

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

23 MAI 1995

ISSN 0560-4613

BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas

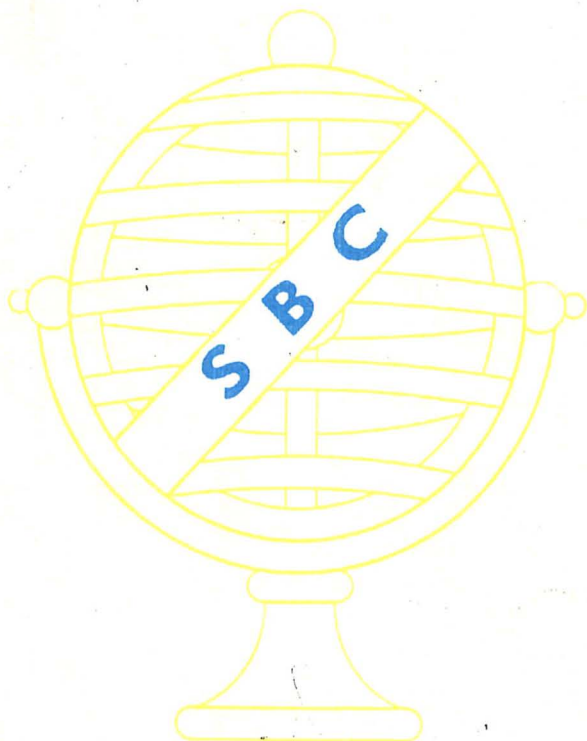
CENTRO POLITÉCNICO

Caixa Postal 19010 - Fone: 041 5100 - UFPR-BR

81.504 - CURITIBA - PARANÁ - BRASIL

REVISTA BRASILEIRA DE CARTOGRAFIA

EDITADA PELA SOCIEDADE BRASILEIRA DE CARTOGRAFIA,
GEODÉSIA, FOTOGRAMETRIA E SENSORIAMENTO REMOTO



NÚMERO 45

MAIO 1995

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas
CENTRO POLITÉCNICO
Caixa Postal 19080 - Fone: 041 5100 - UFPR-BR
81-504 — CURITIBA — PARANÁ — BRASIL



EDITORIAL

Esta é uma realização da Comunidade Cartográfica. Simples como se apresenta, e ainda com poucos artigos - embora densos e de colaboradores de muito peso - ela certamente não é o único, mas, para muitos de nós, talvez constituirá o mais expressivo testemunho do reencontro da Sociedade Brasileira de Cartografia com a sua destinação de sociedade técnico-científica. Fruto de um esforço - nem sempre visível - que se iniciou há algumas administrações, e que não inclui qualquer auxílio, apoio ou incentivo oficial ou extra comunidade cartográfica - não existe sensibilidade para tanto - ela retrata o que nós somos, o que é realista esperar e sinaliza, com muita eloquência, que os responsáveis por nós somos nós mesmos, e que é nossa tarefa abrir caminhos e traçar nosso próprio destino, quer estejamos falando de Comunidade Cartográfica, quer estejamos pensando em âmbito maior, de Sociedade e de Nação.

Os artigos são poucos mas densos e, além de seu valor intrínseco - que não é pequeno - trazem uma forte carga simbólica, e chamam por novas colaborações. Como disse no início, esta Revista é uma realização da Comunidade Cartográfica. Oxalá ela vos traga a alegria que nos trouxe. Boa leitura.

Engº Fernando de Araujo Coutinho Amadeo
Presidente da SBC

DIRETORIA DA SBC - BIÊNIO 93/95

- **Presidente**
Engº Fernando de Araujo Coutinho Amadeo
- **Vice-Presidente para Assuntos Técnico-Científicos**
CMG Hidrógrafo Roberto Andrade Fernandes
- **Vice-Presidente para Assuntos Internacionais**
Profª Ana Maria Coutinho
- **Vice-Presidente para Assuntos Regionais e Estaduais**
Cel Engº Alfredo Sebastião Seixas
- **Vice-Presidente de Administração e Finanças**
Major Engº Nei Erling
- **Secretário-Geral**
Cel Engº Jacaono Batista de Lima
- **Diretores Regionais**
 - **Centro-oeste:** Profª Magnólia de Lima
 - **Nordeste:** Profº Francisco Jaime Bezerra Mendonça
 - **Norte:** Engº Luiz Carlos Pereira da Silva
 - **Sudeste:** Engº David Márcio Santos Rodrigues
 - **Sul:** Engº Sérgio Gilberto Bottini
- **Coordenadores dos Núcleos Estaduais**
 - **Bahia:** Arqtª Cristina Xavier Ferreira
 - **Goiás:** Engª Márcia Cristina Souza Matos Carneiro
 - **São Paulo:** Engº Verner Riebold
 - **Santa Catarina:** Dr. Carlos Loch
- **Conselho Deliberativo**
Engenheiros Angelo José Pavan, Antonio José Ferreira Machado e Silva, Leonel Firmin Navas Zamora, Mário Barradas Machado, Raimundo Orlor Nunes, Profº Leonardo Castro de Oliveira, CF Engº Paulo Teixeira de Castro, Cel Engº Ney da Fonseca e Cel Engº Amauri Ribeiro Destri (titulares); Engº Herbert Erwes, CMG Engº Silvino Olegário de Carvalho Neto e Geólogo Célio Lima de Macedo (suplentes).
- **Conselho Fiscal**
Engenheiros Hanns Juergen Carl Von Studnitz, Luis Henrique Castiglione e Paulo Roberto Martins Serra (titulares); Engenheiros Angela de Fátima Marquez, Eliane Ramiro dos Santos e Walter Vieira de Souza (suplentes).

ÍNDICE

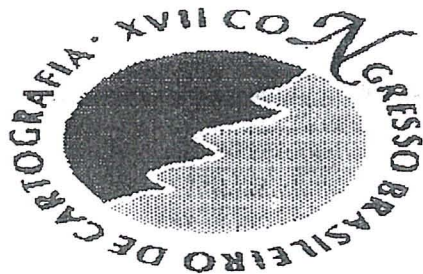
Editorial.....	i
Diretoria da SBC - Biênio 93/95.....	iii
Índice.....	v
XVII Congresso Brasileiro de Cartografia.....	vii
Corpo Editorial da RBC.....	viii
Agradecimento.....	xi
Representação Integrada do Campo de Gravidade no Brasil Nelsi Côgo de Sá.....	1
High Precision GPS Network in Brasil V.Ashkenazi, T.Moore e J.F.Galera Monico....	63
Projeção de Mercator: Resolução do Problema Inverso Usando o Método de Newton-Raphson Roberto A. Fernandes.....	75
Grupo de Trabalho para Monitoramento do Nível do Mar Marco Antonio de Carvalho de Oliveira.....	87
Resumos de Teses e Dissertações.....	91

- Comissões Técnicas

- I** - **Sensoriamento Remoto**
Cel Engº Luiz Antonio de Andrade
- II** - **Astronomia, Geodésia e Topografia**
Engº Roberto Teixeira Luz
- III** - **Hidrografia**
CMG Hidrógrafo Agnaldo Xavier Furtado
- IV** - **Fotogrametria**
Cel Engº Amauri Ribeiro Destri
- V** - **Fotointerpretação e Interpretação de Imagens**
Major Engº Carlos Alberto Gonçalves de Araújo
- VI** - **Cartografia Topográfica, Temática e Especial**
Profª Dulce Machado Bueno
- VII** - **Ensino e Formação Profissional**
Profº Celsio de Oliveira Moreira
- VIII** - **Sistemas de Informações Geoambientais**
Cel Engº Paulo Márcio Leal de Menezes

ÍNDICE

Editorial.....	i
Diretoria da SBC - Biênio 93/95.....	iii
Índice.....	v
XVII Congresso Brasileiro de Cartografia.....	vii
Corpo Editorial da RBC.....	viii
Agradecimento.....	xi
Representação Integrada do Campo de Gravidade no Brasil Nelsi Côgo de Sá.....	1
High Precision GPS Network in Brasil V.Ashkenazi, T.Moore e J.F.Galera Monico....	63
Projeção de Mercator: Resolução do Problema Inverso Usando o Método de Newton-Raphson Roberto A. Fernandes.....	75
Grupo de Trabalho para Monitoramento do Nível do Mar Marco Antonio de Carvalho de Oliveira.....	87
Resumos de Teses e Dissertações.....	91



LITORAL NORTE DA BAHIA : MAPEAR PARA PRESERVAR

30 de Julho a 4 de Agosto de 1995
Centro de Convenções, Salvador, Bahia

- Temas Técnico-Científicos :**
- Fotogrametria
 - Astronomia, Geodésia e Topografia
 - Cadastro Técnico Municipal
 - Sensoriamento Remoto
 - Cartografia Topográfica, Temática e Especial
 - Cartografia Digital
 - Ensino e Formação Profissional
 - Hidrografia
 - Sistemas de Informações Geográficas
- Temas Especiais :**
- Litoral Norte da Bahia : Mapear para Preservar
 - Política Cartográfica Nacional
- Cursos :**
- *Cadastro Urbano*
 - *GPS*
 - *Geoprocessamento*
 - *Fotogrametria Terrestre aplicada a Levantamentos Arquitetônicos*
- Mesas Redondas :**
- *Programa Nacional de Monitoramento do Nível do Mar*
 - *Currículo Mínimo para os Cursos de Engenharia Cartográfica*
 - *Legislação de Aerolevantamentos*
 - *Redes Básicas GPS*
- Workshop sobre o Geóide na América do Sul**
Simpósio de Cartografia Ambiental
III Encontro Brasileiro de Professores de Topografia
XV EXPOCART

Os resumos dos trabalhos deverão ser enviados para a sede da SBC, por correio ou fax, ou para o endereço e-mail rbtnlz@omega.lncc.br, até o dia 15 de Abril de 1995, contendo nome completo do autor, nome e sigla da instituição, e endereço completo para correspondência

Promoção

Sociedade Brasileira de Cartografia - SBC

Av. Presidente Wilson, 210, 7. andar, CEP 20030-021. Rio de Janeiro, RJ
Tel : (021) 240-6901 - Fax : (021) 262-2823
E-mail : rbtnlz@omega.lncc.br

Apoio

Governo do Estado da Bahia (SEPLANTEC/CONDER, SIC/BAHIATURSA)
INPE • CNPq • FINEP • PETROBRÁS

CORPO EDITORIAL DA REVISTA BRASILEIRA DE CARTOGRAFIA

Dr. Alberto dos Santos Franco
Dr. Antonio Maria Garcia Tommaselli
Dr. Camil Gemael
Dr. Carlos Loch
Dr. Gunter Seeber
Dr. Hans Peter Bahr
Dr. Iris Pereira Escobar
Dr. Karl-Rudolf Koch
Dr. Luiz Muniz Barreto - Editor Chefe
Dr. Manfred Bonatz
Dr. Milton de Azevedo Campos
Dr. Nelsi Côgo de Sá
Dr. Peter Vanicek
Dr. Vidal Ashkenazi

AGRADECIMENTO

Na qualidade de Presidente da Sociedade Brasileira de Cartografia não poderia me furtar em agradecer a toda a Diretoria Executiva da SBC, que me tem fornecido o indispensável suporte - sejam em ações concretas, sejam em sábias e oportunas colocações - essencial à realização de nossas metas. À publicação dessa Revista, verdadeira obsessão minha, enquanto associado e mais ainda enquanto Presidente, devo especial agradecimento ao dileto Chefe e amigo, Comandante Roberto Fernandes, Vice-Presidente para Assuntos Técnico-Científicos. A partir dos seus reconhecidos empenho e dedicação, a Comunidade Cartográfica vê retomado o seu digno, e tão ansiosamente esperado, veículo acadêmico oficial da Cartografia Brasileira.

Aos funcionários da SBC, Srt^a Vânia e Sr. Sílvio, a gratidão sincera daquele que muito bem conhece a importância do trabalho de base desenvolvido por tão competentes profissionais e, mais do que isso, amigos leais, íntegros, corretos.

Eng^o Fernando de Araujo Coutinho Amadeo
Presidente da SBC

REPRESENTAÇÃO INTEGRADA DO
CAMPO DE GRAVIDADE NO BRASIL

Nelsi Côgo de Sá

IAG/USP - Departamento de Geofísica

Rua do Matão, 1226

05508-900 - SÃO PAULO - SP

SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

1. INTRODUÇÃO

2. DADOS UTILIZADOS

Modelo do geopotencial

Dados gravimétricos

Alturas geoidais Doppler

Componentes do desvio da vertical

3. MODELO MATEMÁTICO

Linearização de funcionais

4. CÁLCULO E REPRESENTAÇÃO DE COVARIÂNCIAS

Cálculo de covariâncias

Representação de covariâncias esféricas

5. METODOLOGIA

6. RESULTADOS E CONCLUSÕES

7. AGARADECIMENTOS

8. REFERÊNCIAS

RESUMO

As informações do campo de gravidade da Terra são usadas nos estudos da forma, da estrutura e dos processos dinâmicos que ocorrem no interior do planeta. A representação digital do campo constitui uma fase necessária para todas essas aplicações. Atualmente, a integração de dados heterogêneos através da colocação por mínimos quadrados é uma das técnicas mais utilizadas na representação do campo de gravidade tanto em escala global como regional. Neste trabalho, os dados geodésicos disponíveis no Brasil foram usados para a representação integrada do campo em termos de anomalias gravimétricas, alturas geoidais e componentes do desvio da vertical. O esferóide foi representado pelo modelo do potencial gravitacional OSU86F, truncado em grau e ordem 45. Constituíram os dados geodésicos cerca de 35.000 estações gravimétricas, 380 alturas geoidais Doppler e 630 componentes do desvio astro-geodésico da vertical. A função covariância foi modelada para as anomalias gravimétricas médias, reduzidas ao esferóide. A representação digital foi determinada sobre os pontos da distribuição geográfica regular com intervalo de $0,5^\circ$, para toda a extensão do Brasil. Esta resolução proporciona mapas em escala 1:5.000.000 para várias aplicações. Os mapas gravimétricos vêm sendo usados para caracterização das principais províncias tectônicas do Brasil. O geóide pode ser usado no nivelamento por satélite através do GPS em levantamentos geofísicos e geológicos.

ABSTRACT

The data of the Earth's gravity field are used in studying the shape, the structure, and the dynamic processes that occur in the interior of the planet. The digital representation is required for all these gravity applications. Today, the least squares collocation is one of the most used techniques in the combination of heterogeneous data for the gravity field representation in global and regional scales. In this work, all the geodetic data available in Brazil were used for the gravity field representation in terms of gravity anomalies, geoidal heights, and deflection of the vertical. The spheroid was computed from the gravitational potential model OSU86F up to degree and order 45. The geodetic data comprised 35,000 gravity observations, 380 Doppler-geoidal heights, and 630 components of the astro-geodetic deflection of the vertical. The covariance function was fitted to the covariances of the mean gravity anomalies reduced to the spheroid. The digital representation was computed for the points of the geographical gridding with $0,5^\circ$ interval all over the Brazilian extent. This spatial resolution provides maps in 1:5,000,000 scale for many applications. The gravity maps are being used to characterize the major tectonic provinces, and the geoidal map can be used for the satellite levelling by GPS in geophysical and geological surveys.

1. INTRODUÇÃO

O campo de gravidade da Terra contém informações importantes para o conhecimento da forma, da estrutura e dos processos dinâmicos que ocorrem no interior do planeta.

Nos últimos anos, a coleta e a integração de dados geodésicos estão permitindo ampliar a resolução e a escala na representação do campo de gravidade, e suas aplicações vêm revelando novas interações da Geodésia com outras ciências (Vanícek & Krakiwsky, 1986; Lambeck, 1988).

A representação do campo de gravidade em termos de anomalias e gradientes gravimétricos, alturas geoidais e componentes do desvio da vertical constitui o objetivo principal da medição gravimétrica. Em escala global, ela é necessária para solução de problemas que envolvem áreas extensas como determinação de órbitas de satélites artificiais (Eissfeller, 1985), redução de dados obtidos nos levantamentos inerciais (Schwarz, 1985) e nas missões de altimetria por satélites (Haines et al., 1989), delimitação de estruturas tectônicas (Kaula, 1972), determinação de modelos de convecção do manto (Runcorn, 1967; McKenzie, 1977; Fu, 1989) assim como de densidade e viscosidade do interior da Terra (Moritz, 1990; Ricard & Bai, 1991). Em escala local, ela é essencial para a implantação de redes geodésicas visando o apoio cartográfico no mapeamento, levantamentos geofísicos e estudos das deformações (Vanícek & Krakiwsky, 1986), caracterização de províncias tectônicas e fontes intracrustais (Ussami et al., 1993) e interpretação geofísica aplicada à prospecção mineral e de petróleo (Nettleton, 1976). Menos óbvia, mas igualmente importante é a monitoração do campo de gravidade para estudos

geodinâmicos das deformações tectônicas e dos movimentos crustais como soerguimentos da crosta originados na deglaciação, predição de erupções vulcânicas e atividades sísmicas (McNut, 1990)

A representação do campo de gravidade em regiões extensas, sobretudo com peculiaridades geográficas, requer a combinação de dados heterogêneos em tipo e precisão. Os estudos para a solução desse problema iniciaram com Kaula (1963) e Moritz (1963). Os fundamentos matemáticos para a representação integrada do campo de gravidade através da colocação por mínimos quadrados foram desenvolvidos por Krarup (1969). A teoria foi ampliada por Moritz (1980), Sansò (1986) e Tscherning (1986).

Esta técnica vem sendo usada tanto em escala regional (Tscherning, 1983); Sunkel, 1987) como em escala local (Forsberg, 1981; Arabelos, 1989). No Brasil, ela foi usada para a descrição do campo de gravidade na Região Sudeste (Sá, 1988) e para o mapeamento gravimétrico regional em todo país (Sá et al., 1993).

Este trabalho amplia a representação do campo de gravidade em termos de anomalias gravimétricas, alturas geoidais e componentes do desvio da vertical à toda extensão do Brasil através da metodologia usada no Sudeste.

2. DADOS UTILIZADOS

Os dados geodésicos relacionados com o campo de gravidade, que foram usados para a representação integrada do campo de gravidade no Brasil são os seguintes:

- modelo do geopotencial,
- dados gravimétricos,
- alturas geoidais Doppler, e
- componentes do desvio da vertical.

Modelo do geopotencial

Atualmente, os modelos geopotenciais passaram a integrar os Sistemas Geodésicos de Referência (Moritz, 1980; Smith, 1988) e vem sendo usados como esferóides de referência para a representação do campo de gravidade.

Neste trabalho, o modelo OSU86F (Rapp & Cruz, 1986), truncado em grau e ordem 45, foi usado para a representação da componente determinística de todos os funcionais envolvidos no processamento. O modelo OSU86F foi escolhido basicamente por duas razões:

- os coeficientes de baixo grau são os mesmos do modelo GEM-L2 (Lerch et al., 1985), que era o mais representativo na época, e
- os coeficientes de alto grau foram calculados a partir de um grande número de dados gravimétricos, incluindo os do Brasil.

O campo de gravidade do modelo OSU86F foi expresso através do potencial anômalo

$$T(r,\phi,\lambda) = W(r,\phi,\lambda) - U(r,\phi,\lambda) \quad (2.1)$$

onde W representa o geopotencial e V o esferopotencial. Como o potencial centrífugo é igual tanto para a Terra real como para a terra teórica, ele desaparece no potencial anômalo. O potencial gravitacional da Terra real, desenvolvido em harmônicos esféricos, tem a expressão (Heiskanen &

Moritz, 1967)

$$V_w(r, \phi, \lambda) = \frac{GM}{r} \left[1 + \sum_{n=2}^{\infty} \left(\frac{a}{r} \right)^n \sum_{m=0}^n \left(C_{nm} \cos m\lambda + S_{nm} \sin m\lambda \right) P_{nm}(\sin \phi) \right] \quad (2.2)$$

onde r , ϕ e λ são as coordenadas geocêntricas do ponto considerado, GM é a constante gravitacional geocêntrica, a é o raio equatorial médio, C_{nm} e S_{nm} são coeficientes totalmente normalizados do potencial da Terra real e $P_{nm}(\sin \phi)$ é o polinômio de Legendre associado de grau n e ordem m .

Analogamente, o potencial gravitacional da terra normal é expresso por

$$V_u(r, \phi) = \frac{GM}{r} \left[1 - \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{a}{r} \right)^{2n} J_{2n} P_{2n}(\sin \phi) \right] \quad (2.3)$$

onde J_{2n} são os coeficientes do potencial que integram o sistema geodésico de referência e $P_{2n}(\sin \phi)$ é o polinômio de Legendre de grau $2n$.

