

POSSIBILIDADES DE INTEGRAÇÃO DE DADOS GRAVIMÉTRICOS À REDE ALTIMÉTRICA DO SGB PARA CÁLCULO DE ALTITUDES SIRGAS NO BRASIL

Roberto Teixeira Luz^{1,2,3}
Sílvia Rogério Correia de Freitas^{1,3}
Regiane Dalazoana¹
Franciely Abati Miranda¹
Alessandra Svonka Palmeiro¹
Sílvia Corrêa Salustiano⁴

¹ Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR, robtuluz @ ufpr.br ,
sfreitas @ ufpr.br , regiane @ ufpr.br

² Coordenação de Geodésia, IBGE

³ Grupo de Trabalho sobre Datum Vertical, Projeto SIRGAS

⁴ Curso de Engenharia Cartográfica, UFPR

RESUMO

Discutem-se as conseqüências da não inclusão de informações de gravidade no cálculo das altitudes brasileiras, dentre as quais destaca-se a dificuldade de integração dos resultados de levantamentos GPS ao sistema de altitudes convencional, isto é, aos *Data* Verticais de Imbituba e Santana. Apresentam-se as características principais desse sistema, justificando-se a citada não inclusão de gravidade pela histórica falta de uma densificação gravimétrica vinculada sistematicamente ao estabelecimento da Rede Altimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro. São revistos os pontos mais importantes das atividades do Projeto SIRGAS referentes à conexão dos sistemas altimétricos sul-americanos, enfatizando-se algumas questões conceituais ligadas às altitudes definidas no campo da gravidade — notadamente as recomendações de cálculo dos números geopotenciais das estações altimétricas e de adoção de altitudes normais para definição do Datum Vertical SIRGAS. Relacionam-se alguns itens de pesquisa prévia importantes, tais como a determinação dos limites de aplicação da interpolação de valores de gravidade para as Referências de Nível não ocupadas pelos levantamentos gravimétricos, recomendada pelo Grupo de Trabalho sobre Datum Vertical do Projeto SIRGAS. Finalmente, são identificadas e analisadas as possibilidades de aplicação de tais conceitos ao Sistema Geodésico Brasileiro, definindo-se uma região de estudo em que são ótimas as condições de integração entre a rede de nivelamento do SGB, as estações de densificação gravimétrica e a rede SIRGAS.

Apresentam-se resultados iniciais do cálculo de números geopotenciais para as estações das linhas de nivelamento daquela região de estudo.

Palavras-chave: Datum Vertical SIRGAS, Sistema Geodésico Brasileiro, Números Geopotenciais

POSSIBILITIES FOR INTEGRATION OF GRAVITY DATA TO THE VERTICAL NETWORK OF SGB FOR COMPUTATION OF SIRGAS HEIGHTS IN BRAZIL

ABSTRACT

The consequences of the absence of gravity information in the processing of the Brazilian heights are discussed. It is pointed out the difficulty in integrating the GPS surveys results to the conventional Brazilian heights system, that is, those linked respectively to Imbituba and Santana Vertical Datums. The main characteristics of those systems are presented for justifying the mentioned inclusion of no gravity values by the historical lack of gravity observation linked to the establishment of the Brazilian Geodetic Vertical Network. The most important points of the activities of SIRGAS Project, regarding the connection of the South American vertical systems, are reviewed, being emphasized some conceptual subjects linked to heights defined in the gravity field — specially the recommendations concerning the computation of geopotential numbers of the vertical stations and the adoption of normal heights in the definition of SIRGAS Vertical Datum. Some important items of preliminary research are listed, such as the determination of the limits of application of gravity values interpolation for the benchmarks not occupied by gravimetric surveys. This approach was recommended by the Working Group on Vertical Datum of the SIRGAS Project. Finally, the possibilities of application of such concepts to the Brazilian Geodetic System are identified and analysed, defining a study area in which are optimal the conditions for integration between the Brazilian leveling network, the gravity densification stations and the SIRGAS network. Initial results for the computation of geopotential numbers of levelling stations of that study area are presented.

Keywords: SIRGAS Vertical Datum, Brazilian Geodetic System, Geopotential Numbers

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, as questões associadas à definição rigorosa de sistemas de altitudes vêm ganhando corpo, graças à necessidade de aproveitar, para o posicionamento vertical, as potencialidades introduzidas pelas modernas técnicas da Geodésia Espacial. Trata-se do problema de referir as altitudes geométricas (elipsoidais), obtidas através das mencionadas técnicas, aos sistemas verticais existentes, materializados por conjuntos de altitudes com características físicas (doravante denominadas simplesmente altitudes físicas) e formalmente referidas ao geóide — na prática, esta última caracterização é questionável, para a grande maioria dos sistemas de altitudes, realizados sem o concurso de informações gravimétricas (e.g., Freitas e Luz, 1995; Freitas e Blitzkow, 1999; Drewes et al., 2002b). Em muitos deles, sequer foi aplicada a “redução pseudo-ortométrica” (denominação mais adequada para a tradicional “correção ortométrica”), que trata apenas do efeito do não paralelismo das superfícies equipotenciais do campo da gravidade normal (Gemael, 2002).

