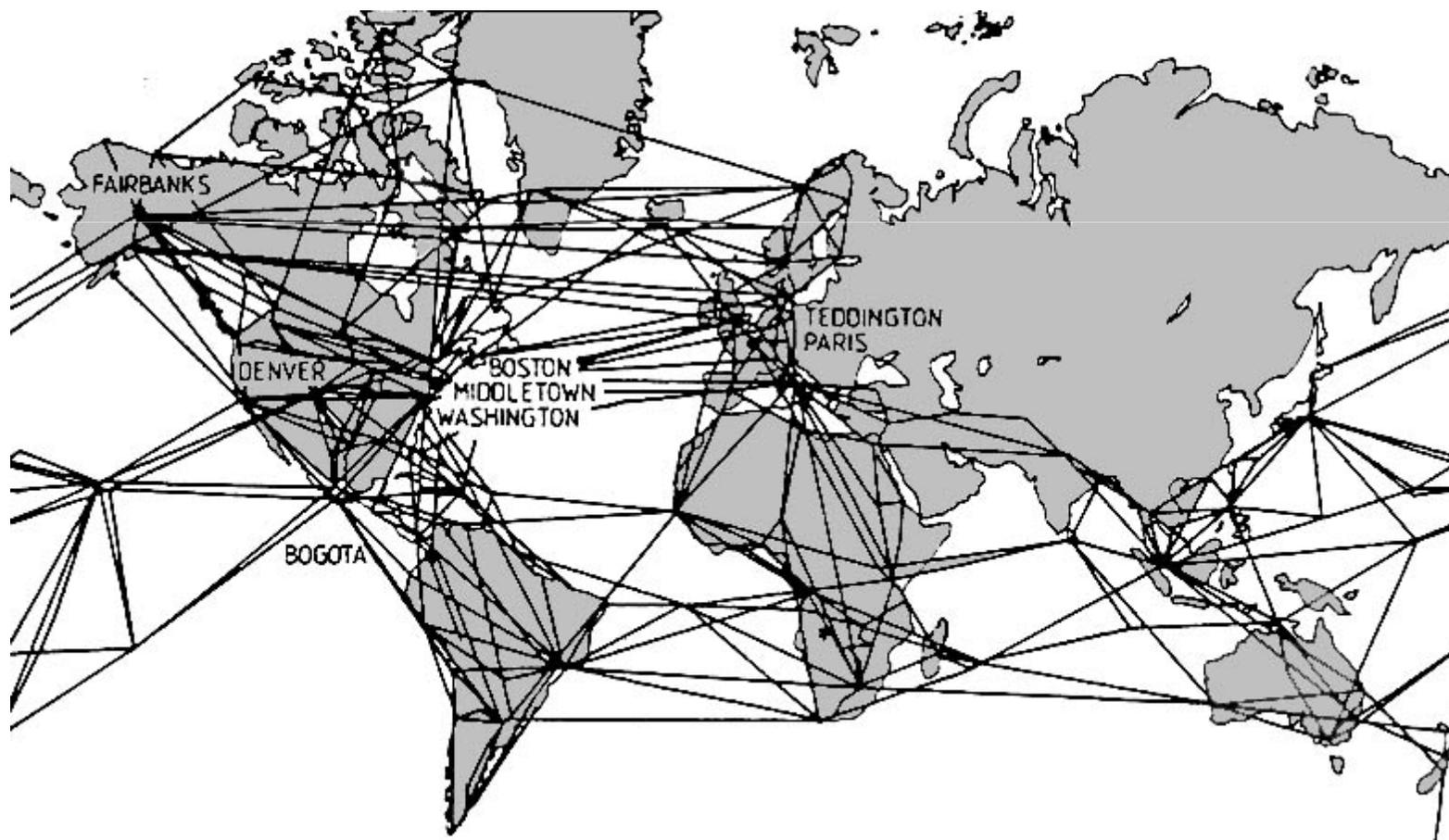
Em 1971 foi criada a IGSN-71 (International Gravity Standardization Net), formada por 1854 estações de primeira ordem cujos valores de g , após ajustamento, passaram a definir o datum gravimétrico mundial, ao qual os levantamentos gravimétricos devem estar vinculados direta ou indiretamente. No Brasil são 20 estações pertencentes a essa rede.