Como o potencial anômalo é o elemento fundamental na representação do campo de gravidade, a expressão (2.1) proporciona a componente determinística para todos os funcionais do campo a partir dos coeficientes de modelos geopotenciais. Assim, pode-se expressar a altura geoidal

$$N = L_N(T) = \frac{T}{\gamma} \quad (2.4)$$

a anomalia ar-livre

$$\Delta g = L_{\Delta g}(T) = - \frac{\partial T}{\partial r} - \frac{2}{r} T \quad (2.5)$$

e o desvio da vertical através das componentes meridiana e primeiro vertical

$$\xi = L_{\xi}(T) = - \frac{1}{r\gamma} \frac{\partial T}{\partial \phi} \quad (2.6)$$

e

$$\eta = L_{\eta}(T) = - \frac{1}{r\gamma \cos \phi} \frac{\partial T}{\partial \lambda} \quad (2.7)$$

onde γ é a gravidade teórica.

Dados gravimétricos

Os dados gravimétricos usados neste trabalho (Fig. 2.1) resultaram de levantamentos realizados por várias instituições (Sá et al., 1992) visando aplicações diversas. As estações gravimétricas são definidas por um conjunto de parâmetros que representam:

- a posição geográfica,
- a altitude ortométrica,
- a aceleração de gravidade, e
- os indicadores dos erros observacionais.

No Brasil, a Rede Gravimétrica Woollard (RGW) serviu de base para os levantamentos gravimétricos realizados até a adoção oficial da International Gravity Standardization Net 1971 (IGSN71). A mudança do sistema originou dois conjuntos de dados incompatíveis: um vinculado à

RGW (Woollard et al., 1967) e outro à IGSN71 (IAG, 1974). As medidas gravimétricas que tiveram como base a RGW foram reduzidas à IGSN71 através da Rede Gravimétrica Fundamental Brasileira (RGFB), implantada a partir de 1975 (ON, 1987). A correção subtrativa de 15,0 mGal, adotada na transformação, foi calculada a partir das estações vinculadas simultaneamente à RGW e à IGSN71 através da RGFB (Sá & Blitzkow, 1986). As coordenadas e as altitudes das estações estão referidas ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) através das cartas topográficas editadas no Brasil e da rede de nivelamento do IBGE.

As anomalias gravimétricas ar-livre (Δg_a) e Bouguer (Δg_b) são expressas por (Heiskanen & Moritz, 1967)

$$\Delta g_a = g - \frac{\partial \gamma}{\partial H} H - \gamma \quad (2.8)$$

$$\Delta g_b = \Delta g_a - 2\pi G\rho H - B + C \quad (2.9)$$

onde g é a gravidade observada, γ é a gravidade teórica calculada com a fórmula do Geodetic Reference System 1967 (GRS67), H é a altitude ortométrica, G é a constante universal da gravitação, ρ é a densidade média da crosta, B é a correção da curvatura terrestre e C é a correção topográfica. Os valores numéricos adotados para as constantes são:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \gamma}{\partial H} &= - 0,3086 \text{ mGal m}^{-1} \\ G &= 6,672 \times 10^{-8} \text{ cm}^3 \text{ g}^{-1} \text{ s}^{-2} \\ \rho &= 2,67 \text{ g cm}^{-3} \end{aligned} \quad (2.10)$$

No cálculo da anomalia Bouguer não foi considerada a curvatura da Terra ($B=0$) nem a correção topográfica ($C=0$). As variâncias das anomalias são obtidas a partir das variâncias das observações

$$\sigma_{\Delta g_a}^2 = \sigma_g^2 + \left(C_a \sigma_H \right)^2 \quad (2.11)$$

e

$$\sigma_{\Delta g_b}^2 = \sigma_g^2 + \left(C_b \sigma_H \right)^2 \quad (2.12)$$

onde

$$C_a = \left| \frac{\partial \gamma}{\partial H} \right| \quad (2.13)$$

e

$$C_b = C_a - 2\pi G\rho = 0,1967 \text{ mGal m}^{-1} \quad (2.14)$$

A anomalia média ($\bar{\Delta g}$), representativa de uma quadrícula de área A , é expressa por (Heiskanen & Moritz, 1967)

$$\bar{\Delta g} = \frac{1}{A} \int \Delta g \, dA \quad (2.15)$$

Na prática, esta integral é substituída pela soma

$$\bar{\Delta g} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta g_i \quad (2.16)$$

onde Δg_i representa anomalia observada ou anomalia média representativa.

de uma célula.

A variância da média expressa em (2.16) foi obtida pela propagação das variâncias da representação $\left(\sigma_r^2\right)$ e da observação $\left(\sigma_o^2\right)$ (Sá, 1988)

$$\sigma_{\Delta_g}^2 = \sigma_r^2 + \sigma_o^2 \quad (2.17)$$

Para evitar o inconveniente das concentrações isoladas de dados, o cálculo das anomalias médias para o Brasil foi efetuado em duas etapas. Na primeira, foram geradas por (2.16) e (2.17) as médias e as respectivas variâncias para todas as células de 10'x10' contendo pelo menos 3 estações gravimétricas. Na segunda, foram obtidas também por (2.16) e (2.17) as médias e as variâncias para as quadrículas de 1°x1° contendo pelo menos 3 células com médias calculadas na primeira etapa. Assim, foi gerado um arquivo contendo cerca de 550 anomalias médias para as regiões brasileiras com disponibilidade de dados gravimétricos. Para as regiões internas ainda vazias e para as regiões externas próximas da borda, foram usadas as anomalias médias determinadas por Rapp (1983).

Alturas geoidais Doppler

O posicionamento através do rastreamento de satélites artificiais, explorando o efeito Doppler, constituiu a técnica mais utilizada na implantação do apoio geodésico para fins cartográficos nas últimas décadas. No Brasil, ela foi usada com sucesso pela Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no apoio geodésico para o mapeamento topográfico sistemático. A Região Amazônica, devido às peculiaridades florestais e topográficas, que dificultam o uso de

técnicas convencionais de posicionamento, constituiu a área de maior atuação do IBGE. O número de pontos posicionados sobre a rede de nivelamento (Fig. 2.1) é de aproximadamente 380 (IBGE, 1988a). O sistema de referência adotado no rastreamento de satélites e no posicionamento de pontos da superfície terrestre (X_s, Y_s, Z_s) é definido através das estações rastreadoras permanentes, de um modelo geopotencial e de parâmetros adicionais (Hoar, 1982). Teoricamente, com o uso do modelo geopotencial, a origem do sistema deveria coincidir com o geocentro. Mas, na prática, essa coincidência não ocorre e são necessários os parâmetros de translação

$$\begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,106 \text{ m} \\ -0,697 \text{ m} \\ -4,901 \text{ m} \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

escala

$$\Delta = -0,604 \times 10^{-6} \quad (2.19)$$

e rotação

$$\begin{bmatrix} R_x \\ R_y \\ R_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,001'' \\ 0,005'' \\ -0,814'' \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

que foram calculadas com o ajustamento das observações obtidas no período

$$\sigma_{X,Y,Z} = \pm 1,5 \text{ para } p > 35$$

$$\sigma_{X,Y,Z} = \pm 2,0 \text{ para } 35 > p > 20$$

$$\sigma_{X,Y,Z} = \pm 2,5 \text{ para } 20 > p > 12$$

onde p representa o número de passagens úteis do satélite rastreado.

A relação entre as coordenadas cartesianas (X,Y,Z) e as geodésicas (φ,λ,h) é expressa por (Heiskanen & Moritz, 1967)

$$X = (v + h)\cos\varphi\cos\lambda$$

$$Y = (v + h)\cos\varphi\sin\lambda$$

$$Z = \left[\frac{b^2}{a^2} v + h \right] \sin\varphi$$

(2.22)

onde v é a grande normal, a e b são os semi-eixos do elipsóide de referência e h é a altitude elipsoidal. As coordenadas geodésicas são calculadas pelo método iterativo. Com a latitude aproximada (φ_0) , expressa por

$$\operatorname{tg}\varphi_0 = \frac{Z}{d} (1 - e^2)^{-1}$$

(2.23)

obtém-se a altitude elipsoidal aproximada (h_0)

$$h_0 = \frac{d}{\cos\varphi_0} - v_0$$

(2.24)

onde

$$\sigma_{X,Y,Z} = \pm 1,5 \text{ para } p > 35$$

$$\sigma_{X,Y,Z} = \pm 2,0 \text{ para } 35 > p > 20$$

$$\sigma_{X,Y,Z} = \pm 2,5 \text{ para } 20 > p > 12$$

onde p representa o número de passagens úteis do satélite rastreado.

A relação entre as coordenadas cartesianas (X,Y,Z) e as geodésicas (φ,λ,h) é expressa por (Heiskanen & Moritz, 1967)

$$X = (v + h)\cos\varphi\cos\lambda$$

$$Y = (v + h)\cos\varphi\sin\lambda$$

(2.22)

$$Z = \left(\frac{b^2}{a^2} v + h \right) \sin\varphi$$

onde v é a grande normal, a e b são os semi-eixos do elipsóide de referência e h é a altitude elipsoidal. As coordenadas geodésicas são calculadas pelo método iterativo. Com a latitude aproximada (φ_0) , expressa por

$$\operatorname{tg}\varphi_0 = \frac{Z}{d} (1 - e^2)^{-1} \quad (2.23)$$

obtém-se a altitude elipsoidal aproximada (h_0)

$$h_0 = \frac{d}{\cos\varphi_0} - v_0 \quad (2.24)$$

onde

$$d = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (2.25)$$

Na segunda iteração, resulta

$$\operatorname{tg}\varphi_1 = \frac{Z}{d} \left(1 - \frac{v_0}{v_0 + h_0} \right) \quad (2.26)$$

e

$$h_1 = \frac{d}{\cos\varphi_0} - v_0 \quad (2.27)$$

Repetindo este procedimento até que a diferença entre duas iterações consecutivas torne-se desprezível, obtém-se φ e h . Substituindo estas em (2.22), determina-se λ .

Conhecendo as altitudes elipsoidal e ortométrica de cada ponto, calcula-se facilmente a altura geoidal (N)

$$N = h - H \quad (2.28)$$

onde H é a altitude ortométrica, obtida através do nivelamento geométrico ou eventualmente trigonométrico

Componentes do desvio da vertical

As coordenadas astronômicas existentes no Brasil foram determinadas para o apoio geodésico no mapeamento. O IBGE e o Inter American Geodetic Survey (IAGS) determinaram as coordenadas geográficas em cerca de 400

pontos que são vértices da triangulação, utilizando os métodos clássicos de Sterneck ou de Horrebaw-Talcott para a latitude e o das passagens meridianas para a longitude (IBGE, 1987). Foram aplicadas as seguintes correções no cálculo da latitude: ao movimento do polo, à curvatura da linha de prumo e à excentricidade. E no cálculo da longitude: ao movimento do polo e à excentricidade. O Instituto Geográfico e Geológico do Estado de São Paulo (IGG) determinou as coordenadas geográficas em cerca de 320 pontos, usando o método de Sterneck para a latitude e o de Zinger para a longitude (IGG, 1953). Entre estes, 40 pontos possuem coordenadas geodésicas extraídas de cartas em escala 1:25.000 (Taliberti & Gabrielli, 1966) e 190 de cartas mais recentes em escala 1:50.000. As coordenadas geodésicas dos 630 pontos (Fig. 2.1), originalmente vinculadas ao DATUM Córrego Alegre, foram transformadas para o atual DATUM do SGB através de fórmulas diferenciais (Heiskanen & Moritz, 1967). As diferenças entre as coordenadas do vértice CHUÁ referidas aos dois DATA são (IBGE, 1983)

$$\begin{aligned}
 \Delta\varphi &= \varphi_B - \varphi_C = 0,5723'' \\
 \Delta\lambda &= \lambda_B - \lambda_C = 0,1931'' \\
 \Delta h &= h_B - h_C = 0
 \end{aligned}
 \tag{2.29}$$

onde o índice B indica coordenadas no atual DATUM do SGB e c indica coordenadas no DATUM Córrego Alegre. As diferenças entre os parâmetros elipsoidais recomendados pelo IBGE (1983) são:

$$\Delta a = a_{1967} - a_{1924} = -228 \text{ m} \quad (2.30)$$

$$\Delta f = f_{1967} - f_{1924} = -0.141115 \times 10^{-4}$$

Para a determinação das coordenadas geocêntricas, referidas ao GRS80, foram usados os parâmetros de translação (IBGE, 1988b)

$$\begin{aligned} T_x &= -64,97 \text{ m} \\ T_y &= +3,25 \text{ m} \\ T_z &= -42,53 \text{ m} \end{aligned} \quad (2.31)$$

O desvio astro-geodésico da vertical no sistema geocêntrico é expresso pelas componentes meridiana e primeiro vertical

$$\xi = \phi - \varphi \quad (2.32)$$

$$\eta = (\Lambda - \lambda)\cos\varphi$$

onde Φ e Λ representam a latitude e a longitude astronômicas, φ e λ a latitude e a longitude geodésicas, respectivamente.

3. MODELO MATEMÁTICO

A medição geodésica envolve grandezas geométricas (distâncias e ângulos) e grandezas físicas (potencial e gravidade) no exterior das

massas terrestres. Isto significa que as medidas geodésicas dependem:

- da posição de pontos, e
- do campo de gravidade.

Esta dependência funcional pode ser expressa matematicamente por

$$\mathbf{m} = \mathbf{F}(\mathbf{Y}, \mathbf{W}) \quad (3.1)$$

onde \mathbf{m} é o vetor das medidas, \mathbf{Y} é o vetor dos parâmetros e \mathbf{W} é o geopotencial.

Na terminologia da análise funcional, \mathbf{F} representa um funcional não linear de \mathbf{Y} e \mathbf{W} . Para \mathbf{Y} , \mathbf{F} é uma função contínua e para \mathbf{W} é uma função com derivadas contínuas, que pode envolver também integração.

Linearização de funcionais

O resultado que se obtém na medição geodésica, sintetizado em (3.1), representa, um sistema de equações funcionais do tipo

$$\begin{aligned} m_1 &= F_1(\mathbf{Y}, \mathbf{W}) \\ m_2 &= F_2(\mathbf{Y}, \mathbf{W}) \\ m_3 &= F_3(\mathbf{Y}, \mathbf{W}) \\ &\vdots \\ &\vdots \\ m_q &= F_q(\mathbf{Y}, \mathbf{W}), \end{aligned} \quad (3.2)$$

onde o vetor dos parâmetros (\mathbf{Y}) e a função potencial (\mathbf{W}) são as incógnitas.

A resolução do sistema (3.2) torna-se mais simples quando o modelo

matemático é linearizado. Para isso, adotam-se os valores aproximados X_0 e U , tais que

$$Y = X_0 + X \quad (3.3)$$

$$W = U + T$$

e as diferenças

$$X = Y - X_0 \quad (3.4)$$

$$T = W - U$$

sejam suficientemente pequenas para assegurar a convergência rápida da aproximação.

Com isso, o modelo matemático (3.1) toma a forma

$$m = F(X_0 + X, U + T) \quad (3.5)$$

Introduzindo esta expressão na aproximação linear da fórmula de Taylor, encontra-se

$$m = F(X_0, U) + a^T X + LT \quad (3.6)$$

onde L é um funcional linear e

$$\mathbf{a}_k = \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{Y}_k} (\mathbf{X}_o, \mathbf{U}) \quad (3.7)$$

Para

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \mathbf{a}_1^T \\ \mathbf{a}_2^T \\ \vdots \\ \mathbf{a}_q^T \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} \mathbf{L}_1 \\ \mathbf{L}_2 \\ \vdots \\ \mathbf{L}_q \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

e

$$\mathbf{l} = \mathbf{F}(\mathbf{Y}, \mathbf{W}) - \mathbf{F}(\mathbf{X}_o, \mathbf{U}) \quad (3.10)$$

obtém-se o modelo linearizado

$$\mathbf{l} = \mathbf{A}\mathbf{X} + \mathbf{B}\mathbf{T} \quad (3.11)$$

Este modelo representa dados exatos. Mas, na prática, existem erros

observacionais ou ruídos (\mathbf{n}), que devem ser incluídos e, neste caso, resulta a forma geral

$$\mathbf{l} = \mathbf{AX} + \mathbf{BT} + \mathbf{n} \quad (3.12)$$

para a representação integrada do potencial anômalo.

Colocação por mínimos quadrados

O problema da representação do campo de gravidade, a partir de dados heterogêneos, expresso em (3.12), através da condição de unicidade

$$\alpha \langle \mathbf{T}, \mathbf{T} \rangle + \beta \mathbf{n}^T \mathbf{D}^{-1} \mathbf{n} = \text{mínimo}, \quad (3.13)$$

tem solução expressa analiticamente por (Moritz, 1980)

$$\hat{\mathbf{X}} = \left[\mathbf{A}^T (\beta \mathbf{C} + \alpha \mathbf{D})^{-1} \mathbf{A} \right]^{-1} \mathbf{A}^T (\beta \mathbf{C} + \alpha \mathbf{D})^{-1} \mathbf{l} \quad (3.14)$$

e

$$\hat{\mathbf{T}} = (\beta \mathbf{BK})^T (\beta \mathbf{C} + \alpha \mathbf{D})^{-1} (\mathbf{l} - \mathbf{AX}) \quad (3.15)$$

onde α e β são parâmetros numéricos, \mathbf{K} é o núcleo do espaço de Hilbert, \mathbf{C} e \mathbf{D} são matrizes simétricas definidas positivas. Dependendo do que se adota para os parâmetros, o núcleo e as matrizes, a solução geral assume formas particulares e admite interpretações distintas.

A colocação por mínimos quadrados constitui o caso particular em que

T é considerado um processo estocástico. Isto proporciona interpretações estatísticas para as normas do potencial anômalo e do erro observacional.

A idéia da interpretação estatística dos elementos do campo anômalo iniciou com Graff-Hunter (1935). Mas, coube a Hirvonen (1956) iniciar a fase que se notabilizou pela análise estatística do campo anômalo (Kaula, 1959), pelas aplicações geodésicas dos processos estocásticos (Moritz, 1963; Kaula, 1963) e pela utilização de funcionais na determinação do potencial anômalo (Krarup, 1969), originando a colocação com núcleos genéricos na terminologia de Moritz (1980).

A colocação por mínimos quadrados é aquela que minimiza as variâncias dos parâmetros $\left(\sigma_x^2\right)$ e do potencial anômalo $\left(\sigma_T^2\right)$, isto é,

$$\sigma_x^2 = \text{mínimo} \quad (3.16)$$

$$\sigma_T^2 = \text{mínimo} \quad (3.17)$$

Estas condições de mínimo são satisfeitas por (3.14) e (3.15) através de (3.16) e (3.17) se (Moritz, 1980)

- os parâmetros forem unitários

$$\alpha = \beta = 1 \quad (3.18)$$

- a função que representa o núcleo é igual à função covariância do sinal

$$K(P,Q) = C\left(T_P, T_Q\right) = C_{tt} \quad (3.19)$$

- a matriz peso é igual à matriz das covariâncias do ruído

$$C\left(n_P, n_Q\right) = C_{nn} \quad (3.20)$$

Assim, com (3.19) e (3.20) pode-se escrever

$$C\left(T_P, T_Q\right) + C\left(n_P, n_Q\right) = C_{tt} + C_{nn} = \tilde{C} \quad (3.21)$$

$$BK = C_{st} \quad (3.22)$$

$$t = BT \quad (3.23)$$

e

$$s = \begin{bmatrix} t \\ u \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

onde t e u representam os vetores dos sinais conhecidos e desconhecidos, respectivamente. Nestas condições, o modelo matemático da colocação por mínimos quadrados tem a forma geral

$$l = AX + s + n \quad (3.25)$$

Como a componente determinística, neste caso, foi representada pelo

modelo OSU86F, a expressão (3.25) se reduz ao modelo não paramétrico ($X=0$), expresso por

$$l = s + n \quad (3.26)$$

A solução para o vetor dos sinais e a respectiva variância são dadas por (Moritz, 1980)

$$\hat{s} = C_{st}^{-1} C_{st}^{-1} (l - AX) \quad (3.27)$$

$$\sigma_s^2 = C_{ss} - C_{st} C_{ts}^{-1} C_{st} \quad (3.28)$$

onde as matrizes covariâncias são obtidas através de funções ajustadas às covariâncias amostrais.