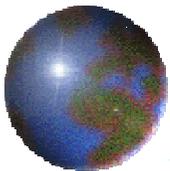


3.1.2 - Redes Gravimétricas Fundamentais

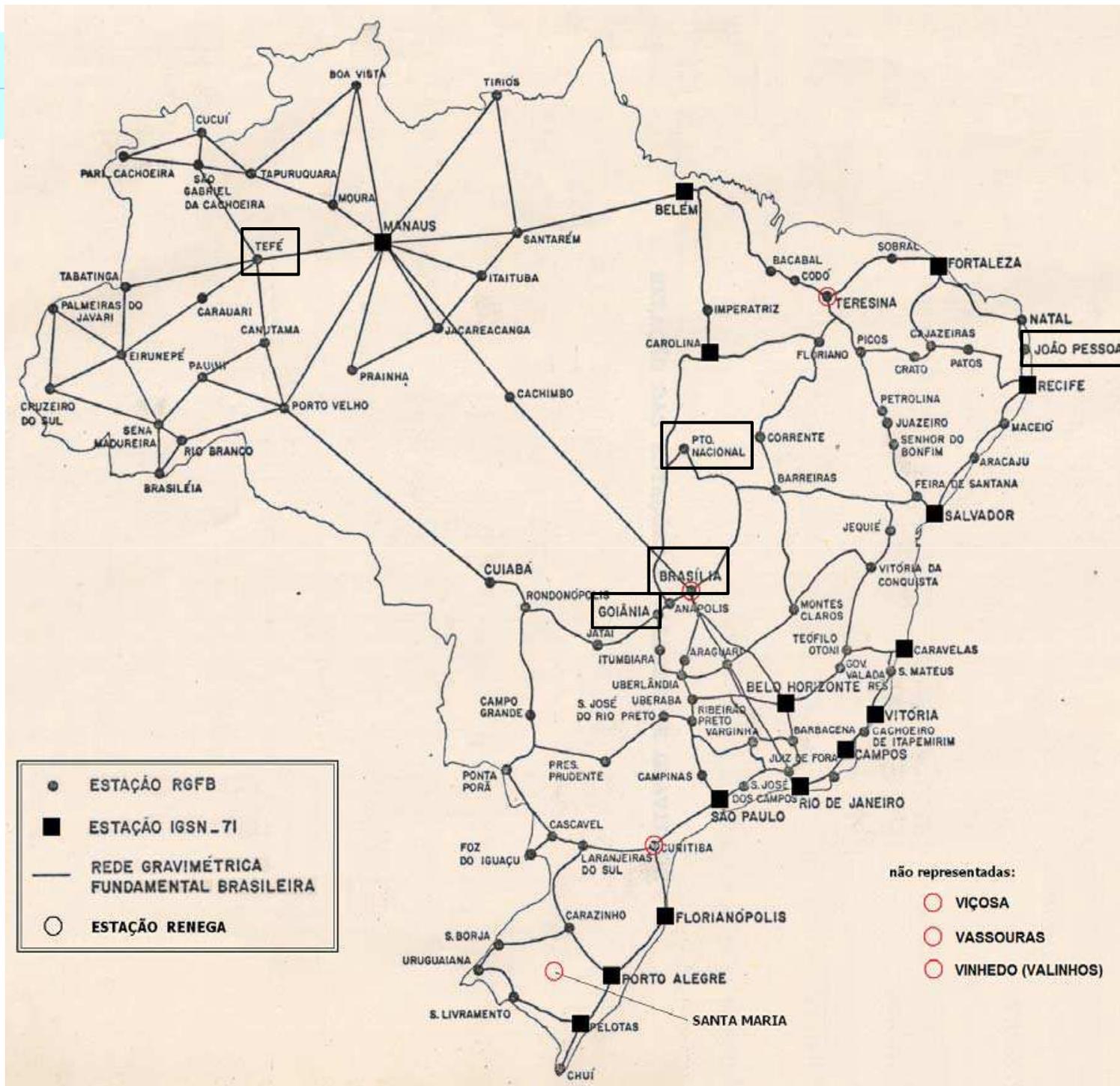
Datum Gravimétrico

IGSN-71 (International Gravity Standardization Net) - algumas estações

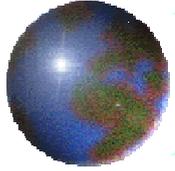




IGSN-71 no Brasil



Fonte:
Luz, 2008

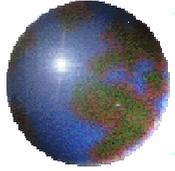


3.1.2 - Redes Gravimétricas Fundamentais

Redes Nacionais: de primeira ordem, vinculadas a IGSN-71, implantadas pelo Observatório Nacional com a colaboração de várias universidades

Redes Estaduais que servem de apoio aos levantamentos regionais e de densificação

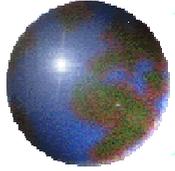
RENEGA (Rede Nacional de Estações Gravimétricas Absolutas): implantada pela UFPR e Universidade de Hannover é composta por de 7 estações absolutas (Teresina, Brasília, Viçosa, Vassouras, Vinhedo, Curitiba e Santa Maria). Serve de base para a calibração de gravímetros



3.1.2 - Redes Gravimétricas Fundamentais

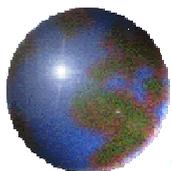
No Brasil, em 1956, o IBGE iniciou um programa visando o estabelecimento do datum horizontal. Durante o projeto, foram determinadas mais de 2.000 estações gravimétricas em torno do VT Chuá, ponto origem, situado em Minas Gerais. Com o término dos trabalhos, o IBGE executou diversos outros levantamentos gravimétricos em conjunto com universidades e institutos de pesquisa