4. CÁLCULO E REPRESENTAÇÃO DE COVARIÂNCIAS

A colocação por mínimos quadrados requer as covariâncias de todos os dados envolvidos na aproximação. Teoricamente, qualquer tipo de dado do campo de gravidade pode ser usado para a obtenção das covariâncias. Mas, como a quantidade e a distribuição geográfica dos dados são importantes nos processos de amostragem, as anomalias gravimétricas são geralmente usadas por constituírem a maior população e a distribuição geográfica mais homogênea dos dados atualmente disponíveis.

Assim, representando a anomalia observada (Δg) através das componentes

determinística $\left(\Delta g^d\right)$ e estocástica $\left(\Delta g^r\right)$, tem-se

$$\Delta g = \Delta g^d + \Delta g^r \quad (4.1)$$

onde a componente determinística é dada por (2.5) combinada com (2.2) e (2.3) através de (2.1).

A componente estocástica, na realidade, é a combinação do sinal $\left(\Delta g^s\right)$ e do ruído $\left(\Delta g^n\right)$ resultante dos erros observacionais e dos erros de aproximação das correções adotadas às observações

$$\Delta g^r = \Delta g^s + \Delta g^n \quad (4.2)$$

Para distribuições geográficas apropriadas, as covariâncias amostrais podem ser calculadas pelo método direto. Assim, as covariâncias entre n elementos amostrais da componente estocástica

$$\Delta g^r = \left\{ \Delta g_1^r, \Delta g_2^r, \dots, \Delta g_n^r \right\} \quad (4.2)$$

são dadas pelo operador média

$$C(\psi_k) = \text{cov}\left(\Delta g_i^r, \Delta g_j^r\right) = M\left\{\Delta g_i^r \Delta g_j^r\right\} \quad (4.3)$$

e obtidas numericamente por

$$C(\psi_k) = \frac{1}{n_k} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \Delta g_i^r \Delta g_j^r \quad (4.4)$$

onde k é o índice de classificação segundo as distâncias. Assim, $C(\psi_k)$ representa a média dos produtos dos elementos existentes em pontos que estão à distância ψ_{ij} tal que

$$\psi_k - \frac{\Delta\psi}{2} \leq \psi_{ij} \leq \psi_k + \frac{\Delta\psi}{2} \quad (4.5)$$

e $\Delta\psi$ é o intervalo de distância das classes.

A expressão (4.4) proporcionam covariâncias em função apenas da distância relativa ψ , o que significa covariâncias isotrópicas. Na prática, estas são de maior interesse devido à simplicidade de cálculo. Mas, é necessário fixar a distância para a qual se pode supor isotropia, o que pode ser feito através da simetria das covariâncias bidimensionais em relação ao eixo das covariâncias (Sá, 1988).

Funções covariâncias esféricas

Como o cálculo de covariâncias pelos processos de amostragem em geral é lento, sobretudo para distribuições irregulares, ele é efetuado somente para a obtenção de covariâncias amostrais, às quais se ajustam modelos matemáticos apropriados à colocação por mínimos quadrados. Para covariâncias homogêneas e isotrópicas, os modelos são relativamente simples e caracterizam-se por três parâmetros (Fig. 4.1) que, segundo a terminologia de Moritz (1980) são: a variância $\left[C_0 \right]$, a distância de correlação $\left[\psi_1 \right]$ e o parâmetro de curvatura $\left[\chi \right]$. Este, obtido a partir da variância do gradiente horizontal $\left[G_0 \right]$.

O modelo mais usado para a representação de covariâncias sobre a esfera é o de Tscherning & Rapp (1974), expresso por

$$C(\psi) = \sum_{n=2}^N \sigma_n \left(\frac{R_B^2}{\Gamma_P \Gamma_Q} \right)^{n+2} P_n(\cos\psi) + \sum_{n=N+1}^{\infty} \frac{A(n-1)}{(n-2)(n+B)} \left(\frac{R_B^2}{\Gamma_P \Gamma_Q} \right)^{n+2} P_n(\cos\psi) \quad (4.6)$$

onde σ_n representa a variância de grau do erro contido no modelo do geopotencial, adotado na representação da componente determinística

$$\sigma_n = \sum_{m=0}^n \left(c_{nm}^2 + s_{nm}^2 \right) \quad (4.7)$$

com

$$c_{nm} = \bar{C}_{nm(\text{real})} - \bar{C}_{nm(\text{calc})} \quad (4.8)$$

e

$$s_{nm} = \bar{S}_{nm(\text{real})} - \bar{S}_{nm(\text{calc})} \quad (4.9)$$

Na prática, entretanto, esses erros são desconhecidos. A alternativa é substituí-los pelos erros padrões dos coeficientes ou, faltando estes, omiti-los no modelo (4.6).

Os parâmetros essenciais C_0 , ψ_1 e G_0 definem as características locais do campo e são relacionados ao modelo (4.6) através das variáveis

$$A, B, \frac{R_B^2}{\Gamma_P \Gamma_Q} \text{ e } N$$

Neste caso, duas delas são fixas. O número de variâncias de grau a ser

subtraído é dado pelo grau de truncamento adotado no modelo ($N=45$). A variável B , que descreve a estrutura da variância de grau, não pode ser obtida a partir de dados locais. Assim, usou-se o valor numérico ($B=24$), determinado por Tscherning & Rapp (1974) a partir de dados globais. Omitindo os erros no modelo do potencial e adotando-se a aproximação esférica usual, a expressão (4.6) toma a forma

$$C(\psi) = A \sum_{n=46}^{\infty} c_n^*(\Delta g, \Delta g) s^{n+2} P_n(\cos \psi) \quad (4.10)$$

onde

$$c_n^*(\Delta g, \Delta g) = \frac{n-1}{(n-2)(n+24)} \quad (4.11)$$

$$s = \frac{R_B^2}{r_P r_Q} \doteq \left(\frac{R_B}{R} \right)^2 \quad (4.12)$$

e

$$R_B = R - \Delta R \quad (4.13)$$

Portanto, a determinação do modelo para representação de covariâncias se traduz no cálculo de A e s a partir de C_0 , G_0 e ψ_1 .

Os dados gravimétricos disponíveis atualmente no Brasil ainda são insuficientes para uma aproximação simultânea de todos os parâmetros do modelo expresso em (4.10). A inexistência de dados gradiométricos, por exemplo, dificulta a obtenção do parâmetro de curvatura. Mas, o cálculo de A e s em (4.10) a partir de C_0 e ψ_1 torna-se relativamente simples, pois A independe de ψ_1 e depende linearmente de C_0 . Assim, calcula-se s

para ψ_1 com um valor arbitrário de A, por exemplo, com A=1. Para isso, é conveniente escrever a expressão de s na forma

$$s = \left(\frac{R_B}{R} \right)^2 = \left(\frac{R - \Delta R}{R} \right)^2 \quad (4.14)$$

e representar ΔR em função de ψ_1 através do polinômio

$$\Delta R = 0,189396 - 0,041128 \psi_1 + 0,003498 \psi_1^2 \quad (4.15)$$

onde os coeficientes são calculados pelo método dos mínimos quadrados.

Logo, a partir de ψ_1 , obtém-se s para os dados considerados.

A determinação de A consiste no cálculo de um fator F tal que

$$C(\psi) = AF|_{\psi=0} \quad (4.16)$$

Comparando esta com a expressão (4.10), encontra-se o fator

$$F = \sum_{n=46}^{\infty} \sigma_n^*(\Delta g, \Delta g) s_n^{n+2} P_n(\cos \psi) \quad (4.17)$$

e, conseqüentemente, a fórmula para A

$$A = \frac{C}{F} \quad (4.18)$$

A Fig. 2.1. mostra a inexistência de dados gravimétricos em grandes áreas, sobretudo do Norte e Centro Oeste, o que inviabiliza a obtenção de covariâncias bidimensionais para a verificação da isotropia

em toda a extensão do país. A verificação para o Sudeste do Brasil (15° - 25°S e 40° - 55°W) mostra que para anomalias médias em quadriculas de 1°x1° as covariâncias são aproximadamente isotrópicas (Sá, 1988).

A componente estocástica (Δg^r) foi obtida por (4.1) e as covariâncias unidimensionais $C(\psi_k)$ foram calculadas por (4.4). Com os parâmetros essenciais correspondentes, C_0 e ψ_1 , foram calculados s e A , para a representação de $C(\psi_k)$.

Para aumentar a precisão e reduzir o tempo computacional no cálculo das covariâncias, são usadas as fórmulas finitas (Sá, 1988) equivalentes a (4.6). A Fig.4.2 mostra o gráfico das covariâncias obtidas com função modelada para o Brasil.

A função covariância do potencial anômalo, que também depende desses parâmetros, tem a forma

$$K(\psi) = R_B^2 \sum_{n=2}^N \frac{\sigma_n}{(n-1)^2} s^{n+2} P_n(\cos\psi) + R_B^2 \sum_{n=N+1}^{\infty} \frac{c_n}{(n-1)^2} s^{n+2} P_n(\cos\psi) \quad (4.19)$$

com

$$c_n = A c_n^* \quad (4.20)$$

Assim, pela lei de propagação das covariâncias (Moritz, 1980),

$$\text{cov}(L_i(P), L_j(Q)) = L_i(P) L_j(Q) K(\psi) \quad (4.21)$$

obtém-se as covariâncias para todos os funcionais envolvidos.

5. SISTEMÁTICA DE APLICAÇÃO

A representação do campo de gravidade, combinando dados heterogêneos, consiste basicamente em

- determinar a função aproximante \hat{T} a partir de funcionais lineares $L \left(L_{\Delta g}, L_N, L_{\xi}, L_{\eta} \right)$ aplicados a T , e
- calcular o campo de gravidade $g \left(\hat{\Delta g}, \hat{N}, \hat{\xi}, \hat{\eta} \right)$ através de funcionais lineares L aplicados a \hat{T} .

Como o esferóide de referência foi representado pelo modelo OSU86F, truncado em grau e ordem 45, o potencial anômalo estimado no ponto P é expresso por (Fig.5.1)

$$\hat{T}(P) = T_M(P) + \hat{T}_r(P) \quad (5.1)$$

onde T_M é a componente esferoidal obtida pelos coeficientes do modelo através de (2.1) e \hat{T}_r é a componente residual. O potencial residual no ponto P e a respectiva variância são obtidos por (3.27) e (3.28)

$$\hat{T}_r(P) = C_{P_i}^T C^{-1} C_{P_j} \quad (5.2)$$

$$\sigma_{T_r}^2 = C_{L,L} - C_{P_i}^T C^{-1} C_{P_j} \quad (5.3)$$

onde as covariâncias

$$C = \text{cov}\left(L_i(T_r), L_j(T_r)\right) + \sigma_{ij}^2 \quad (5.4)$$

$$C_{iP} = \text{cov}\left(L_i(T_r), T_r(P)\right) \quad (5.5)$$

$$C_{Pj} = \text{cov}\left(T_r(P), L_j(T_r)\right) \quad (5.6)$$

e a variância

$$C_{L,L} = \text{var}(L,L) \quad (5.7)$$

são obtidas pela propagação das covariâncias, calculadas pelas fórmulas finitas equivalentes a (4.19), ajustadas aos parâmetros determinados para as covariâncias amostrais.

Com o valor estimado \hat{T}_r , calcula-se \hat{T} por (5.1) e, com este, obtém-se respectivamente por (2.4), (2.5), (2.6) e (2.7)

$$\hat{N} = L_N(\hat{T}) \quad (5.8)$$

$$\hat{\Delta g} = L_{\Delta g}(\hat{T}) \quad (5.9)$$

$$\hat{\xi} = L_{\xi}(\hat{T}) \quad (5.10)$$

$$\hat{\eta} = L_{\eta}(\hat{T}) \quad (5.11)$$

Para um grande volume de dados, a colocação por mínimos quadrados tem

o inconveniente da morosidade computacional por envolver a inversão da matriz covariância (\mathbf{C}), que é completa e tem dimensões iguais ao número de dados envolvidos no processamento. Para evitar esta dificuldade, originada pela grande extensão do Brasil, a área foi dividida em compartimentos quadrados, com sobreposição nas bordas. Assim, o número de dados, usados simultaneamente, se reduz ao dos compartimentos onde se processa a representação. As dimensões dos compartimentos são fixadas em função da distância de correlação da função covariância e da distribuição geográfica dos dados disponíveis.

No processamento realizado com os dados do Brasil, as dimensões dos compartimentos (Fig.5.2) foram fixadas em 6° para anomalias gravimétricas médias e alturas geoidais, 4° para componentes do desvio da vertical e 2° para a representação integrada. Este esquema, adotado nas quadrículas de $2^\circ \times 2^\circ$ que integram o território brasileiro, proporcionou modelos digitais com resolução de 0.5° , para todos os elementos do campo de gravidade, e permitiu a comparação dos valores estimados nos pontos comuns das quadrículas adjacentes.

6. RESULTADOS E CONCLUSÕES

A representação do campo de gravidade no Brasil foi realizada sobre os pontos de uma distribuição geográfica regular com intervalo de $0,5^\circ$ em latitude e longitude. Na integração dos dados geodésicos, efetuada através da colocação por mínimos quadrados, foi usado o esferóide obtido com modelo OUS86F, truncado em grau e ordem 45.

Com os modelos digitais determinados neste processamento, foram construídos os mapas da anomalia gravimétrica ar-livre (Fig.6.1), da altura geoidal (Fig.6.2) e do desvio da vertical em termos das componentes meridiana (Fig.6.3) e primeiro vertical (Fig.6.4).

Para comparação, a representação do campo foi efetuada também nos pontos das observações. Os resíduos entre os valores observados e os calculados foram representados na forma de histogramas para a anomalia ar-livre (Fig.6.5), a altura geoidal (Fig.6.6) e as componentes meridiana (Fig.6.7) e primeiro vertical (Fig.6.8). Os parâmetros estatísticos calculados para esses resíduos estão na Tabela 6.1.

O geóide obtido através da colocação por mínimos quadrados (N_c) foi comparado com o geóide gravimétrico determinado pela integral de Stokes (N_s) , generalizada para um esferóide de alto grau (Sá, 1993). As diferenças entre as alturas geoidais $(\Delta N = N_s - N_c)$, calculadas para um conjunto de pontos com distribuição geográfica regular, foram representadas através de histograma (Fig.6.9) e parâmetros estatísticos (Tabela 6.2).

Os parâmetros estatísticos permitem avaliar alguns aspectos importantes relacionados com a técnica e os dados utilizados na representação. Estes aspectos são:

- a) Os resíduos relativamente grandes da anomalia ar-livre ocorrem de forma isolada, pois a média e o desvio padrão são coerentes com as características do campo de gravidade no Brasil. A causa de alguns resíduos anormais está na insuficiência de dados gravimétricos para o cálculo das anomalias médias nessas quadrículas.
- b) Os resíduos das alturas geoidais, apesar de não ocorrerem de forma

isolada, como indicam a média e o desvio padrão, são semelhantes aos encontrados em outros países como, por exemplo, Canadá (Vaníček et al., 1987). O desvio padrão aparentemente grande de N_{OC} pode ser explicado pela inclusão de alguns pontos Doppler processados com efemérides transmitidas, e também pelo uso de algumas altitudes ortométricas obtidas pelo nivelamento trigonométrico.

c) As componentes do desvio da vertical apresentam resíduos semelhantes, exceto para as médias em que há uma componente sistemática considerável em η_{OC} .

d) Os resíduos N_{SC} mostram coerência entre os geóides comparados. Apesar de terem sido determinados a partir de dados e esferóides diferentes, a componente sistemática e a dispersão são pequenas. Alguns resíduos aparentemente grandes decorrem da comparação de geóides com diferentes resoluções espaciais ($0,5^\circ$ para N_s e 1° para N_c)

A parte dominante do erro padrão obtido para as alturas geoidais corresponde à componente global produzida pelo modelo geopotencial. Isto significa que o erro padrão das alturas geoidais relativas, de grande interesse para a determinação da altitude ortométrica através do GPS, é inferior a 50 cm e satisfaz os limites do erro admissível em vários trabalhos de mapeamento topográfico e de levantamentos geofísicos.

A metodologia usada neste trabalho para a representação do campo de gravidade constitui uma estratégia que pode ser aplicada em grande parte do Brasil e fornecer uma precisão para as alturas geoidais compatível com a do nivelamento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço as instituições que forneceram dados gravimétricos, o IBGE pelos dados geodésicos e o apoio nos levantamentos gravimétricos, C.C. Tscherning pelo programa GEOCOL de sua autoria, R.H. Rapp pelos coeficientes do modelo OSU86F e pelas anomalias gravimétricas médias, D. Blitzkow pela contribuição enquanto fomos colegas no IAG, e C. Gemael pelas discussões e o constante incentivo.

Este trabalho contou com o apoio do CNPq, da FAPESP e do PADCT/FINEP.

REFERÊNCIAS

- ARABELOS, D. -1989- Gravity approximation in the area of Greece with emphasis on local characteristics. *Bull. Geod.* **63**(1): 69-84.
- BOUCHER, C. & ALTAMIMI, Z. -1985- Towards an improved realization of the BIH terrestrial frame. *Proc. International Conference on Earth Rotation and the Terrestrial Reference Frame*. Columbus 1: 551-564.
- EISSFELLER, B. -1985- Orbit improvement using local gravity field information and least squares prediction. *Manuscr. Geod.* **10**: 91-101.
- FORSBERG, R. & TSCHERNING, C.C. -1981- The use of height data in gravity field approximation by collocation. *J. Geophys. Res.* **86**(B9): 7843-7854.
- FU, R.S. -1989- Plate motions, Earth's geoid anomalies, and mantle convection. In *Slow deformation and transmission of stress in the Earth* (S.Cohen & P.Vaníček eds.). Geophysical Monograph **49**: 47-54.

- FUKUDA, Y. & SEGAWA, J. -1991- Derivation of the most reliable geoid in the area of Japan and some comments on the variability of the sea surface topography. In *Determination of the geoid, present and future* (R.H. Rapp & F. Sanzò eds). Springer-Verlag, New York, pp: 191-200.
- GEMAEL, C. -1981- *Referenciais cartesisanos utilizados em Geodésia* Publ. do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná , Curitiba, 69 pp.
- GRAFF-HUNTER, J.de -1935- The figure of the Earth from gravity observations and the precision obtainable. *Phil. Trans. Roy. Soc. London, A*, **234**: 377-431.
- HAINES, B.J.; BORN, G.H.; MARSH, J.G. & WILLIAMSON, R.G. -1989- A summary of precise orbit computation for the GEOSAT exact repeat mission. *Technical Digest* **10**(4): 393-404. John Hopkins. APL.
- HEISKANEN, W.A. & MORITZ, H. -1967- *Physical Geodesy*, Freeman, San Francisco, 364 pp.
- HIRVONEN, R.A. -1956- On the precision of the Gravimetric determination of the Geoid. *EOS Trans. Am. Geophys. Union*, **37**: 1-8.
- HOAR, G.J. -1982- *Satellite Surveying*. Publ. by Magnavox Advanced Products and Systems Company, California, 146 pp
- IAG (International Association of Geodesy) -1971- Geodetic Reference System 1967. *Bull. Geod. Publication Speciale n° 3*, Bureau Central, Paris, 115 pp.
- IAG (International Association of Geodesy) -1974- The International Gravity Standardization Net 1971. *Bull. Géod. Special Publication n° 4*, Paris, 194 pp.
- IAG (International Association of Geodesy) -1980- The Geodesist's Book.