A gravimetria adquiriu caráter sistemático a partir de 1990, quando o IBGE estabeleceu estações gravimétricas visando recobrir os grandes vazios de informação de aceleração da gravidade que existiam, especialmente nas regiões norte, centro-oeste e nordeste do Brasil. Desde então, mais de 26.000 estações foram estabelecidas nestas regiões



3.1.2 - Redes Gravimétricas Fundamentais

Desde 2006, campanhas de levantamentos gravimétricos vem sendo executadas sobre as linhas principais de nivelamento, com a finalidade de auxiliar no cálculo das altitudes SIRGAS e facilitar a conexão da Rede Altimétrica Brasileira com as Redes dos países vizinhos

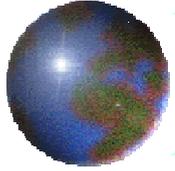


3.1.2 - Redes Gravimétricas Fundamentais

Rede Gravimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro



Fonte:
IBGE, 2016



3.1.2 - Redes Gravimétricas Fundamentais

Instituições de destaque em gravimetria no Brasil:

Observatório Nacional (ON)

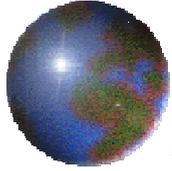
IBGE

PETROBRÁS

UFPR

UNB

USP

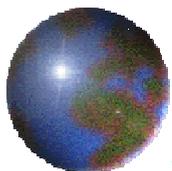


3.1.3 - Levantamentos gravimétricos: desenvolvimento, correções, distribuição dos erros e cálculos

Levantamento Gravimétrico

As especificações e normas gerais (PR 22 de 21/07/83) abordam as técnicas de medições gravimétricas vinculadas às determinações relativas com uso de gravímetros

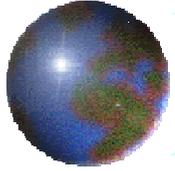
- São desdobrados em: Alta precisão, precisão e para fins de detalhamento
- Nesses levantamentos são medidas diferenças de aceleração da gravidade entre pontos sucessivos