- Ed. I. I. Mueller, *Bull. Geod.* 54(3): 394-408.
- IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) -1983-
Boletim de Serviço 1602. Resolução PR no. 22. Rio de Janeiro, 11 pp.
- IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) -1987-
Coordenadas astronômicas e geodésicas do Brasil. *Relatório Interno*.
Rio de Janeiro.
- IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) -1988a-
Coordenadas cartesianas geocêntricas obtidas com rastreamento de
satélites artificiais explorando o efeito Doppler. *Relatório Interno*.
Rio de Janeiro.
- IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) -1988b-
Parâmetros para transformação de Sistemas Geodésicos. Resolução
PR-32/88 anexo II, Rio de Janeiro, 4 pp.
- IGG (Instituto Geográfico e Geológico do Estado de São Paulo) -1953-
Coordenadas geográficas de locais do Estado de São Paulo. *Boletim n.º*
34. São Paulo, 21 pp.
- KAULA, W.M. -1959- Statistical and harmonic analysis of gravity. *J.*
Geophys. Res. 64(12): 2401-2421.
- KAULA, W.M. -1963- Determination of the Earth's gravitational field. *Rev.*
Geophys. 1(4): 507-551.
- KAULA, W.M. -1972- Global gravity and tectonics. In *The Nature of the*
Solid Earth (E.C. Robertson ed). McGraw-Hill, pp: 385-405
- KRARUP, T. -1969- *A contribution to the mathematical foundation of*
physical geodesy. Publ. n.º 44, Danish Geodetic Inst., Copenhagen, 80
pp.
- LAMBECK, K. -1988- *Geophysical Geodesy: The slow deformation of the*

- Eearth*. Clarendon Press, Oxford, 718 pp.
- LERCH, F.J.; KLOSKO, S.M.; PATEL, G.B. & WAGNER, C.A. -1985- A gravity model for crustal dynamics (GEM-L2). *J. Geophys. Res.* **90**(B11): 9312-9334.
- MCKENZIE, D. -1977- Surface deformation, gravity anomaly and convection. *Geophys. J. R. Astron. Soc.* **48**: 211-238.
- MCNUT, M. -1990- If only we had better gravity data. In *Geodesy in the year 2000*. National Academy Press, Washington, pp: 53-84
- MORITZ, H. -1963- Interpolation and prediction of point gravity anomalies. *Annales Academiae Scientiarum Fennicae*, A, III, **69**: 32 pp.
- MORITZ, H. -1980- *Advanced Physical Geodesy*. Abacus Press, Wichmann, 500 pp.
- MORITZ, H. -1990- *The figure of the Earth: theoretical geodesy and Earth's interior*. Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe, 279 pp.
- NETTLETON, L.L. -1976- *Gravity and magnetic in oil prospecting*. McGraw-Hill, New York, 464 pp.
- ON (Observatório Nacional) -1987- Rede Gravimétrica Fundamental Brasileira. *Pub. do ON - Departamento de Geofísica*. Rio de Janeiro, 419 pp
- RAPP, R.H. -1983- The development of the January 1983 1°x1° mean free-air anomaly data tape. Internal Report of the Ohio State University, Columbus, 58 pp.
- RAPP, R.H. & CRUZ, J.Y. -1986- The representation of the Earth's gravitational potential in spherical harmonic expansion to degree 250. *Report n.º 372. The Ohio State University*, Columbus, 64 pp.
- RICARD, Y. & BAI, W. -1991- Inferring the viscosity and the 3-D density

- structure of the mantle from geoid, topography and plate velocity. *Geophys. J. Int.* **105**: 562-571.
- RUNCORN, S.R. -1967- Flow in the mantle inferred from the low degree harmonics of the potential. *Geophys. J. R. Astron. Soc.* **14**: 375-384.
- SÁ, N.C.de & BLITZKOW, D. -1986- Uma tentativa de homogeneizar os dados gravimétricos existentes no Brasil. *Rev. Bras. Geofis.*, **4**(2): 73-77.
- SÁ, N.C.de -1988- Modelos estatísticos e representação integrada do campo de gravidade no Brasil. *Tese de Doutorado*, IAG/USP, São Paulo, 240 pp.
- SÁ, N.C.de; USSAMI, N. & MOLINA, E.C. -1992- Mapa gravimétrico do Brasil: modelos gravimétricos digitais ar-livre e Bouguer. *Relatório Técnico*. IAG/USP, São Paulo, 47 pp.
- SÁ, N.C.de; USSAMI, N. & MOLINA, E.C. -1993- Gravity map of Brazil 1. Representation of free-air and Bouguer anomalies *J. Geophys. Res.* **98**(B2): 2187-2198
- SANZÒ, F. -1986- Statistical methods in physical geodesy. In *Mathematical and Numerical techniques in physical geodesy* (H. Sunkel ed). Springer-Verlag, New York, pp: 49-155.
- SCHWARZ, K.P. -1985- A unified approach to post-mission processing of inertial data. *Bull. Geod.* **59**(1): 33-54.
- SMITH, R.W. -1988- Department of Defense World Geodetic System (WGS84) - Its definition and relationship with local geodetic systems. *Report 8350.2, Defense Mapping Agency, Washington, D.C.*
- SUNKEL, H.; BARTELME, N.; FUCHS, H.; HANAFY, M.; SCHUH, D. & WIESER, M. -1987- The gravity field in the Austria. *Publication IV Institute of Theoretical Geodesy*. Technical University of Graz, Graz,

125 pp.

- TALIBERTI, L. & GABRIELLI, A. -1966- Contribuição para o estudo do desvio da vertical no Brasil. *Publ. do Instituto Geográfico e Geológico do Estado de São Paulo*, São Paulo, 7 pp.
- TSCHERNING, C.C. & RAPP, R.H. -1974- Closed Covariances expressions for gravity anomalies, geoid undulation and deflections of the vertical implied by the anomaly degree variances models. *Report n.º 208. The Ohio State University*, Columbus, 89 pp.
- TSCHERNING, C.C. -1983- Determination of a (quasi) geoid for the nordic countries from heterogenous data using collocation. In *Proceedings of the 2nd International Symposium on the Geoid in Europe and Mediterranean Area*, Rome, pp: 388-412.
- TSCHERNING, C.C. -1985- GEOCOL - a FORTRAN program for gravity field approximation by collocation. Geophysical Institute, Copenhagen.
- TSCHERNING, C.C. -1986- Theoretical methods for gravity field approximation. In *Mathematical and Numerical Techniques in Physical Geodesy* (H. Sunkel ed.) Springer-Verlag, New York, pp: 1-47.
- USSAMI, N.; SÁ, N.C.de & MOLINA, E.C. -1993- Gravity map of Brazil 2. Regional and residual isostatic anomalies and their correlation with major tectonic provinces. *J. Geophys. Res.* **98**(B2): 2199-2208.
- VANÍCEK, P. & KRAKIWSKY, E. -1986- *Geodesy: The concepts*, Elsevier, New York, 697 pp.

Res íduo	Número	Média	D. Padrão	Mínimo	Máximo
Δg_{oc}	842	0.27	7.98	-28.25	28.88
N_{oc}	365	-0.35	2.21	-6.52	6.78
ξ_{oc}	378	0.04	1.53	-3.84	5.00
η_{oc}	380	-0.50	1.71	-4.98	4.72

O subscrito oc indica resíduos entre os valores observados e os calculados

Tabela 6.1

Res íduo	Número	Média	D.Padrão	Mínimo	Máximo
N_{sc}	2808	- 0,16	0,94	- 3,90	3,97

O subscripto sc indica resíduos entre os geóides determinados pela integral de Stokes e pela colocação por mínimos quadrados

Tabela 6.2

TÍTULOS DAS TABELAS

Tabela 6.1 - Estatística dos resíduos das observações

Tabela 6.2 - Estatística das diferenças entre os geóides obtidos pela integral de Stokes e através da colocação por mínimos quadrados

TÍTULOS DAS FIGURAS

Fig. 2.1 - Distribuição geográfica dos dados utilizados
anomalia ar-livre média (IAG92)
anomalia ar-livre média (OSU83)
altura geoidal Doppler
componentes do desvio da vertical

Fig. 4.1 - Parâmetros essenciais da função covariância

Fig. 4.2 - Função covariância para o Brasil

Fig. 5.1 - Decomposição do potencial anômalo

Fig. 5.2 - Compartimentação para cálculo

Fig. 6.1 - Anomalia gravimétrica ar-livre

Intervalo de contorno: 5 mGal

Fig. 6.2 - Altura geoidal

Intervalo de contorno: 1 m

Fig. 6.3 - Desvio da vertical (componente meridiana)

Intervalo de contorno: 1 seg arc

Fig. 6.4 - Desvio da vertical (componente primeiro vertical)

Intervalo de contorno: 1 seg arc

Fig. 6.5 - Resíduo da anomalia ar-livre

Fig. 6.6 - Resíduo da altura geoidal

Fig. 6.7 - Resíduo do desvio da vertical

(componente meridiana)

Fig. 6.8 - Resíduo do desvio da vertical

(componente primeiro vertical)

Fig. 6.9 - Resíduo entre alturas geoidais N_S e N_C

N_S = Geóide obtido pela integral de Stokes

N_C = Geóide obtido através da colocação por
mínimos quadrados

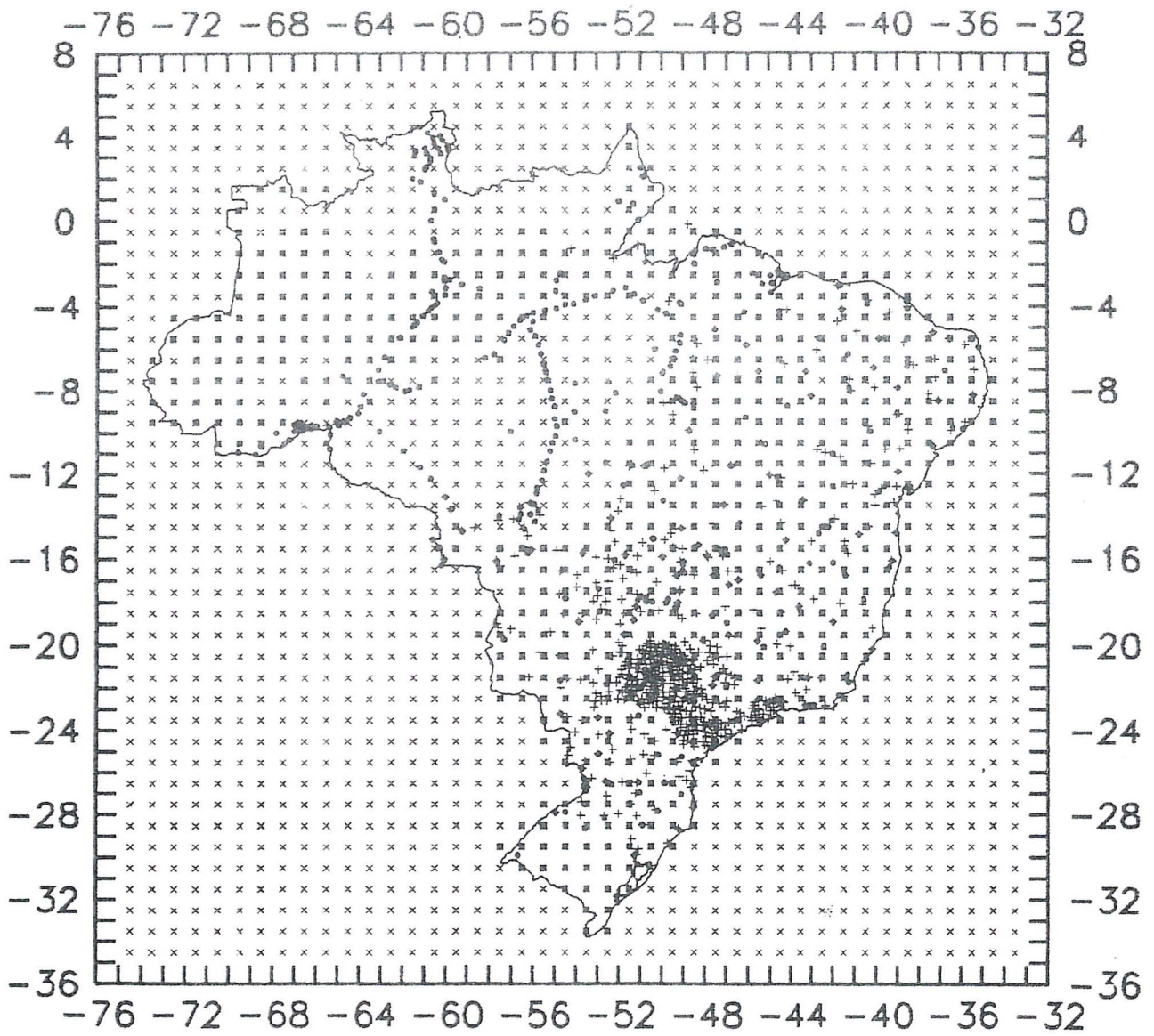


Fig. 2.1

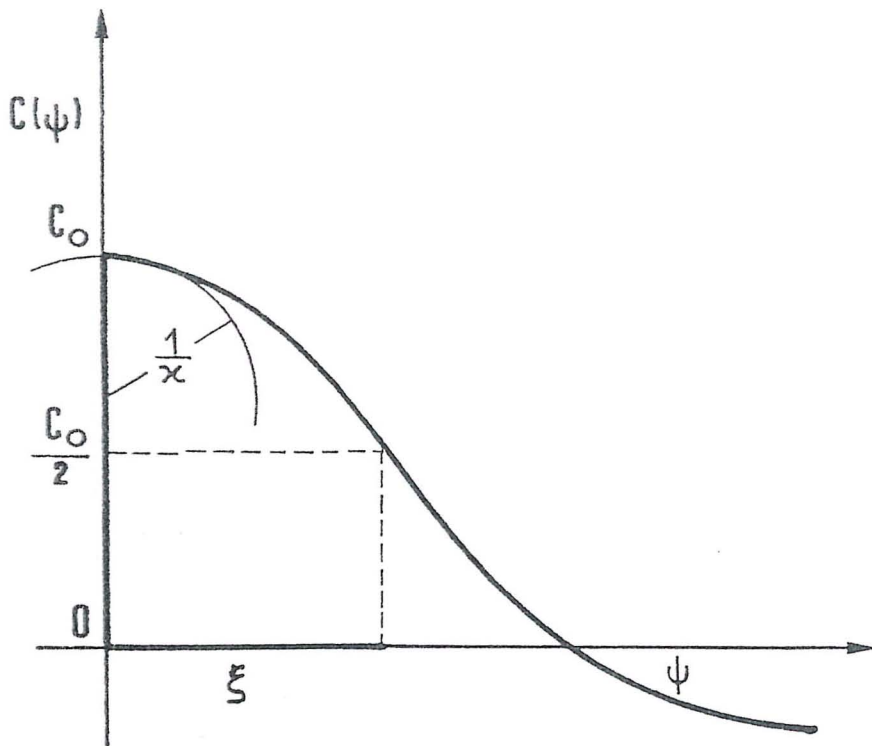


Fig. 4.1

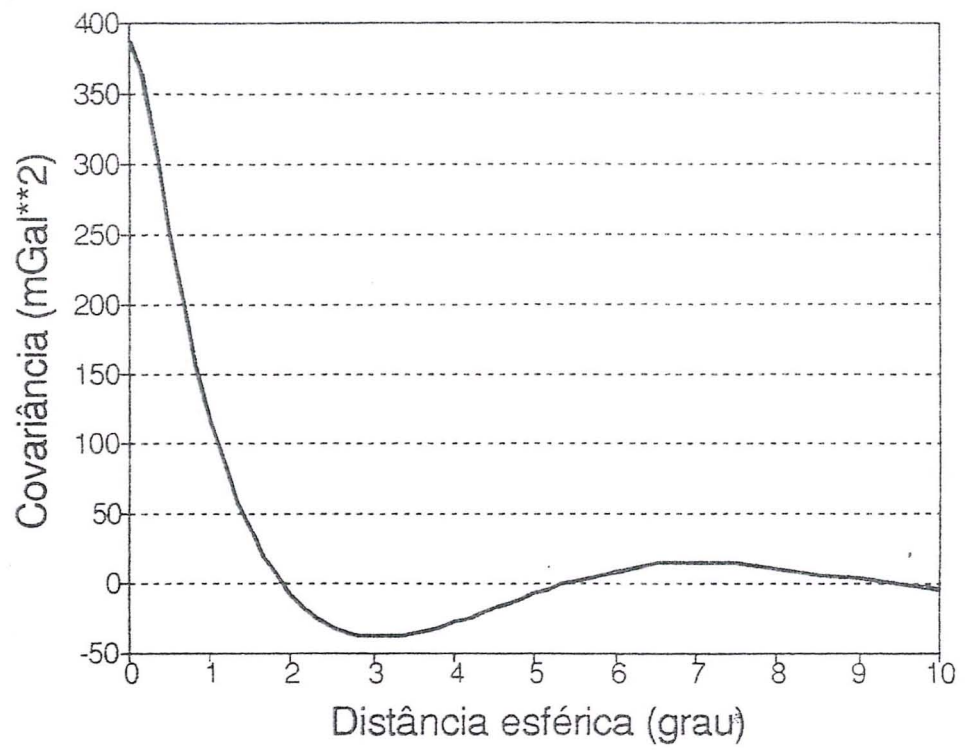


Fig. 4.2

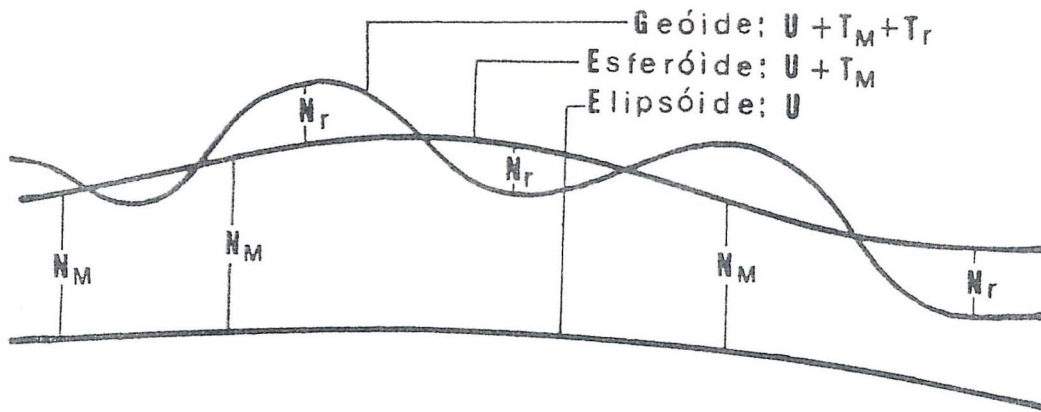


Fig. 5.1

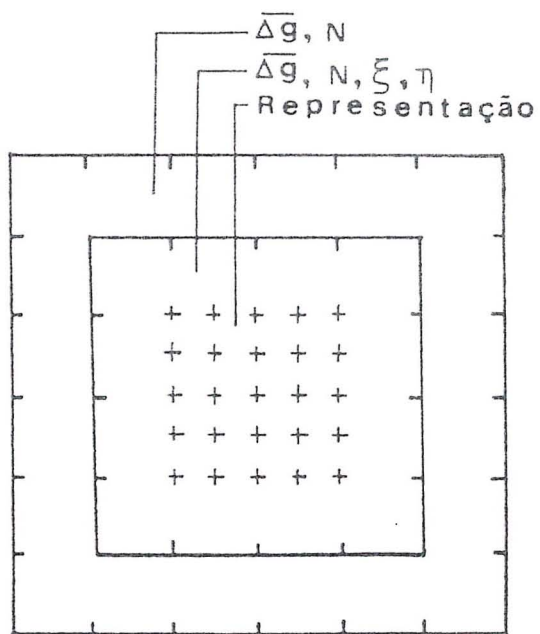


Fig. 5.2

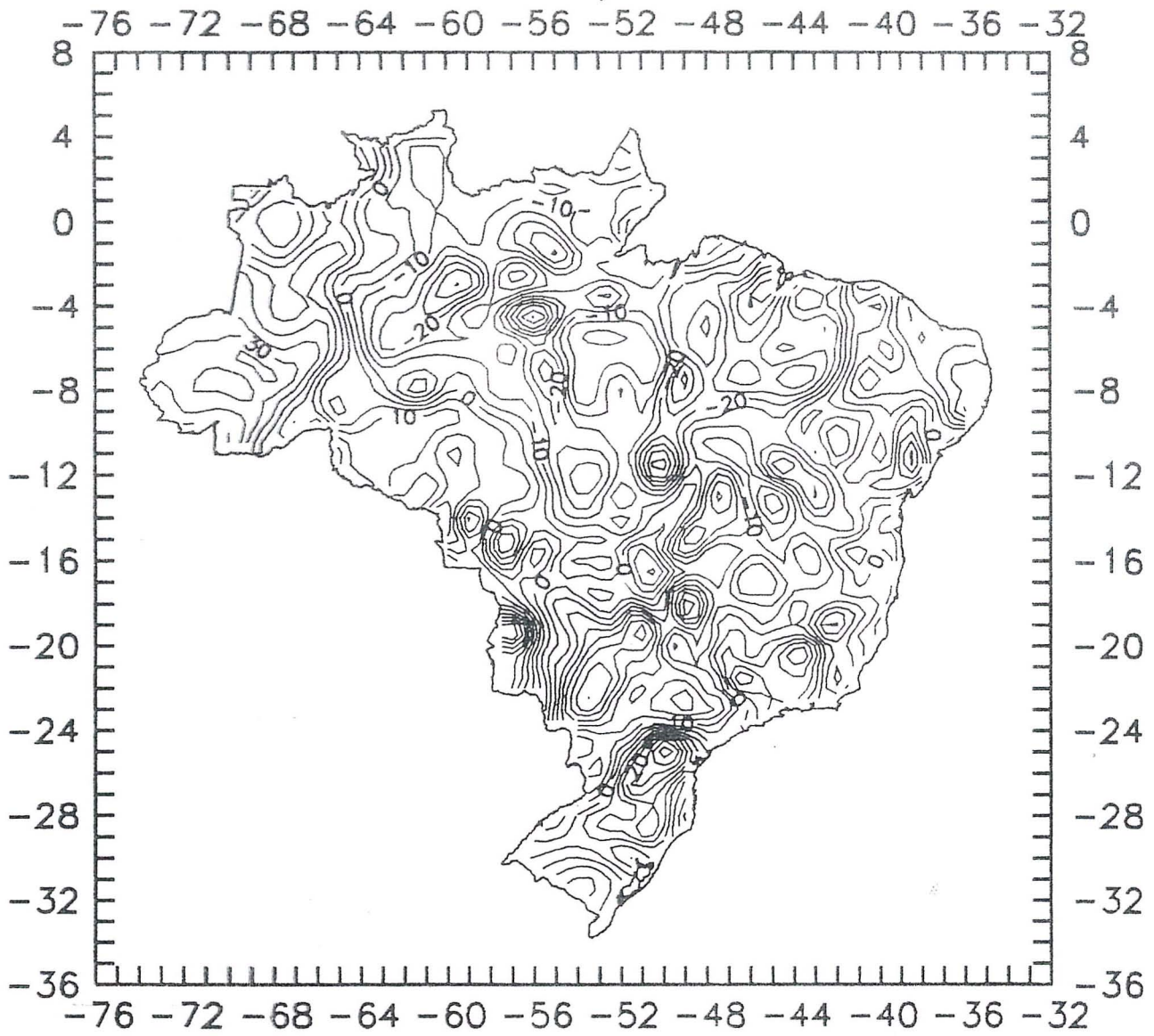


Fig. 6.1

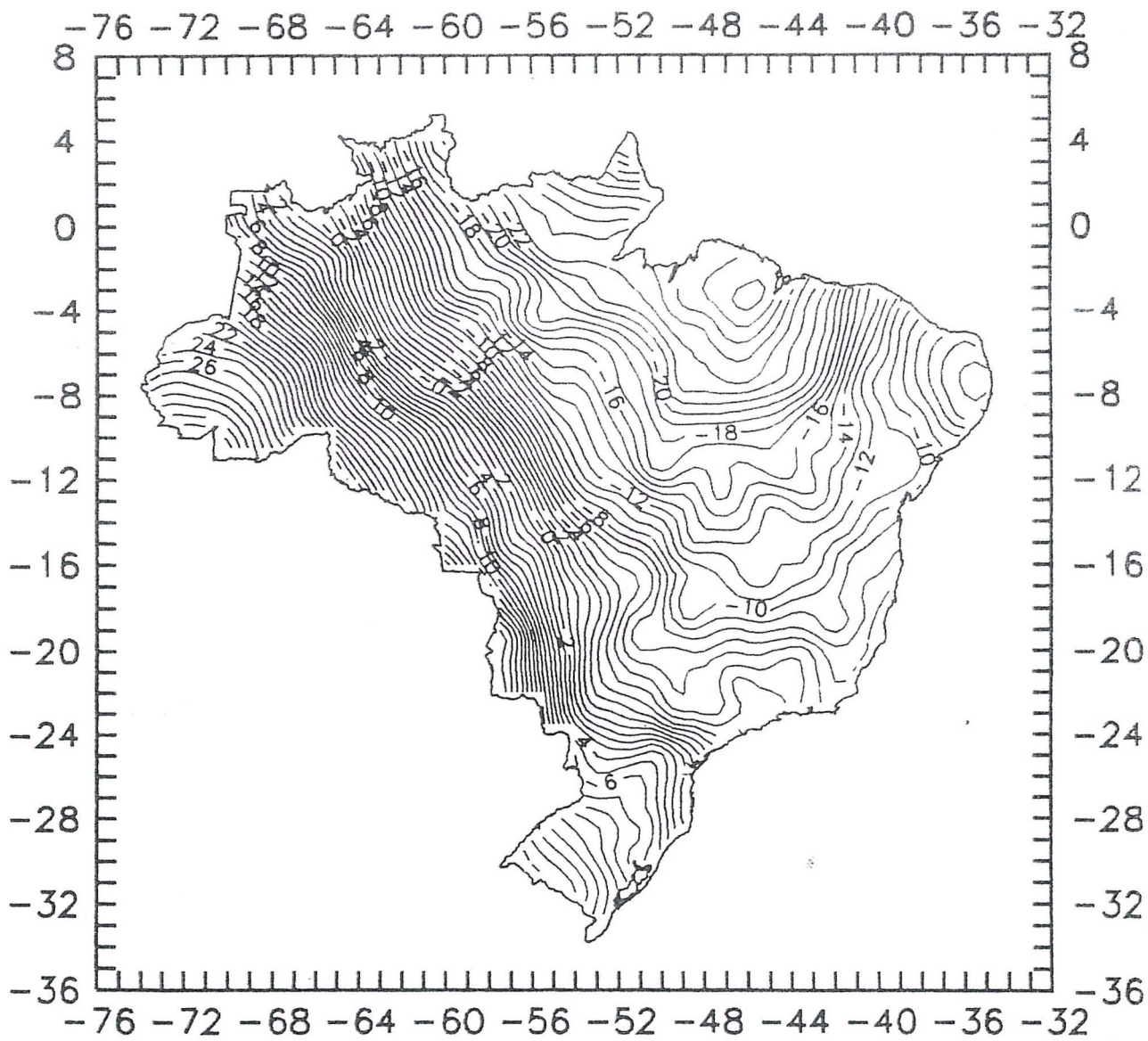


Fig. 6.2

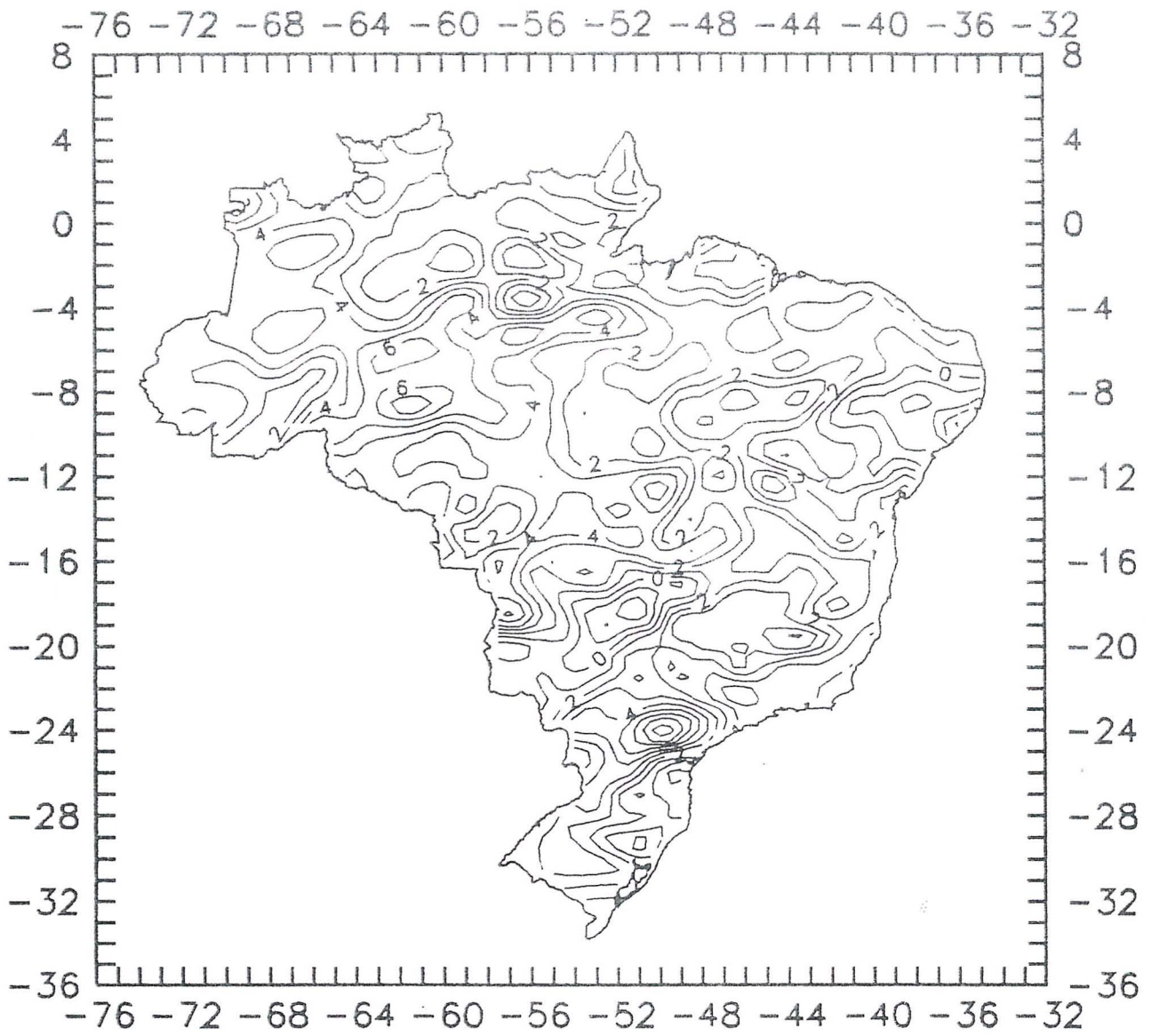


Fig. 6.3

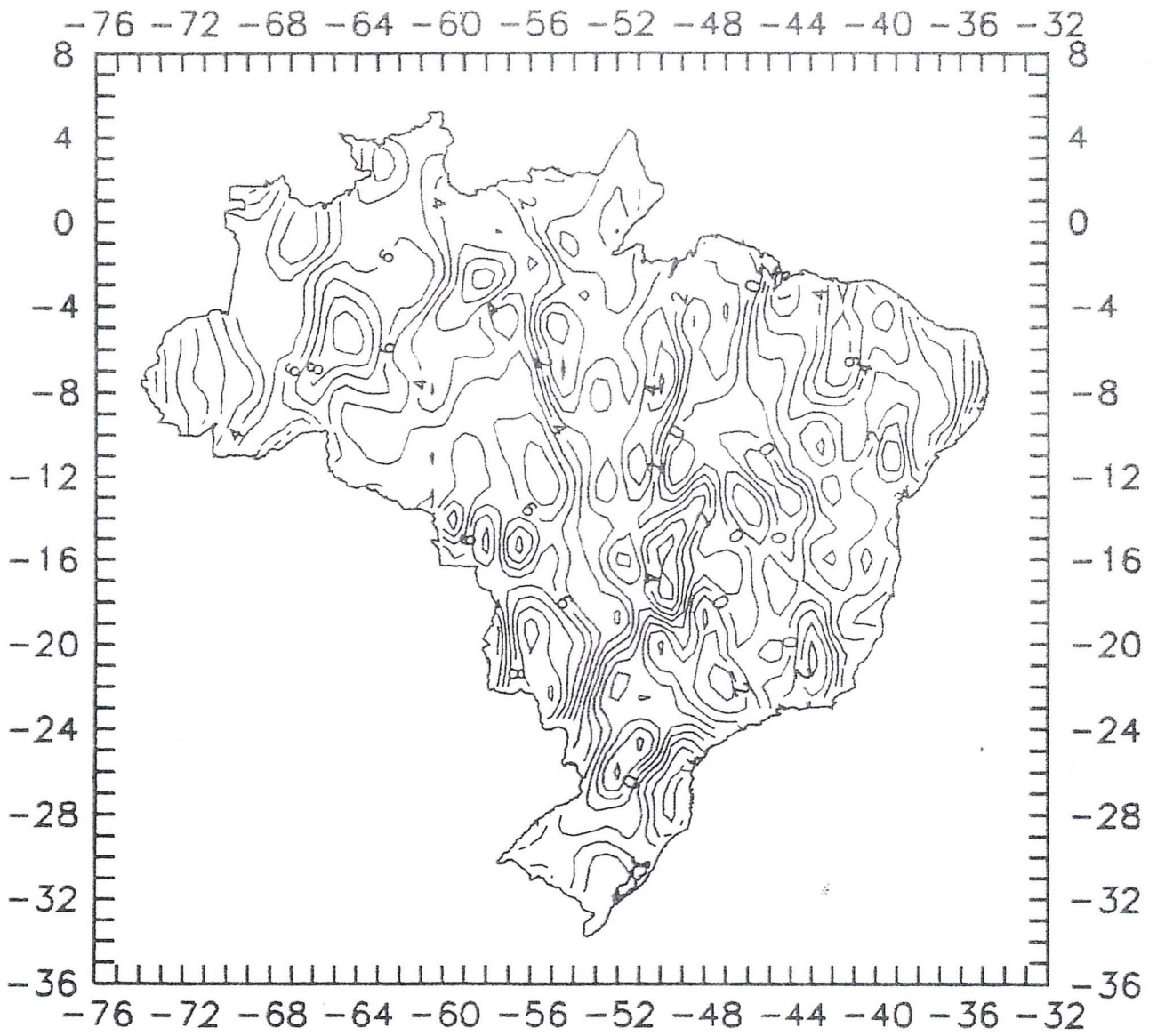


Fig. 6.4

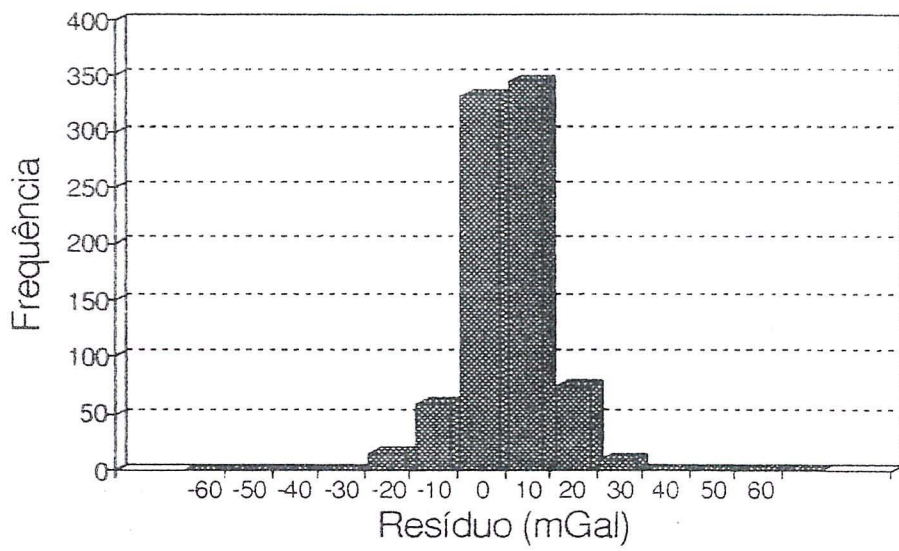


Fig. 6.5

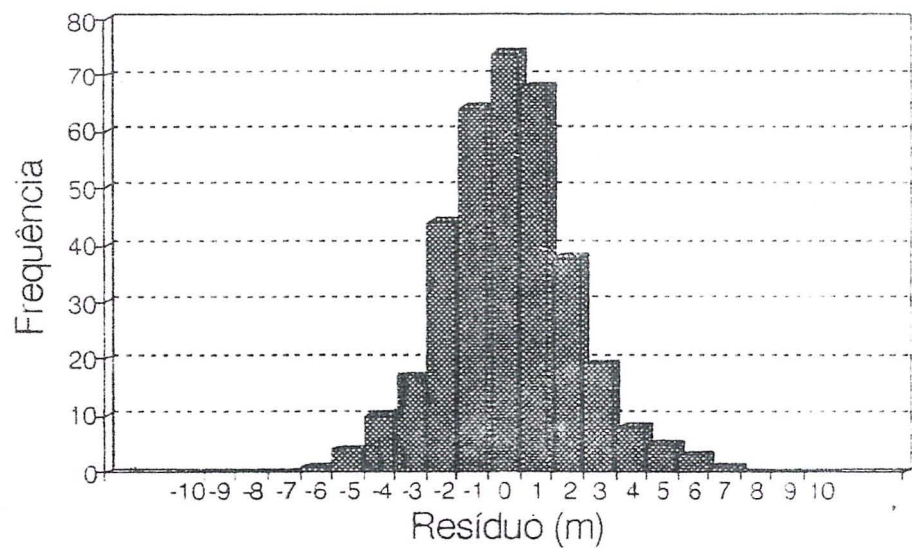


Fig. 6.6

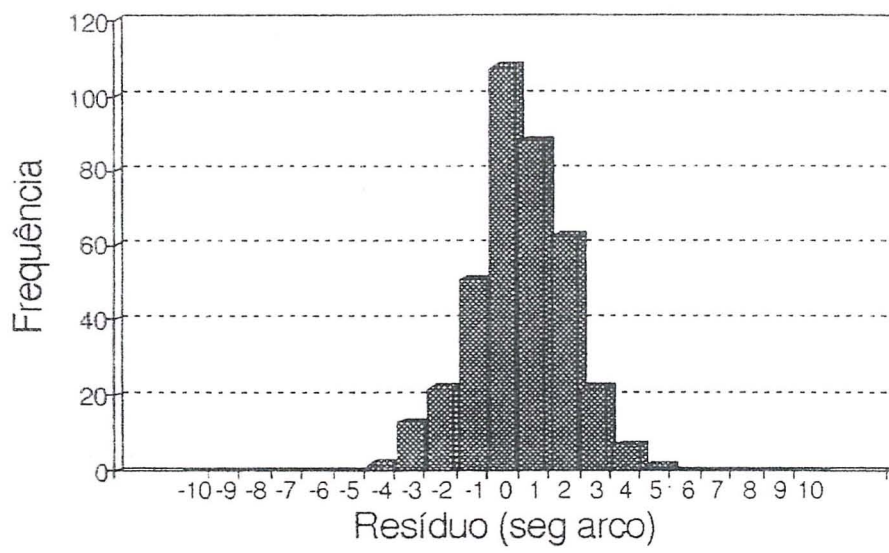


Fig. 6.7

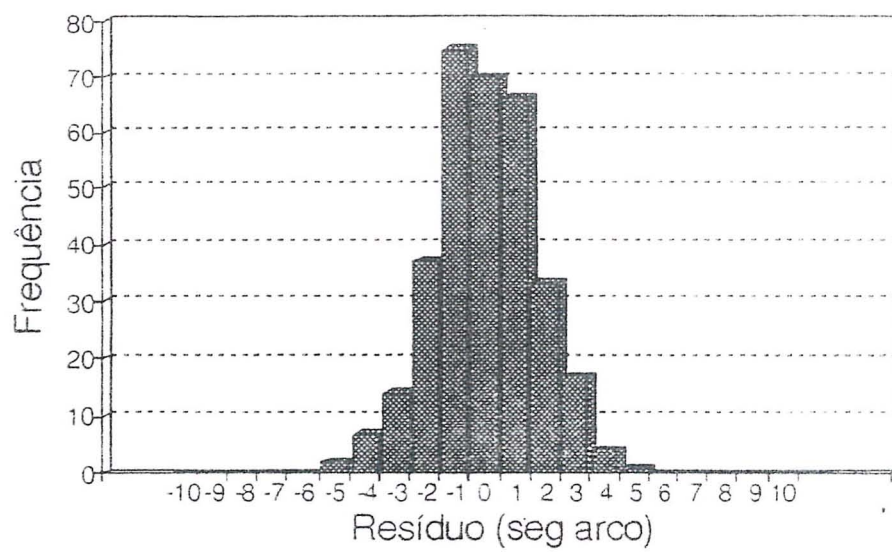


Fig. 6.8

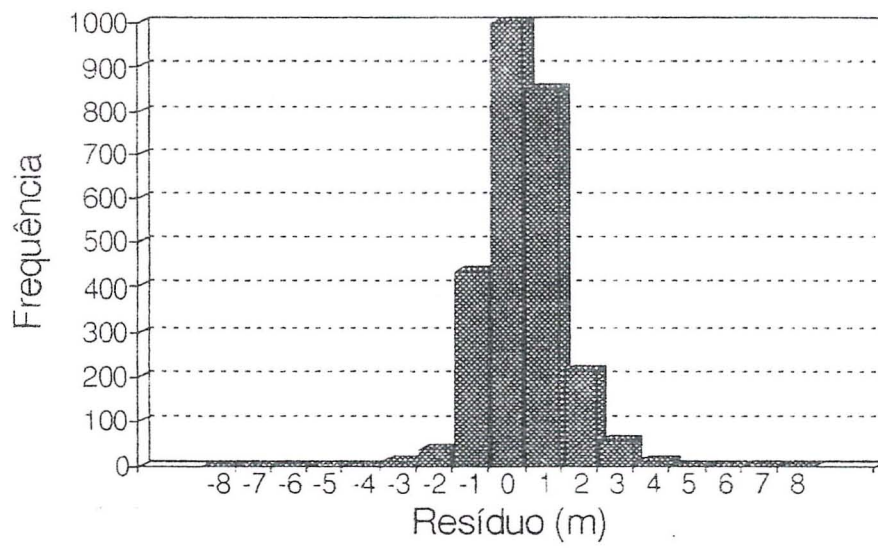


Fig. 6.9

HIGH PRECISION GPS NETWORK IN BRAZIL

V. Ashkenazi and T. Moore

Institute of Engineering Surveying and Space Geodesy (IESSG)
University of Nottingham

J.F. Galera Monico

Departamento de Cartografia, FCT - UNESP
Campus de Presidente Prudente

IESSG - University of Nottingham

1 State-of-the-Art GPS Positioning

New receivers and highly sophisticated software, have made surveying by using the Global Positioning System (GPS) a highly effective geodetic technique. With a pair of geodetic GPS receivers and a commercial software package, one can now easily obtain relative positioning accuracies of the order of a few millimetres and 1 or 2 parts per million (ppm). This can be done quickly, reliably, cheaply, in 3-d, and by operators with only minimal training. It is therefore easy to understand why GPS surveying is quickly replacing more traditional surveying instruments and techniques, such as triangulation, trilateration, traversing and levelling. With the increasing popularity of GPS surveying, the prices of geodetic receivers and software are also coming down. One can now buy a pair of receivers and a standard commercial software package for about \$ 20,000 or less.