3.1.3 - Levantamentos gravimétricos: desenvolvimento, correções, distribuição dos erros e cálculos

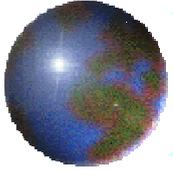


Cedido por
Faggion, 2007



3.1.3 - Levantamentos gravimétricos: desenvolvimento, correções, distribuição dos erros e cálculos

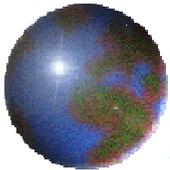
- São estabelecidos circuitos gravimétricos, onde existe a necessidade de retorno à estação inicial ou fechamento em uma estação de ordem superior. Esta necessidade existe pois deve-se calcular a deriva instrumental (mudanças no comportamento do sistema elástico do gravímetro - fazem com que leituras num mesmo ponto em tempos diferentes sejam diferentes) - circuitos com duração máxima de 48 horas.



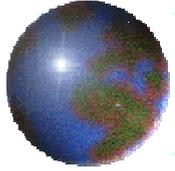
2006.10.23



Cedido por
Faggion, 2007



Cedido por
Faggion, 2007

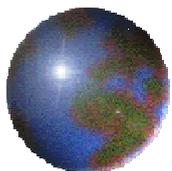


3.1.3 - Levantamentos gravimétricos: desenvolvimento, correções, distribuição dos erros e cálculos

Um levantamento gravimétrico sempre inicia e termina em um ponto com valor de gravidade conhecido.

O cálculo de um circuito gravimétrico implica na conversão das leituras para mGal, caso o levantamento seja realizado com gravímetros analógicos, e na aplicação de três correções:

- Correção de maré
- Deriva dinâmica
- Deriva estática



3.1.3 - Levantamentos gravimétricos: desenvolvimento, correções, distribuição dos erros e cálculos

1) Transformação da leitura em unidade instrumental para mGal (por meio de uma tabela fornecida pelo fabricante)

UNIDADES INSTRUMENTAIS	VALOR EM MILIGAL	FATOR PARA O INTERVALO
1900	2029,80	1,06776
2000	2136,57	1,06778
2100	2243,35	1,06780
2200	2350,13	1,06782
2300	2456,91	1,06785
2400	2563,70	1,06788

**Exemplo de uma
tabela de
transformação de
unidade
instrumental da
mGal**

ESTAÇÃO	HORA	ΔT	TRANSFORMAÇÃO DA LEITURA EM UNIDADE INSTRUMENTAL PARA MGAL					L.MGAL
			A1	A2	A3	A4	A5	
CEM	10,05	0,00	2474,576	2563,70	74,576	1,06788	79,63822	2643,338
Paranaguá	11,73	1,68	2368,803	2456,91	68,803	1,06785	73,47128	2530,381
Porto	19,01	8,96	1907,734	2029,80	07,734	1,06776	08,25806	2038,058
Hotel	21,51	11,46	2337,206	2456,91	37,206	1,06785	39,73043	2496,640
Hotel	30,85	20,80	2337,225	2456,91	37,225	1,06785	39,75072	2496,661
Matinhos	36,50	26,45	2147,561	2243,35	47,561	1,06780	50,78564	2294,136
CEM	42,58	32,53	2474,985	2563,70	74,985	1,06788	80,07498	2643,775

A1= Leitura em unidade instrumental;

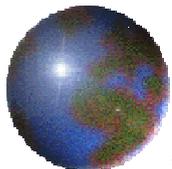
A2= Valor tabelado em mGal, para a unidade de leitura inteira;

A3= Diferença para o valor tabelado em unidade de instrumental;

A4= Fator para o intervalo (Tabelado);

A5= Fator para o intervalo multiplicado pela diferença entre o valor tabelado inteiro e a leitura no gravímetro em unidade de instrumental.