The applications of GPS surveying are now very numerous and diverse. GPS surveying is used in land and engineering surveying, setting-out, levelling, control surveying, positioning for Geographical Information System (GIS), structural deformation monitoring, offshore and hydrographic surveying. In addition to these standard surveying applications, GPS now offers a new potential for very high precision positioning and heighting in geophysics and oceanography. One can now determine the relative positions and heights of a large number of points, situated hundreds and thousands of kilometres apart, to hitherto unheard of accuracies of a few centimetres or even millimetres. However, this requires the adoption of special field observational procedures and computational strategies, which are broadly known as 'fiducial GPS'.

2 Fiducial GPS and the IGS Network

The fiducial GPS technique involves the observation of simultaneous (dual frequency) carrier phase measurements at a network of fiducial stations, whose coordinates are known to a very high order accuracy in a global reference frame, and a number of new stations whose coordinates are required. Full details of the method are given by Ashkenazi et al (1989), and only a brief outline is given here.

The fiducial process involves the computation of a theoretical (integrated) orbit for each of the satellites, based on the forces acting on it. The forces modelled include gravitational attraction (of the moon, sun and the planets, and earth and ocean tides), surface forces (e.g. solar radiation) and other perturbing influences. The theoretical orbit for each satellite is computed by numerical integration of the acceleration vector, starting from a initial state vector (3-d position and velocities) obtained from a previous broadcast or the precise ephemeris. These theoretical orbits are improved during the network adjustment. The complete set of carrier phase measurements from all the stations is adjusted by least squares, holding the 3-d coordinates of a minimum of three fiducial stations fixed, and solving for the 3-d coordinates of the new stations, as well as for the corrections to the satellite orbits and other bias parameters. The resulting adjusted network of ground stations and satellite orbits is positioned, scaled and oriented to the reference frame defined by the adopted coordinates of the fiducial stations held fixed. The high accuracy of the coordinates of the fiducial stations are then transferred to the new stations, via the satellite orbits.

The International GPS Geodynamics Service (IGS) is a permanent international service established in 1990 by the International Association of Geodesy (IAG). The primary goals of the IGS are to provide the scientific community with high quality GPS orbits on a rapid basis, and earth rotation parameters of high resolution, to expand geographically the current International Terrestrial Reference Frame (ITRF) maintained by the International Earth Rotation Service (IERS), and lastly to monitor the global deformations of the earth's crust (Mueller, 1993). The IGS is based on about 40 permanent tracking GPS stations, forming a permanent GPS tracking network. The IGS network is therefore ideally suitable for the continuous global monitoring of GPS satellites at the tracking stations, and could therefore effectively provide fiducial

station coordinates at the epoch of a fiducial GPS campaign. The formal start of IGS routine operations was on 1 January 1994.

3 GPS Campaigns in Brazil : A Summary

The first GPS experiments in Brazil were carried out in 1988. The main objectives were to introduce the GPS technology in Brazil and to start research in the field of GPS applications. Campos et al (1989) describe some early GPS projects in Brazil. One of these was the re-occupation of part of the Southern Brazilian First Order Geodetic Network, and another a GPS Metropolitan Geodetic Network for cadastral purposes in Curitiba-PR. Fortes and Blitzkow (1989) also report on tests which were carried out, comparing GPS and the classical Brazilian network.

These first few GPS experiments were followed by more substantial GPS campaigns at national and international levels. Several institutions in Brazil participated in the following international campaigns: GIG91, BRASION91, BRASION92 and the IGS Epoch '92. At the national level, IBGE¹ proposed the establishment of a Brazilian Network for the continuous tracking of GPS satellites, referred to as RBMC (Fortes, 1991). The proposed network, with some 8 stations would have the characteristics of an Active Control System (ACS), like the Canadian system (Delikaraglou et al, 1986). Users could access data collected at these stations, either via communication links or off-line, with floppy disks. To date (March 1995), only three of these stations are operational.

IBGE has also made an effort to coordinate and collect GPS data obtained by users on various projects throughout Brazil. The aim was to include the results (expressed in terms of coordinate differences) in the adjustment of the classical network. This could then be used to improve the most recent Brazilian Geodetic System based on SAD-69, the South American Datum 1969.

Another local GPS project in Brazil is the São Paulo State Network (Blitzkow et al, 1993). It comprises 24 passive stations, at ranges of about 200 km, which has now been completely observed. Some IGS stations will also be included in the processing, which is currently being carried out.

¹Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

At the South American continental level, the South American Geocentric Reference System (SIRGAS) project was created in 1993. Its aims are to define a new reference system for South America, to establish and maintain a basic reference network, and to define and realise a geocentric datum (SIRGAS, 1994). The total of GPS stations is about 800, of which 85 will be located in Brazil. The first campaign is expected to be held during May-June 1995.

For the project described in this paper, i.e. the " High Precision GPS Network in Brazil", we have used data collected during the IGS Epoch '92 Campaign in Brazil, Chile and the USA. The project is described in the following Chapter.

4 IGS Epoch '92 Campaign : Brazilian Stations

The Brazilian participation in the Epoch '92 campaign was as a regional centre (Bergamini, 1993). It included several Brazilian institutions, notably the Federal University of Paraná (UFPr), IBGE, the University of São Paulo (USP), the Paulista State University (UNESP) and the National Institute for Space Research (INPE).

Three of the stations (Paraná, Presidente Prudente and Brasilia) were continuously occupied during 14 days of the IGS Epoch '92 campaign. These stations belong to the proposed Brazilian network of continuous GPS tracking stations (RBMC). A further four stations in São Paulo State (Taquarussu, Ilha Solteira, Avanhadava and Salto Grande) were occupied for a of local project. Each one of these four stations was occupied for a period of 3 hours for each of 2 days. The station Chua, the origin of SAD-69, was occupied for a whole day.

In order to connect the stations occupied in Brazil during the IGS Epoch '92 campaign to an international reference frame, i.e. ITRF, the collected GPS data was processed jointly with GPS data from stations outside Brazil, which were also occupied during this campaign. These stations included Santiago in Chile, and Goldstone and Richmond in the United States. Figure 1 shows all the stations which were involved in the Project described in this paper.



Figure 1 : Brazilian Epoch '92 Campaign

Although the IGS Epoch '92 campaign involved 14 days of tracking data, we used no more than 7 days of GPS data for each of the stations. This provided us with a representative sample of the full data, for the purposes of this study. The tracking stations and the amount of data used, from the Brazilian Epoch '92 Campaign, to define the Brazilian High Precision Network (Brazilian HPN) are listed in the following Table 1.

Name	Site location	Data Processed (Julian Day)	Receiver
BRAS	Brasilia - DF, BR	208-213 and 218 24 hours/day	Trimble
PARA	Curitiba - PR, BR	208-213 and 218 24 hours/day	Trimble
UEPP	P.Prudente-SP, BR	208-213 and 218 24 hours/day	Trimble
AVAN	Avanhandava- SP, BR	210 and 209 3 hours/day	Trimble
ILHA	Ilha Solt.-SP, BR	210 and 211 3 hours/day	Trimble
TAQU	Taquarussu- SP, BR	208 and 211 3 hours/day	Trimble
SALT	Salto Grande-SP, BR	218 - 24 hours	Trimble
CHUA	Minas Gerais, BR	208-213 24 hours/day	Rogue
SANT	Santiago -Chile	208-213 24 hours/day	Rogue
RCM2	Richmond - USA	208-213 24 hours/day	Rogue
GOLD	Goldstone - USA		

Table 1:

Stations and Data Sets in the Brazilian HPN

A sample of 12 independent baselines and their corresponding lengths in km are listed in Table 2. They give an indication of the spread of the baseline lengths in our study.

Baselines	Length (km)	Baselines	Length (km)
SANT-PARA	2,234	UEPP-SALT	168
PARA-UEPP	430	CHUA-UEPP	432
UEPP-BRAS	777	CHUA-PARA	640
UEPP-ILHA	193	CHUA-BRAS	423
UEPP-AVAN	166	BRAS-RCM2	5,593
UEPP-TAQU	77	BRAS-GOLD	8,438

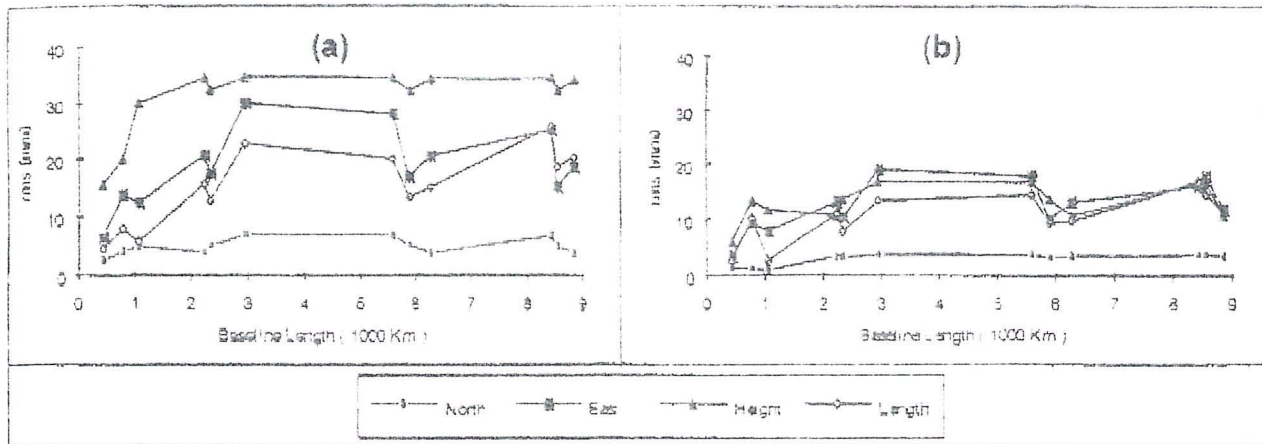
Table 2:
Sample Lengths of Processed Baselines

Only three of the stations all outside Brazil (SANT, RCM2 and GOLD), had known coordinates in the ITRF framework. Although these three stations are at very long distances away from the Brazilian stations, and therefore not very suitable, we nevertheless decided to use them as 'fiducial' stations, because of a lack of better alternatives.

5 High Precision Network In Brazil

The network, described in the previous section, has been adjusted by using the GPS Analysis Software (GAS), developed at the University of Nottingham (Stewart et al, 1994). The reference frame was defined by constraining the coordinates of the three fixed stations to their known ITRF93 values, with a standard error of ± 10 cm. Additionally, the satellite positions were held fixed to values computed from a Jet Propulsion Laboratory (JPL) Precise Ephemeris. The atmosphere (i.e. ionosphere and troposphere) was modelled by standard Nottingham techniques. We used the ionospheric free phase observable, and modelled the tropospheric refraction by applying the Magnet model. Within Magnet, we used two zenithal scale factors per day-and-station, modelled as a first order polynomial, and estimated as unknown parameters in the network adjustment. The effects of the earth body tides (EBT) were also modelled using the IERS standards (McCarthy, 1992).

For the purpose of this analysis, we only considered those stations which observed for at least 6 full days. The processing was carried out as two separate exercises, i.e. one involving six 24-hour data sets, and the other twelve 12-hour data sets respectively. The results obtained are illustrated in terms of repeatabilities (i.e. rms differences from the mean). The rms (mm) for the twelve 12-hour data sets, for varying baseline lengths, are shown in Figure 2(a), and those corresponding to the six 24-hour data sets, are drawn in Figure 2(b). Clearly, the latter displays a significant improvement, due to the averaging out and the cancelling of long term (24 hour) bias terms, such as ocean tide loading



GPS Precision over Long Baselines

Figure 2(a): 12-hour solution

Figure 2(b): 24-hour solution

The precisions illustrated in Figure 2(b), correspond to 10 to 20 mm in all three coordinate components, for baselines of up to 9,000 km in length. To comprehend this level of precision, which we achieved in our tests, one should remember that a 10 mm rms error, over a 10,000 km long line, corresponds to one-part-per billion (1 in 10^9) of the baseline length! We also found that, on average, the rms of the height component was twice that of the two horizontal components.

Finally, as an external check, we compared the coordinates obtained for station Chua, as part of our IGS Epoch '92 solution, with the corresponding coordinates obtained in earlier Transit-Doppler campaign (Fortes et al, 1990). The differences of coordinates between the two solutions, as given in Table 3, are remarkable in that they are well below the 1m level, i.e. the accuracy of absolute WGS84 coordinates obtained by using the Transit-Doppler system.

ΔX	ΔY	ΔZ
-0.379	-0.425	0.192

Table 3:
ITRF minus WGS84 Coordinates (m) for Station Chua

6 Potential Applications with the Brazilian Network

This study has demonstrated the ease with which one can obtain very high precision 3-d coordinates by using Fiducial GPS and the IGS precise ephemeris. These coordinates could, in turn, be used as fiducial stations coordinates, for further GPS densification networks. High precision fiducial GPS networks have many scientific and engineering applications. We shall list some of them here.

- (a) The continuous monitoring of crustal dynamics in tectonically unstable regions.
- (b) The precise measurement of vertical land settlements at tide gauge sites, used to monitor changes in the mean-sea-level and river estuaries (Ashkenazi et al, 1993a).
- (c) The setting-out and deformation monitoring of long pipelines.
- (d) The establishment of high precision local geodetic control network for large civil engineering projects.
- (e) The definition of a geodetic reference system for a Passive or Active Control System.
- (f) The establishment of local GPS control networks for monitoring the deformation of civil engineering structures, such as reservoirs and dams (Ashkenazi et al, 1993b).

7 Conclusions

The experiments carried out with the IGS Epoch '92 GPS data set led to the following achievements and conclusions.

- (a) We obtained a new set of coordinate values for a sparse High Precision Brazilian GPS Network, consisting of 5 stations in the State of São Paulo, 1 station in the State of Paraná, 1 station in Brasilia, and Chua, the datum point of SAD-69.
- (b) These coordinate values are referenced to and expressed in terms of ITRF93, the global IERS geodetic reference framework.
- (c) Although we only used an IGS Precise Ephemeris, we achieved some remarkable levels of precision, expressed in terms of repeatabilities of day-to-day solutions. The rms differences from the mean range from 10 to 20 mm, over baselines of up to 9,000 km.
- (d) The rms differences in height were, on average, twice as large as the rms differences in horizontal coordinate components.
- (e) The newly computed ITRF93 coordinates of Chua, the origin of SAD-69, differ from the currently used WGS84 values by -0.340, -0.421, 0.171 m in X, Y and Z geocentric coordinates respectively. These differences are remarkably small, as they are well below the 1 m level, the accuracy of Transit-Doppler derived absolute positions, using the Transit-Doppler Precise Ephemeris.

Acknowledgements

This project has been carried out with the financial support of CNPq, the Brazilian Research Council, and UNESP, the Paulista State University.

8 References

- Ashkenazi V., Bingley R. M., Whitmore G. M. and Baker T. F. (1993a) Monitoring Changes in Mean-Sea Level to Millimeters Using GPS, *Geophysical Research Letters*, Vol. 20, No. 18, pages 1951-1954, September, 1993.

- Ashkenazi V., Lowe D., Jones D. E. B. and Woodhams J.W. (1993) Reservoir Deformation Monitoring by GPS Satellites, *Water Supply I*, pages 8-10, September 1993.
- Ashkenazi, V., Moore, T., Ffoulkes-Jones, G.H., Whalley, S. and Aquino M. (1989). High Precision GPS Positioning by Fiducial Technique. In: *Proceedings of the International Association of Geodesy General Meeting*, Edinburgh, August, 1989, Springer Verlag
- Bergamini, E.W. (1993). IGS Service: Epoch '92 Regional Centre in Brazil, *Proceedings of the 1993 IGS Workshop*, p. 25-31, 25-26 March 1993, Berne.
- Blitzkow D., Netto, N.P., Cintra, J.P., Junior, E.S.F., Bueno, R.F., Schaal, R.E., Fortes, L.P.S., Pereira, K.D. and Campos, M.A. (1993). GPS Network in Brazil, *Proceedings of the IAG General Meeting*, Beijing, China.
- Campos M. A., Seeber G., Wübbena G. (1989) Positioning with GPS in Brazil, *Proceedings of the 5th International Geodetic Symposium on Satellite Positioning*, Vol. I, Las Cruces, p. 526-535.
- Delikaraglou D., Steeves R.R. and Beck N. (1986) Development of a Canadian Active Control System Using GPS, *Fourth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning*, Austin Texas, April 28- May 2- 1986.
- Fortes L. P. S. and Blitzkow D. (1989) Geodetic Positioning Experiments with NAVSTAR/GPS in Brazil, *Proceedings of the 5th International Geodetic Symposium on Satellite Positioning*, Vol. II, Las Cruces, p. 873-877.
- Fortes L. P. S. (1991) Brazilian Network for Continuous Monitoring of the Global Positioning System- RBMC, *International Association of Geodesy Symposia 109*, Permanent Satellite Tracking Networks for Geodesy and Geodynamics, p.95-101.
- McCarthy D. D. (1992) IERS Standards (1992), *IERS Technical Note 13*, Central Bureau of IERS- Observatoire de Paris
- Mueller I. I. (1993) The International GPS Service for Geodynamics: An Introduction. In: *Proceeding of the 1993 IGS Workshop*, Berne, p. 1-2.

Stewart M. P., Ffoulkes-Jones G. H. and Ochieng W. Y. (1994) *GPS Analysis Software (GAS) Version 2.2 User Manual*, IESSG Publication, University of Nottingham, UK.

SIRGAS (1994) South American Geocentric Reference System, *Newsletter # 1*, September, 1994.

PROJEÇÃO DE MERCATOR: RESOLUÇÃO DO PROBLEMA INVERSO USANDO O MÉTODO DE NEWTON - RAPHSON

ROBERTO A. FERNANDES

SUMÁRIO

Este artigo descreve como solucionar o problema inverso da projeção de Mercator (dadas as coordenadas de um ponto na superfície de representação, obter as correspondentes coordenadas na superfície de referência) utilizando o método de Newton-Raphson para determinação das raízes reais de uma equação. Adicionalmente são apresentados programas para calculadoras de lógica RPN que solucionam os problemas direto e inverso nessa projeção cartográfica.

INTRODUÇÃO

Como se sabe, a projeção cilíndrica de Mercator é usada na produção das cartas náuticas da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). A resolução do problema direto nessa projeção (i.é., conhecidas as coordenadas de um ponto na superfície de referência, calcular as coordenadas do mesmo ponto na superfície de representação) é tratada rotineiramente na Divisão de Cartografia da DHN, nada havendo a acrescentar. A resolução do problema inverso (i.é., conhecidas as coordenadas (X, Y) de um ponto na superfície de representação, calcular as coordenadas (ϕ, λ) do mesmo ponto na superfície de referência), no entanto, não é tão trivial, devido à impossibilidade de explicitar ϕ (latitude geodésica) na expressão de ψ (latitude isométrica) (1). O problema, naturalmente comporta várias alternativas de solução. O artigo a seguir descreve como a questão foi resolvida, atendendo as especificações de precisão e tempo de resposta estabelecidos, empregando-se o método de Newton - Raphson para determinação das raízes reais de uma equação.

Cabe observar que essa solução foi concebida inicialmente há pouco menos de dez anos, ao se tratar da questão da digitalização das Folhas de Bordo (FB) no sistema de Cartografia Apoiada por Computador (CAC) da DHN. No entanto, dificuldades adicionais surgidas devido ao receio de ocorrência de deformações no suporte (papel ou plástico) que contem o mapa ou carta a ser digitalizado fizeram com que essa solução fosse abandonada em favor de uma conversão

de coordenadas via transformação geométrica (transformação afim geral), aproveitando-se a existência, no sistema convencional empregado pela DHN, de pontos de controle situados nas proximidades dos cantos do mapa a ser digitalizado. Esses pontos de controle fornecem o conjunto de pontos comuns aos dois espaços envolvidos no problema (sistema de coordenadas da mesa de digitalização e sistema de coordenadas geodésicas) com um grau de liberdade que permite "absorver" o "trabalho" do plástico ou papel. É verdade que se poderia tentar insistir na solução pelo método de Newton - Raphson, usando os pontos de controle e realizando um ajustamento pelo método dos mínimos quadrados (MMQ); para as circunstâncias descritas, entretanto, o encaminhamento da questão via transformação geométrica pareceu bem mais simples, além de não impactar de forma tão significativa o tempo de processamento. O surgimento de circunstâncias distintas das citadas, ligadas ao esquema de cartas eletrônicas, veio resgatar a solução via Newton - Raphson de um merecido esquecimento.

A PROJEÇÃO DE MERCATOR

No sistema cilíndrico de Mercator, caso tangente, são as seguintes as condições iniciais (ver figura 1):

- as transformadas dos meridianos são obtidas pelas projeções desses meridianos sobre o cilindro tangente à superfície de referência, no Equador. Dessa forma as transformadas dos meridianos serão retas perpendiculares ao Equador e igualmente espaçadas;
- na superfície de referência os paralelos são circunferências paralelas ao Equador. Dessa forma, as transformadas dos paralelos serão representadas como retas paralelas ao Equador e com o mesmo comprimento que este;
- o centro da representação é tomado como sendo a interseção do Equador com o meridiano central. A transeção do Equador contem

o eixo X e a transformada do meridiano central contém o eixo Y.

O desenvolvimento, no plano, do cilindro tangente ao Equador é mostrado na figura 2.

A partir das condições iniciais estabelecidas percebe-se que:

- X é uma função linear da longitude:
 $X = C1 \cdot \lambda + C2$;
- Y é função apenas da latitude: $Y = f(\varphi)$.

A projeção de Mercator é uma projeção conforme. Conformidade significa preservação de ângulos, o que será obtido se o fator de escala depender da orientação de um arco elementar. Analiticamente, a condição de conformidade pode ser expressa como a seguir (2):

$$m^2 = \frac{E}{e} = \frac{F}{f} = \frac{G}{g}$$

sendo m = fator de escala

e, f, g = quantidades fundamentais de Gauss relativas à superfície de referência;

E, F, G = quantidades fundamentais de Gauss relativas à superfície de representação.

À vista das condições iniciais estabelecidas e considerando que, para o caso presente, a superfície de referência é um elipsóide, tem-se:

$$e = M^2$$

$$f = F = 0$$

$$g = N^2 \cos^2 \varphi$$

$$E = \left(\frac{dY}{d\varphi}\right)^2 \quad (3)$$

$$F = \left(\frac{dX}{d\lambda}\right)^2 \quad (3)$$

sendo: M = pequena normal

N = grande normal

Substituindo, na condição analítica de conformidade, as quantidades fundamentais de Gauss por suas expressões, vem:

$$\frac{\left(\frac{dY}{d\varphi}\right)^2}{M^2} = \frac{C1^2}{N^2 \cos^2 \varphi}$$

Extraindo as raízes e separando as variáveis ...

$$dY = C1 \frac{M}{N \cos \varphi} d\varphi$$

Ocorre que $\frac{M}{N \cos \varphi} = d\psi$ (latitude isométrica);

assim, substituindo $d\psi$ por seu valor e integrando a equação diferencial, vem ...

$$Y = C1 \cdot \ln \left[\left(\operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{1}{2} \cdot \varphi \right) \right) \cdot \left(\frac{1 - e \cdot \operatorname{sen} \varphi}{1 + e \cdot \operatorname{sen} \varphi} \right)^{e/2} \right] + C3$$

na expressão anterior e é a excentricidade do elipsóide utilizado.

A determinação das constantes de integração, para o caso comum, com o cilindro tangente ao Equador, fornece (2):

- $C1 = a$, sendo a o semi - eixo maior do elipsóide empregado;
- $C2 = - a \cdot \lambda_0$, sendo λ_0 a longitude do meridiano de referência. Se esse meridiano for o de Greenwich, como ocorre normalmente, $C2 = 0$;
- $C3 = 0$.

Quando se convencionou que a superfície de projeção é um cilindro secante - como ocorre na DHN -, com dois paralelos - padrão, tem-se:

- $C1 = N \operatorname{m} \cos \varphi \operatorname{m}$, sendo $\varphi \operatorname{m}$ a latitude do paralelo padrão ou de referência: $\varphi \operatorname{m} = (\varphi 1 + \varphi 2)/2$, sendo $\varphi 1$ e $\varphi 2$ os paralelos de secância;
- $C2 = - N \operatorname{m} \cos \varphi \operatorname{m} \cdot \lambda_0$. Quando o meridiano de referência for o de Greenwich, como ocorre normalmente, $C2 = 0$.
- $C3 = 0$.

Dessa forma, para o caso em que a latitude de referência é o próprio Equador (4), as expressões que permitem a resolução do problema direto, possibilitando a construção do reticulado da carta de mercator, são:

$$X = a \cdot \lambda \quad (5)$$

$$Y = a \cdot \ln \left[\left(\operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{1}{2} \cdot \varphi \right) \right) \cdot \left(\frac{1 - e \cdot \operatorname{sen} \varphi}{1 + e \cdot \operatorname{sen} \varphi} \right)^{e/2} \right] = a \cdot \psi$$

sendo: (X, Y) = coordenadas na superfície de representação (coordenadas planas);

(φ, λ) = coordenadas na superfície de referência (coordenadas geodésicas no elipsóide);

e = excentricidade do elipsóide;

a = semi - eixo maior do elipsóide;

ψ = latitude isométrica (1)

Observar que a unidade em que estarão expressos X e Y será a mesma usada para a, desde que λ e ψ estejam expressos em radianos.

PROBLEMA INVERSO

O problema inverso, na projeção de Mercator, terá de ser resolvido por um processo iterativo, uma vez

que não existe possibilidade de colocar φ como função explícita de ψ . Os passos a seguir são:

- calcular a longitude λ :

$$\lambda = \frac{X}{a} \quad (6)$$

A expressão acima fornece λ em radianos.

- calcular a latitude isométrica:

$$\psi = \frac{Y}{a} \quad (7)$$

A expressão acima fornece ψ em radianos.

- calcular a latitude geodésica φ correspondente à latitude isométrica ψ por um processo iterativo. No caso presente empregou-se o método de Newton - Raphson (Menezes, 1981; Mirshawka, 1987).

MÉTODO DE NEWTON - RAPHSON

Seja a função não linear $f(x) = 0$; os passos a seguir para sua solução, segundo o método de Newton - Raphson, são:

- estimar um valor inicial x_0 para a solução;
- calcular aproximações sucessivas da solução de forma iterativa (x_n), segundo a fórmula das tangentes ou de Newton - Raphson:

$$x_n = x_{n-1} - \frac{f(x_{n-1})}{f'(x_{n-1})}$$

- interromper as iterações quando $|x_n - x_{n-1}| < \epsilon$, sendo ϵ a tolerância fixada. A solução para $f(x) = 0$ será $x = x_n$ e a incerteza estará no entorno de $\pm \epsilon$.

Aplicando o método ao caso presente, considerando que

$$\psi = \ln \left[\operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{1}{2} \cdot \varphi \right) + \frac{1}{2} \cdot e \cdot \ln \frac{1 - e \cdot \operatorname{sen} \varphi}{1 + e \cdot \operatorname{sen} \varphi} \right]$$

e que a função não linear cuja solução é procurada é $f(\varphi) = 0$, i.é.,

$$f(\varphi) = \frac{1}{2} [\ln(1 + \operatorname{sen} \varphi) - \ln(1 - \operatorname{sen} \varphi) + e \cdot \ln(1 - e \cdot \operatorname{sen} \varphi) - e \cdot \ln(1 + e \cdot \operatorname{sen} \varphi)] - \psi = 0$$

segue-se que:

- a estimativa inicial da solução pode ser obtida admitindo-se a Terra esférica e, como consequência, $e = 0$. Nesse caso,

$$\psi = \ln \left[\operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi_0}{2} \right) \right]$$

donde...

$$\varphi_0 = 2 \operatorname{tg}^{-1} (e^\psi) - \frac{\pi}{2}$$

Observar que, na expressão acima, e é a base dos logaritmos naturais ($e = 2,718281828$).

- as soluções subseqüentes são obtidas empregando-se a expressão

$$\varphi_n = \varphi_{n-1} - \frac{f(\varphi_{n-1})}{f'(\varphi_{n-1})}$$

sendo

$$f(\varphi_{n-1}) = \frac{1}{2} [\ln(1 + \operatorname{sen} \varphi_{n-1}) - \ln(1 - \operatorname{sen} \varphi_{n-1}) + e \cdot \ln(1 - e \cdot \operatorname{sen} \varphi_{n-1}) - e \cdot \ln(1 + e \cdot \operatorname{sen} \varphi_{n-1})] - \psi = 0$$

$$f'(\varphi_{n-1}) = \frac{(1 - e^2)}{(1 - e^2 \operatorname{sen}^2 \varphi_{n-1}) \cdot \operatorname{cosec} \varphi_{n-1}}$$

- a convergência será obtida quando $|\Delta \varphi| \leq 10^{-6}$ (i.é., ao centésimo de segundos, com φ expresso na forma GG.MMSS notação da calculadora HP - 41CV).

PROGRAMAS DE PROCESSAMENTO

Em anexo são apresentados programas de processamento para a calculadora HP - 41CV para resolução do problema direto (programa MERPD) e inverso (programa MERPI) da projeção de Mercator. Os programas utilizam o elipsóide de Hayford, de uso corrente na DHN, como superfície de referência ($a = 6.378.388,0$ m; $e = 0,081991890$); no entanto, caso seja de interesse do utilizador alterar os valores dos parâmetros definidores do elipsóides, não existem dificuldades maiores para fazê-lo. Os programas empregam as expressões e a lógica apresentadas neste artigo, devendo ser observado que as expressões correspondem ao caso do cilindro tangente.

Programa MERPD:

- resolve o problema direto da projeção da Mercator, caso cilindro tangente, utilizando o elipsóide de Hayford;
- o programa solicita os valores da latitude (LAT?) e longitude (LON?), os quais devem ser fornecidos na forma GG.MMSSdd; imediatamente antes de cada solicitação de dados o programa alerta o utilizador, por meio de um sinal sonoro;
- o programa exhibe no visor os valores de X e Y, em metros, ao milímetro;
- após uma conversão $(\varphi, \lambda) \rightarrow (X, Y)$ o programa volta a solicitar novos valores para conversão.

Programa MERPI:

- resolve o problema inverso da projeção de Mercator, caso do cilindro tangente, utilizando o elipsóide de Hayford;
- o programa solicita os valores de X (X?) e Y (Y?), os quais devem ser fornecidos em metros, com a precisão disponível; imediatamente antes de cada solicitação de dados o programa alerta o utilizador, por meio de um sinal sonoro;
- o programa exibe no visor o valor da longitude (LON=GG.MMSSdd);
- o programa exibe no visor o valor inicial; da latitude (LAT₀ = GG.MMSSdd);
- o programa exibe no visor o número da iteração (NR ITER=1 ou 2 ou 3). Observar que não-se espera ter de iterar mais de três vezes;
- o programa calcula e exibe no visor o valor da latitude correspondente a cada iteração (LAT=GG.MMSSdd);
- quando ocorre convergência, i.é., quando $|\Delta\varphi| = |\varphi_n - \varphi_{n-1}| < 0,0000001$, admite-se obtido o valor final da latitude, o qual é exibido no visor (LAT_f=GG.MMSSdd); não sendo o caso o programa volta a iterar;
- após uma conversão (X,Y) → (φ,λ) o programa volta a solicitar novos valores para conversão.

DADOS DE TESTE

Os valores apresentados a seguir foram obtidos com os programas MERPD e MERPI. Observar que conferem com os valores calculados mediante o uso do formulário DHN - 5102 (em anexo), com um detalhe: aqui se trabalhou com o cilindro tangente no Equador. No Equador, portanto, a deformação é nula; dessa forma, ao usar o formulário DHN - 5102, considerou-se o valor de u (unidade da carta) sobre o Equador. A DHN, normalmente, emprega a opção cilindro secante e no cálculo do reticulado usa um valor da unidade da

carta relativo à latitude média entre os dois paralelos de secância, devido à questão da superposição entre cartas náuticas consecutivas. A resolução das equações diferenciais fornece a mesma solução, mas os valores das constantes de integração são diferentes nos dois casos, conforme se viu, já que as condições iniciais são diferentes.

LAT	Y (m)	LONG	X (m)
0°	0,0	0°	0,0
5°	553.589,906	5°	556.619,358
10°	1.111.487,506	10°	1.113.238,716
15°	1.678.166,840	15°	1.669.858,074
20°	2.258.450,780	20°	2.226.477,431
25°	2.857.728,749	-	-
30°	3.482.235,799	-	-

OBSERVAÇÕES

- (1) Ou latitude crescida.
- (2) Para detalhes complementares deve ser consultada a bibliografia relacionada ao final do artigo.
- (3) A expressão é obtida por meio da matriz de transformação que liga a superfície de referência à superfície de representação.
- (4) Essa situação pode ser vista como um caso limite do cilindro secante, sendo $Nm = a$ e $\cos\varphi_m = 1$. O estabelecimento das expressões que resolvem o problema direto, para o cilindro secante, é inteiramente similar à mostrada no texto principal, i.é.,
$$X = Nm \cdot \cos\varphi_m \cdot \lambda$$
$$Y = Nm \cdot \cos\varphi_m \cdot \ln \left[\left(\operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{1}{2} \cdot \varphi \right) \right) \left(\frac{1 - e \cdot \operatorname{sen}\varphi}{1 + e \cdot \operatorname{sen}\varphi} \right) \right]$$
$$= Nm \cos \varphi_m \cdot \psi$$
- (5) $X = a \cdot (\lambda - \lambda_0)$, para o caso em que o meridiano de referência não for o de Greenwich.

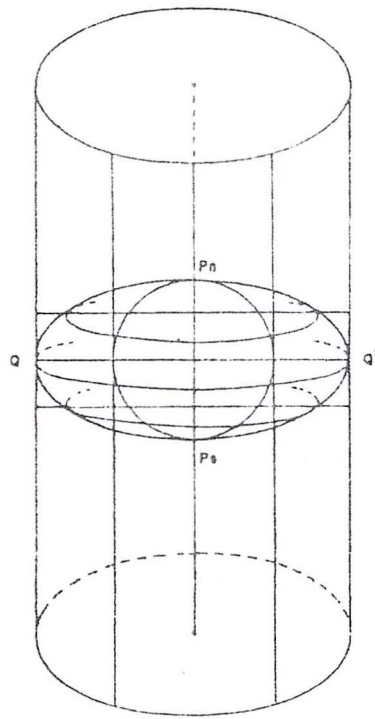


Figura 1

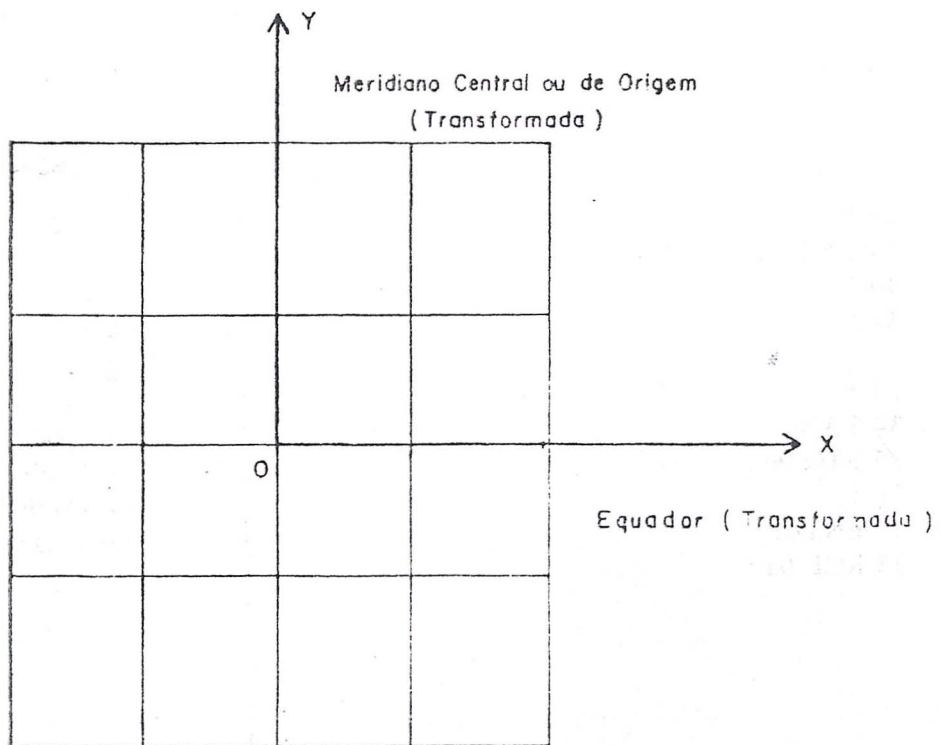


Figura 2

PROGRAMA MERPD

<p>01 LBL "MERPD" 02 FIX 9 03 6378388 04 STO 00 05 8199189 E-8 06 STO 01 07 STO 02 08 BEEP 09 "LAT ?" 10 PROMPT 11 HR 12 STO 02 13 BEEP 14 "LON ?" 15 PROMPT 16 HR 17 STO 03 18 D-R 19 ENTER 20 RCL 00 21 * 22 FIX 3 23 "X =" 24 ARCL X 25 AVIEW 26 STOP 27 FIX 9 28 RCL 02 29 ENTER 30 2 31 / 32 45 33 + 34 TAN 35 STO 04 36 1 37 ENTER 38 RCL 01</p>	<p>39 ENTER 40 RCL 02 41 SIN 42 * 43 - 44 STO 05 45 1 46 ENTER 47 RCL 01 48 ENTER 49 RCL 02 50 SIN 51 * 52 + 53 ST / 05 54 RCL 01 55 ENTER 56 2 57 / 58 STO 06 59 RCL 05 60 ENTER 61 RCL 06 62 Y X 63 ENTER 64 RCL 04 65 * 66 LN 67 ENTER 68 RCL 00 69 * 70 FIX 3 71 "Y =" 72 ARCL X 73 AVIEW 74 STOP 75 GTO 02</p>
-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

PROGRAMA MERPI

01 LBL "MERPI"
 02 FIX 9
 03 6378388
 04 STO 11
 05 8199189 E-8
 06 STO 01
 07 LBL 01
 08 BEEP
 09 "X ?"
 10 PROMPT
 11 STO 02
 12 BEEP
 13 "Y ?"
 14 PROMPT
 15 STO 03
 16 RCL 02
 17 ENTER
 18 RCL 11
 19 /
 20 R-D
 21 HMS
 22 FIX 6
 23 "LON ="
 24 ARCL X
 25 AVIEW
 26 STOP
 27 FIX 9
 28 RCL 03
 29 ENTER
 30 RCL 11
 31 /
 32 STO 04
 33 0
 34 STO 05
 35 RCL 04
 36 ENTER
 37 E X
 38 ATAN
 39 2
 40 *
 41 90
 42 -
 43 STO 06
 44 HMS
 45 FIX 5
 46 "LATO ="
 47 ARCL X