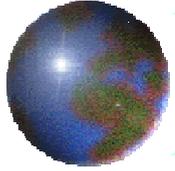
UNIDADES INSTRUMENTAIS	VALOR EM MILIGAL	FATOR PARA O INTERVALO
1900	2029,80	1,06776
2000	2136,57	1,06778
2100	2243,35	1,06780
2200	2350,13	1,06782
2300	2456,91	1,06785
2400	2563,70	1,06788



3.1.3 - Levantamentos gravimétricos: desenvolvimento, correções, distribuição dos erros e cálculos

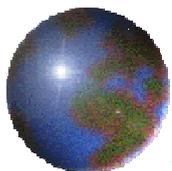
2) Cálculo da correção de maré

Soma da ação gravitacional que a Lua e o Sol exercem sobre a Terra num certo dia e numa determinada hora. O efeito que cada um destes astros exerce sobre a Terra é calculado através dos dados referentes ao ponto para o qual se quer calcular a correção de marés (ϕ , λ , h); e com as efemérides do Sol e da Lua (posição dos astros)



3.1.3 - Levantamentos gravimétricos: desenvolvimento, correções , distribuição dos erros e cálculos

- O efeito da maré deve ser considerado tanto para o Sol quanto para a Lua, o efeito dos demais corpos celestes é muito pequeno e pode ser desprezado
- O efeito do Sol é cerca de 38% do efeito da Lua pois apesar da massa do Sol ser muito maior que a massa da Lua, a Lua está muito mais próxima



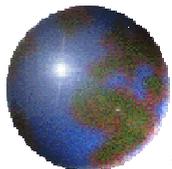
3.1.3 - Levantamentos gravimétricos: desenvolvimento, correções, distribuição dos erros e cálculos

A Maré Terrestre é o resultado da interação gravitacional da Terra com a Lua e o Sol, que resulta em esforços diferenciais significativos, produzindo deformações no corpo planetário e variações no geopotencial.

Como a Terra é um corpo deformável, as deformações produzidas pelas marés podem chegar a 50 cm segundo a direção vertical e 15 cm segundo a horizontal.

Estas deformações produzem redistribuição de massas e conseqüentemente um efeito de alteração no valor do geopotencial.

As marés terrestres possuem um componente variável no tempo (marés diurnas, semi-diurnas, ter-diurnas) e uma parte constante (permanente).



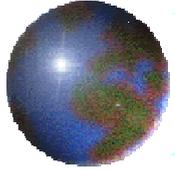
3.1.3 - Levantamentos gravimétricos: desenvolvimento, correções, distribuição dos erros e cálculos

As deformações produzidas pelas marés terrestres afetam o posicionamento horizontal com GNSS na medida em que sejam utilizadas linhas de base longas (~300km).

O IERS fornece modelos e correções para tratar esses efeitos. (Alguns softwares de processamento GNSS, como Bernese e Geonap, possuem recursos que permitem considerar estes efeitos).

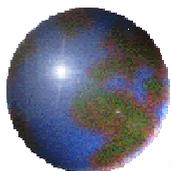
A gravimetria também é afetada; gravímetros modernos já incorporam rotinas para eliminação deste efeito.

No nivelamento geométrico de precisão os efeitos são usualmente desconsiderados, pois tendem a ser anulados ao longo do circuito. Na condição mais desfavorável a correção $< 0,08\text{mm/km}$ porém como pode tornar-se cumulativa deve ser levada em consideração nas redes de grandes extensões.



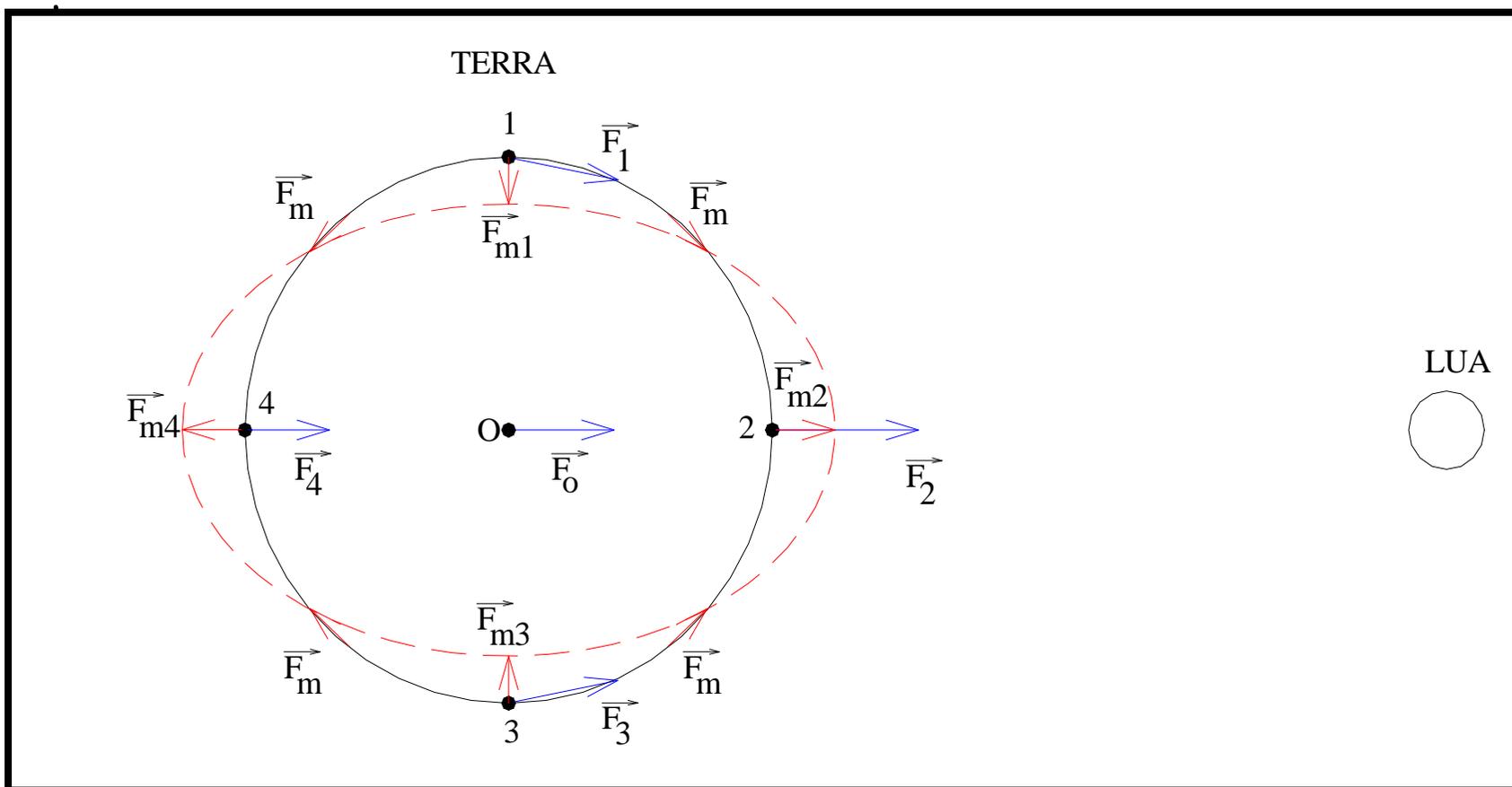
3.1.3 - Levantamentos gravimétricos: desenvolvimento, correções, distribuição dos erros e cálculos

- A atração luni-solar perturba o valor de g em módulo e direção
- A primeira perturbação afeta as medidas da gravidade
- A segunda afeta o desvio da vertical, com repercussão no nivelamento geométrico
- A deformação da crosta afeta o posicionamento tridimensional

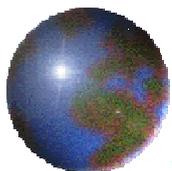


3.1.3 - Levantamentos gravimétricos: desenvolvimento, correções, distribuição dos erros e cálculos

Define-se como força de maré em um ponto à diferença entre a força de atração exercida pelo Sol e pela Lua sobre a unidade de massa no ponto e no centro do modelo. Para um modelo esférico:



FORÇA DE MARÉ: $\vec{F}_m = \vec{F}_p - \vec{F}_o$



3.1.3 - Levantamentos gravimétricos: desenvolvimento, correções, distribuição dos erros e cálculos

2) Cálculo da correção de maré

$$C_g = [g P_1^3 M_L^T (3 \cos^2 Z_L - 1) + g P_s^3 M_S^T (3 \cos^2 Z_s - 1)] \delta$$

g = Valor médio da Gravidade (982.028 mGal);

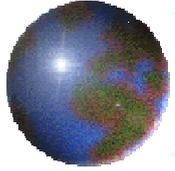
P = Paralaxe horizontal (efeméride do Sol e da Lua);

M = Massa do astro perturbador (quando se toma a massa da terra como unitária);

$M_S^T \cong 333432,000$; $M_L^T \cong 0,0125000$;

Z = Distância Zenital Geocêntrica (cálculo de Z através das formulas da Astronomia).

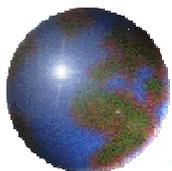
ESTAÇÃO	HORA	ΔT	L.MGAL	C. MARÉ	L. C. MARÉ
CEM	10,05	0,00	2643,338	0,095	2643,433
Paranaguá	11,73	1,68	2530,381	0,166	2530,547
Porto	19,01	8,96	2038,058	-0,115	2037,943
Hotel	21,51	11,46	2496,640	-0,054	2496,586
Hotel	30,85	20,80	2496,661	-0,104	2496,557
Matinhos	36,50	26,45	2294,136	0,156	2294,292
CEM	42,58	32,53	2643,775	-0,088	2643,687



3.1.3 - Levantamentos gravimétricos: desenvolvimento, correções , distribuição dos erros e cálculos

3) Correção da deriva estática

A deriva estática ocorre quando o circuito sofre interrupções com duração superior a uma hora. Neste caso o gravímetro fica parado sobre um ponto por mais de uma hora, sendo necessário realizar duas leituras sobre o ponto, uma na "chegada" e outra na "saída"



3.1.3 - Levantamentos gravimétricos: desenvolvimento, correções, distribuição dos erros e cálculos

3) Correção da deriva estática

C1) Tempo com o Gravímetro parado

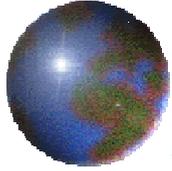
$$30,85 \text{ h} \text{ Saida do Hotel} - 21,51 \text{ h} \text{ Chegada no Hotel} = 9,33 \text{ h}$$

C2) Leituras no Gravímetro na Chegada e Saida do Hotel

$$2496,586 \text{ Chegada no Hotel} - 2496,557 \text{ Saida do Hotel} = 0,029$$

Somar 0,029 mGal as leituras feitas após o hOTEL

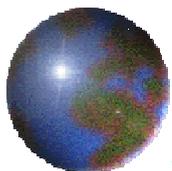
ESTAÇÃO	HORA	ΔT	L.MGA L	L. C. MARÉ	C. DA DERIVA ESTÁTICA	L.C.D.E.
CEM	10,05	0,00	2643,338	2643,433	0,000	2643,433
Paranaguá	11,73	1,68	2530,381	2530,547	0,000	2530,547
Porto	19,01	8,96	2038,058	2037,943	0,000	2037,943
Hotel	21,51	11,46	2496,640	2496,586	0,000	2496,586
Hotel	30,85	20,80	2496,661	2496,557	0,029	2496,586
Matinhos	36,50	26,45	2294,136	2294,292	0,029	2294,321
CEM	42,58	32,53	2643,775	2643,687	0,029	2643,716



3.1.3 - Levantamentos gravimétricos: desenvolvimento, correções, distribuição dos erros e cálculos

4) Correção da deriva dinâmica

Mudanças no comportamento do sistema elástico do gravímetro, variação da temperatura e trepidação durante o transporte, fazem com que as leituras executadas na mesma estação, em horas diferentes não coincidam