48 AVIEW
 49 STOP
 50 LBL 03
 51 FIX 9
 52 1
 53 ST + 05
 54 RCL 05
 55 FIX 0
 56 "NR ITER"
 57 ARCL X
 58 AVIEW
 59 STOP
 60 FIX 9
 61 RCL 06
 62 SIN
 63 STO 07
 64 ENTER
 65 RCL 01
 66 *
 67 STO 08
 68 1
 69 ENTER
 70 RCL 07
 71 +
 72 LN
 73 STO 09
 74 1
 75 ENTER
 76 RCL 07
 77 -
 78 LN
 79 ST - 09
 80 1
 81 ENTER
 82 RCL 08
 83 -
 84 LN
 85 ENTER
 86 RCL 01
 87 *
 88 ST + 09
 89 1
 90 ENTER
 91 RCL 08
 92 +
 93 LN
 94 ENTER

95 RCL 01
96 *
97 ST - 09
98 RCL 09
99 ENTER
100 2
101 /
102 RCL 04
103 -
104 STO 09
105 1
106 ENTER
107 RCL 01
108 X 2
109 -
110 STO 00
111 1
112 ENTER
113 RCL 01
114 X 2
115 ENTER
116 RCL 07
117 X 2
118 *
119 -
120 ENTER
121 RCL 06
122 COS
123 *
124 ST/ 00

125 RCL 00
126 ST/ 09
127 RCL 09
128 CHS
129 R-D
130 ENTER
131 RCL 06
132 +
133 STO 06
134 HMS
135 FIX 5
136 ~LAT =
137 ARCL X
138 AVIEW
139 STOP
140 FIX 9
141 1E-7
142 ENTER
143 RCL 09
144 ABS
145 X>Y?
146 GTO 03
147 RCL 06
148 HMS
149 FIX 6
150 ~LATF =
151 ARCL X
152 AVIEW
153 STOP
154 GTO 01



CÁLCULO DA PROJEÇÃO DE MERCATOR

No. _____ Título _____
 $\varphi_1 = 0^\circ$ $\varphi_m = 0^\circ$ $\varphi_n = 1:4$ $\lambda_1 = 0^\circ$ $D_{g.w} =$ _____ mm
 $\varphi_2 = 30^\circ S$ $1^\circ p(\varphi_m) = 4.855,39783$ m $u = 4.855,39783$ mm $\lambda_2 = 20^\circ W$ $D_{p.g} =$ _____ mm
 $\Delta \varphi = 1800'$ $\Delta \lambda = 1200'$ Diagonal = _____ mm

Latitudes	Latitudes crescidas	Diferenças	Distâncias a partir do paralelo N	Diferenças	Longitudes	Diferenças	Distâncias a partir do meridiano E	Diferenças
0°	0 0	298,36723	553,589,911	300'	0°	300'	556,619,349	
5°	298,36723	599,05616	1.144,487,459	600'	5°	600'	1.143,238,716	
10°	599,05616	904,47816	1.678,166,815	900'	10°	900'	1.669,858,047	
15°	904,47816	1.217,23260	2.258,450,725	1.200'	15°	1.200'	2.226,477,396	
20°	1.217,23260	1.540,22424	2.857,728,743		20°			
25°	1.540,22424	1.876,81352	3.482,235,732					
30°	1.876,81352							

Calculado por *esteban* em _____
 Verificado por _____ em _____
 Traçado por _____ em _____
 Verificado por _____ em _____

DHN - 6102

BIBLIOGRAFIA

- BAKKER, Múcio Piragibe Ribeiro. A Projeção Mercator. Niterói, Diretoria de Hidrografia e Navegação, 1975. 125p.
- BRASIL. Diretoria de Hidrografia e Navegação. Tábua de Latitudes Crescidas e Comprimento de Arcos de Paralelos e Meridianos (Elipsóide Internacional). Sem Data.
- GEMAEL, Camil. Sistemas de Projeção. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1976. 127p.
- MENEZES, Wanda Cristina. Cálculo Numérico: Notas de Aula. Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1981. 133p.
- NIRSHAWKA, Victor. Usando a HP - 41CV na Engenharia. São Paulo, Livraria Nobel, 1986. 130p.
- ROSIER, François Albert. Sistemas de Projeção (manuscrito). Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1981. NC.
- TUCCI, Wilson José (e outros). Busca de Raízes na HP - 41 (Método de Newton). Revista Microhobby no. 13: 22-23, 1984.

GRUPO DE TRABALHO PARA O MONITORAMENTO DO NÍVEL DO MAR .

Por: Marco Antonio de Carvalho Oliveira

Após a 6ª reunião do Grupo de Trabalho para o Programa Brasileiro de Monitoramento do Nível do Mar , realizada em 27 de março do corrente ano, sob o patrocínio da Sociedade Brasileira de Cartografia, pareceu-me oportuno a divulgação de algo mais do que um simples resumo informativo dos principais assuntos discutidos. Percebi a grande distância entre as atividades do grupo de trabalho, dentro do fórum da SBC, e o restante da comunidade científica, o que em parte entendo pela especificidade do tema e a falta de informação sobre o assunto.

Ultimamente é fato bastante comum a apresentação, pela mídia escrita e falada, de matérias tratando da elevação global do nível médio do mar, provocada pelo desequilíbrio do ciclo sazonal de expansão / retração das calotas polares. Tal desequilíbrio faz parte de um fenômeno climático natural e é responsável pela ocorrência de uma alternância de períodos glaciais e interglaciais ao longo da história geológica da Terra. A causa desse fenômeno reside em uma seqüência periódica de alterações no comportamento da temperatura média global , que ora mantém uma tendência a aumentar, ora a diminuir, e cuja origem ainda não foi totalmente compreendida.

Em virtude da atmosfera terrestre se caracterizar por uma mistura de gases que permitem a passagem da radiação solar e

absorvem boa parte da radiação infravermelha térmica emitida por sua superfície aquecida, a temperatura média da superfície da Terra, que deveria ser de 18º C abaixo de zero, se situa em torno de 15º C acima de zero. Esse fenômeno é conhecido como "Efeito Estufa" e foi básico para o aparecimento e preservação da vida na Terra. Algumas reportagens no entanto, acabam por nos induzir à idéia de que esse fenômeno é resultado direto da poluição atmosférica . Na realidade, o acúmulo de CO₂ na atmosfera, (oriundo principalmente da queima de combustíveis fósseis) está provocando um lento e gradual incremento do "Efeito Estufa", que corresponde a um aumento da temperatura média da superfície. Seu efeito principal traduz-se por uma gradual retração relativa das grandes geleiras polares e um correspondente aumento da quantidade de água liberada para o oceano, que tem seu nível elevado. Um exemplo dessa visão equivocada foi recentemente exibido no Jornal Nacional, através de uma matéria sobre uma ilha do Pacífico que está sendo invadida pelo mar. Foram exibidas imagens da população tentando conter o avanço do mar com sacos de areia, troncos de coqueiros e pedras, enquanto o locutor explicava que o fenômeno era resultado do "Efeito Estufa" . Outros veículos da mídia têm, freqüentemente, apresentado matérias sobre a invasão do mar em vários pontos do mundo e

do litoral brasileiro, inclusive com comentários e explicações de profissionais da área. Obviamente, a mídia cumpre o seu papel de divulgar informações, prestar esclarecimentos e alertar a população sobre esse tipo de problema. Todavia, em muitas oportunidades, as reportagens ficam restritas aos impactos diretos do fenômeno sobre as populações litorâneas, o que é bem compreensível em termos de mercado, já que essas imagens impressionam mais e vendem muito melhor. Dificilmente é mostrado como são conduzidos os estudos sobre a tão comentada elevação dos oceanos ou se divulga a importância da necessidade de obtenção de observações sistemáticas e contínuas do nível do mar através de estações maregráficas, como uma condição fundamental aos estudos desse e de outros fenômenos. Sómente através da análise desses dados é que se pode obter uma previsão da taxa de elevação de seu nível, permitindo a tomada de decisão, por parte das autoridades competentes, no sentido de salvaguardar as populações do litoral e até mesmo os próprios ambientes litorâneos.

Nos países desenvolvidos, a preocupação com o monitoramento do comportamento do nível do mar é antiga. Foi a partir de observações maregráficas com séries de dados que se reportavam até o século passado, coletadas nos Estados Unidos e em alguns países da Europa, como a Grã-Bretanha e os Países Baixos, que foram construídas as primeiras curvas de

comportamento do nível médio do mar e definidas suas tendências, demonstrando uma propensão a sua elevação.

Dentro dessa visão foram criadas instituições internacionais e nacionais, com o objetivo básico de gerenciar e padronizar a obtenção e arquivamento de dados de maré, de forma a permitir e incentivar o desenvolvimento de pesquisas sobre o nível do mar e outros fenômenos ambientais correlatos. Uma das mais antigas instituições, é o "Permanent Service of Mean Sea Level" (PSMSL), com sede na Inglaterra, que é, oficialmente, o centro mundial de dados de nível médio do mar. Mais recentemente, em 1985, foi implementado pela UNESCO, através da Comissão Oceanográfica Intergovernamental (COI.), um programa mundial de levantamento de dados de nível médio, denominado "Global Sea Level Observing System" (GLOSS.), constituído por uma rede mundial de estações maregráficas padronizadas e tendo o PSMSL como banco de dados.

Em realidade, o dado de nível médio do mar constitui-se em um somatório de diversos fenômenos, alguns relacionados entre si e outros completamente isolados; que ocorrem dentro de períodos de tempo que variam de poucas horas até milhares de anos. Nele materializam-se contribuições de processos meteorológicos, climáticos, oceanográficos e mesmo geológicos; abrangendo tanto escalas de áreas tão pequenas como uma baía, quanto escalas de dimensões

globais. Em virtude disso, um dos pontos focais dos estudos das séries temporais de observações maregráficas, é o desenvolvimento de ferramentas metodológicas que permitam explicitar os vários fenômenos nelas contidos.

O objetivo deste artigo é divulgar para a comunidade oceanográfica nacional, não as sérias conseqüências do "Efeito Estufa" sobre as regiões litorâneas, pois essas já tem seu espaço garantido pela mídia, mas sim a importância, as dificuldades e os esforços necessários à implantação de uma rede de estações maregráficas ao longo de toda a costa brasileira, conectadas a rede geodésica do IBGE, permitindo assim o desenvolvimento de estudos sobre as oscilações do nível médio no Brasil e, além disso, chamar a atenção para a perspectiva da abertura de um enorme campo de trabalho e pesquisa a partir dos dados obtidos dessa rede.

Em termos de aplicação, os resultados dos estudos sobre o nível médio do mar podem apresentar importantes contribuições para um maior conhecimento de fenômenos ambientais e o desenvolvimento de soluções para diversos problemas práticos, tais como: cálculo de um datum altimétrico padrão, que redefinirá o elipsóide base da rede geodésica nacional e a avaliação das diferenças efetivas entre o geóide e o elipsóide na área do Brasil. Outro aspecto a ser abordado, dentro de um futuro talvez não muito distante, devido à intensa utilização de satélites no levantamento de dados ambientais e em

geodésia, será a necessidade de utilização de dados de maré de alta precisão para a calibração dos altímetros dos satélites; na área da oceanografia, possibilitará um grande desenvolvimento dos estudos da maré, com a execução de comparações absolutas entre estações e permitindo um exato conhecimento da propagação do fenômeno ao longo do litoral; partindo da filtragem da maré astronômica de longas séries temporais de observações, seria possível o desenvolvimento de trabalhos sobre a maré meteorológica, avaliando seus efeitos em vários pontos da costa. Para os geólogos, como as observações de maré são relativas, representando tanto as oscilações eustáticas quanto isostáticas, esses dados podem ser importante fonte de informações sobre movimentos verticais da crosta terrestre; na geologia sedimentar, a determinação e o monitoramento do nível médio do mar em vários pontos da costa, conectados a rede geodésica nacional, poderá permitir uma correlação absoluta entre níveis médios pretéritos, obtidos através de métodos geológicos em vários pontos do litoral, atualmente posicionados de forma relativa e apresentando discordâncias quando comparados entre si. Enfim, as aplicações dos dados maregráficos oriundos de uma rede brasileira de monitoramento do nível do mar, abrangem incontáveis temas dentro de um largo espectro de ciências ambientais e exatas, o que por si só justifica a iniciativa da SBC e do grupo

de trabalho, no sentido de mobilizar a comunidade científica e instituições públicas e privadas para a sua importância.

Uma vez caracterizada a importância da obtenção do dado de maré, ao longo dos 8 mil km do litoral brasileiro, nos deparamos com o problema crucial dos recursos necessários à implementação e manutenção de uma rede de tal porte. Mesmo nos países desenvolvidos o custo desse projeto seria considerado alto, imaginem para o Brasil com reduzida disponibilidade de verbas.

Um dos principais objetivos do grupo de trabalho para o monitoramento do nível do mar é a otimização do trabalho das instituições envolvidas na implantação da rede de estações, através de sua integração, evitando-se o desperdício dos poucos recursos disponíveis, como por exemplo, o caso de superposição de esforços de duas instituições, quando essas mantêm, em uma mesma área, duas estações maregráficas diferentes.

Nos tempos em que a privatização é apresentada como a salvação da economia nacional, a participação da iniciativa privada será bem-vinda, até por que, várias dessas organizações têm interesses diretos e indiretos nos resultados dos estudos sobre o nível médio do mar. Como um exemplo de porte, poderíamos citar os vários terminais privados brasileiros, alguns implantados em áreas críticas, tendo seu acesso e operações portuárias restringidos por

processos ambientais costeiros de alta energia, aumentando os riscos de sua utilização e com isso onerando os armadores pelo aumento do prêmio de suas seguradoras e conseqüentemente do frete da carga. Um maior conhecimento desses fenômenos, resultaria em um refinamento dos processos de previsão, permitindo à administração do terminal um aumento de seu horizonte de planejamento e a redução dos custos operacionais diretos e indiretos.

Finalizando, vejo a perspectiva de desenvolvimento e até mesmo de sobrevivência do Grupo de Trabalho para o Monitoramento do Nível Médio do Mar, atrelada à sua capacidade de mobilização de governos, comunidade científica, e instituições públicas e privadas, através da divulgação da importância e abrangência desse trabalho, e também das dificuldades a serem superadas para sua efetiva implantação. Dentro dessa visão, esse processo poderá ser iniciado através da apresentação e disseminação de resultados concretos, obtidos do processamento de dados antigos e recentes, das estações pertencentes ao projeto piloto no litoral do Rio de Janeiro. #

RESUMOS DE TESES E DISSERTAÇÕES

- Origem:** Universidade Federal do Paraná (UFPr)
Título: ANÁLISES MORFOMÉTRICAS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS INTEGRADAS A UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS
Autor: Sílvio Luís Rafaeli Neto
Ano: 1994
Resumo: Este trabalho objetivou investigar as ferramentas operacionais de um SIG, visando determinar digitalmente uma série de parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas, construir um modelo relacional consistente para a base de dados não espaciais e implementar manipulações integradas às duas bases.
- Origem:** Universidade Federal do Paraná (UFPr)
Título: ANÁLISE DE FOURIER EM DETERMINAÇÕES COM O TEODOLITO GIROSCÓPIO
Autora: Sílvia Helena Soares Schwab
Ano: 1994
Resumo: O presente trabalho visa sistematizar os procedimentos e princípios ligados à determinação de azimutes giroscópios nas aplicações geodésicas, com ênfase à aplicação do teodolito-giroscópio WILD GAK1. Os princípios físicos da dinâmica de rotação são apresentados no capítulo I. Os princípios da Análise de Fourier são trabalhados no capítulo II. No capítulo III descreve-se o giro teodolito WILD GAK1 e mostra-se os métodos tradicionais de leituras e cálculo de resultados. Um novo método para determinação do azimute giroscópio da direção de um ponto foi desenvolvido utilizando-se o relógio interno de um microcomputador.
- Origem:** Universidade Federal do Paraná (UFPr)
Título: UTILIZAÇÃO DE CÂMARAS DE PEQUENO FORMATO NO CADASTRO TÉCNICO URBANO
Autor: Amilton Amorim
Ano: 1993
Resumo: Este trabalho tem por objetivo apresentar uma metodologia alternativa, técnica e financeira viável, para a atualização do Cadastro Técnico Multifinalitário Urbano de municípios de pequeno e médio portes, podendo ser recomendada para a aplicação em curtos períodos de tempo. O desenvolvimento desta pesquisa teve como ferramentas básicas as fotografias aéreas convencionais e fotografias aéreas obtidas por câmara de pequeno formato.
- Origem:** Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Título: O CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO APLICADO AO PLANEJAMENTO URBANO
Autor: José Antonio Bourscheid
Ano: 1993
Resumo: A presente pesquisa discute as correlações entre áreas do conhecimento em Cartografia, Cadastro Técnico Multifinalitário e Planejamento Urbano, abordando os seus conceitos fundamentais e as opiniões de autores

consagrados quanto aos temas, somado a uma revisão de literatura em termos de Fotointerpretação e de Sensoriamento Remoto, de forma a estabelecer-se uma base para um Plano Diretor.

Origem: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Título: UM SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS PARA O TURISMO EM SANTA CATARINA
Autora: Lucilene Antunes Correia Marques de. Sá
Ano: 1993
Resumo: Os sistemas de Informações Geográficas - SIG - estão sendo utilizados em todo o mundo para estudos que relacionam informações sobre o espaço físico, tanto gráficas quanto descritivas. O turismo é uma atividade onde o homem busca locais para lazer e cultura, conhecendo costumes e colonizações diferentes dos existentes em seu país, ou região de origem. Esta pesquisa foi desenvolvida com a finalidade de identificar os locais a serem visitados, de acordo com as suas potencialidades, definidas através das seguintes variáveis: atrações, acessos e hospedagem.

Origem: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Título: ANÁLISE DO SISTEMA TRIBUTÁRIO QUANTO À PROPRIEDADE IMOBILIÁRIA A NÍVEL MUNICIPAL UTILIZANDO DADOS DO CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO
Autor: Valdir Pedro Schneider
Ano: 1993
Resumo: A presente pesquisa tem por objetivo discutir a questão do Cadastro Técnico Multifinalitário Rural e Urbano, considerando toda a área de um município, como base para a análise da Legislação Tributária quanto à Tributação Imobiliária. A área de estudos para experimentos práticos foi o município de Mallet, situado ao sul do estado do Paraná, pois dispunha do Cadastro Técnico Multifinalitário Urbano e Rural, executados simultaneamente.

Origem: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Título: ANÁLISE DA OCUPAÇÃO PREDIAL EM TERRENOS DE MARINHA UTILIZANDO TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO
Autor: Cláudio Cesar Zimmermann
Ano: 1993
Resumo: A presente pesquisa discutiu a questão da ocupação irregular de Terrenos de Marinha, as dificuldades para definir a Linha da Preamar Média do ano de 1831, o uso de Técnicas de Sensoriamento Remoto para o delineamento do limite destes terrenos, o seu monitoramento e a importância do Cadastro Técnico Multifinalitário como base para a análise do problema. A área de estudo foi o município de Florianópolis, SC, e a área de teste foi a praia dos Ingleses, localizada no mesmo. Utilizou-se como exemplos algumas praias do litoral brasileiro, que possuem material cartográfico com o respectivo delineamento dos Terrenos de Marinha, uma vez que são pouquíssimas praias no Brasil que possuem este trabalho.

Origem: Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)
Título: ANÁLISE DA ORGANIZAÇÃO ESPACIAL DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO ATRAVÉS DO CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO RURAL (um estudo de caso: município de Porto Vitória - PR)
Autora: Rosemy da Silva Nascimento
Ano: 1993
Resumo: A presente dissertação visa mostrar como se encontra a organização espacial do uso do solo a nível de imóvel rural no município de porto Vitória, PR, utilizando como base de dados o Cadastro Técnico Multifinalitário Rural - CTMR. O CTMR, como ciência e técnica, gera vários mapas temáticos. No município de Porto Vitória, o cadastro proporcionou a elaboração dos seguintes mapas temáticos: estrutura fundiária, uso do solo, classes de declividade e de capacidade de uso.