3.1.3 - Levantamentos gravimétricos: desenvolvimento, correções, distribuição dos erros e cálculos

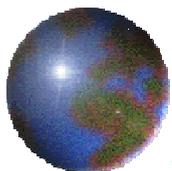
4) Correção da deriva dinâmica

1. Duração Total do Levantamento: $42,58h - 10,05h = 32,53h$
2. Em Movimento: $32,53h - 9,33h$ (parado no hotel) = $23,20h$
3. Leituras em mGal: $2643,433 \text{ g de partida} - 2643,716 \text{ g de chegada} = -0,283\text{mGal}$

$$\text{CDD} = 0,283\text{mGal} / 23,20h = -0,01219 \text{ mGal/h}$$

Obs: corrigir todas as leituras proporcionalmente ao tempo de deslocamento gravímetro.

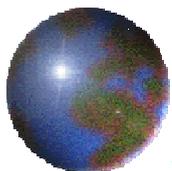
ESTAÇÃO	HORA	ΔT	L.MGAL	L. C. MARÉ	L.C.D.E.	C. DA D. DINÂMICA	L.C.D.D
CEM	10,05	0,00	2643,338	2643,433	2643,433	0,0	2643,433
Paranaguá	11,73	1,68	2530,381	2530,547	2530,547	-0,020	2530,527
Porto	19,01	8,96	2038,058	2037,943	2037,943	-0,109	2037,834
Hotel	21,51	11,46	2496,640	2496,586	2496,586	-0,140	2496,446
Hotel	30,85	20,80	2496,661	2496,557	2496,586	*****	2496,446
Matinhos	36,50	26,45	2294,136	2294,292	2294,321	-0,209	2294,112
CEM	42,58	32,53	2643,775	2643,687	2643,716	-0,283	2643,433



3.1.3 - Levantamentos gravimétricos: desenvolvimento, correções , distribuição dos erros e cálculos

5) Cálculo das diferenças de gravidade entre os pontos

ESTAÇÃO	HORA	ΔT	L.MGAL	L. C. MARÉ	L.C.D.E.	L.C.D.D	$\Delta G(l_i - l_1)$
CEM	10,05	0,00	2643,338	2643,433	2643,433	2643,433	0,0
Paranaguá	11,73	1,68	2530,381	2530,547	2530,547	2530,527	-112,906
Porto	19,01	8,96	2038,058	2037,943	2037,943	2037,834	-605,599
Hotel	21,51	11,46	2496,640	2496,586	2496,586	2496,446	-146,987
Hotel	30,85	20,80	2496,661	2496,557	2496,586	2496,446	-146,987
Matinhos	36,50	26,45	2294,136	2294,292	2294,321	2294,112	-349,321
CEM	42,58	32,53	2643,775	2643,687	2643,716	2643,433	0,0



3.1.3 - Levantamentos gravimétricos: desenvolvimento, correções, distribuição dos erros e cálculos

5) Cálculo do valor da gravidade nos pontos

$$g_i = g_1 + \Delta g_i$$

ESTAÇÃO	HORA	ΔT	L.MGAL	L. C. MARÉ	L.C.D.E.	L.C.D.D	$\Delta G(l_i - l_1)$	g (mGal)
CEM	10,05	0,00	2643,338	2643,433	2643,433	2643,433	0,0	978.700,000
Paranaguá	11,73	1,68	2530,381	2530,547	2530,547	2530,527	-112,906	978.587,094
Porto	19,01	8,96	2038,058	2037,943	2037,943	2037,834	-605,599	978.094,401
Hotel	21,51	11,46	2496,640	2496,586	2496,586	2496,446	-146,987	978.553,013
Hotel	30,85	20,80	2496,661	2496,557	2496,586	2496,446	-146,987	978.553,013
Matinhos	36,50	26,45	2294,136	2294,292	2294,321	2294,112	-349,321	978.350,679
CEM	42,58	32,53	2643,775	2643,687	2643,716	2643,433	0,0	978.700,000