Assim, a situação atual do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) não favorece a obtenção de valores precisos de altitudes físicas através das modernas técnicas espaciais. A indefinição conceitual das altitudes brasileiras contribui decisivamente para isso, assim como a baixa precisão dos modelos geopotenciais utilizados — na verdade, a precisão destes últimos é também consequência direta daquela indefinição.

É provável que praticamente todos os modelos geopotenciais globais e regionais existentes tenham utilizado as altitudes oriundas dos ajustamentos manuais da Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) do SGB, que parecem não considerar (Luz e Guimarães, 2001; Luz et al., 2002b) a redução pseudo-ortométrica. Somente em 1993 o IBGE concluiu o Ajustamento Altimétrico Global Preliminar (AAGP), em que foram corrigidos alguns problemas dos ajustamentos anteriores, como a inclusão da redução mencionada. Espera-se que os modelos recentemente divulgados (e.g., Lobianco et al., 2005) já considerem essa nova realização da RAAP, através da utilização das respectivas altitudes no cálculo das anomalias gravimétricas necessárias. Tal contexto será profundamente alterado pela utilização dos modelos geopotenciais oriundos das missões espaciais dedicadas ao campo da gravidade já em operação (CHAMP e GRACE) ou em preparação (e.g., GOCE). Tais modelos certamente já começam a produzir impacto significativo sobre as discussões em torno dos referenciais altimétricos.

Portanto, a não inclusão da gravidade no cálculo das altitudes brasileiras é a origem da citada indefinição conceitual das mesmas, e a aplicação da redução pseudo-ortométrica apenas corrige os efeitos das variações da gravidade advindas das variações de latitude. Isso tem consequências não apenas sobre a obtenção de

altitudes físicas precisas com GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*), mas também para a integração de outras técnicas espaciais (como altimetria por satélites) e para a vinculação dos *data* verticais em todo o globo (e.g., Ihde et al., 2002), dentre outros contextos científicos e tecnológicos. Variadas recomendações surgiram das autoridades geodésicas internacionais, propondo soluções para esses problemas. No contexto sul-americano, o Projeto "Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas" (SIRGAS) assumiu o papel de condutor dessas discussões. Além de apresentar as recomendações do SIRGAS rumo a um datum vertical continental rigoroso e unificado, o presente artigo discute as alternativas brasileiras para a respectiva integração gravimetria-nivelamento-GPS.

2. ALTITUDES BRASILEIRAS

A origem das altitudes atuais das Referências de Nível (RRNN) de quase todo o SGB é o Datum de Imbituba, definido pelo nível médio do mar (NMM) no Porto de Imbituba. O Datum foi materializado com o valor de altitude da RN 4-X (8,6362m) em relação à média do nível do mar no período de 1949 a 1957, como descreve Alencar (1990). A partir da RN 4-X, localizada nas imediações do marégrafo daquele porto, foram obtidas as altitudes das demais RRNN da RAAP através de nivelamento geométrico, exceto no Amapá. Neste estado, devido à impossibilidade de cruzar o Baixo Amazonas, o nivelamento foi estabelecido a partir do Datum de Santana, definido por observações de nível do mar no porto de mesmo nome, em período ainda não identificado. Descrições mais completas do estabelecimento da RAAP podem ser encontradas em Luz e Guimarães (2001) e Luz et al. (2002b).

Assim, o IBGE vem determinando, desde 1945, o que a comunidade cartográfica brasileira convencionou chamar de "altitudes ortométricas". No entanto, a definição formal de altitude ortométrica inclui informação gravimétrica, cuja aquisição apenas recentemente foi sistematizada no IBGE. Bem poucas RRNN da RAAP possuem valor de gravidade, pois apenas a partir de 1995 o IBGE vinculou a realização de levantamentos gravimétricos às novas linhas de nivelamento geométrico — a principal diretriz de implantação de suas estações gravimétricas (EEGG) é, desde o início (1991), o preenchimento dos "vazios gravimétricos" (Blitzkow et al., 2002).

Além da não inclusão da gravidade, outro fator de incompatibilidade entre as altitudes do SGB e o conceito de altitude ortométrica é a forma de estabelecimento do Datum Altimétrico. Na época da realização do Datum de Imbituba, não se considerou a diferença entre o geóide e o NMM, i.e., a topografia do nível médio (TNMM) — como, aliás, em muitos outros *data* verticais. Isso introduz sérias dificuldades para o estabelecimento de grandes redes geodésicas e integração de

redes nacionais em estruturas continentais (e.g., Hernández et al., 2002 ; Freitas et al., 2002a), já que os diferentes níveis de referência nacionais estão sujeitos a valores geralmente diversos de TNMM, introduzindo mais problemas que benefícios na conexão de sistemas geodésicos (Dalazoana et al., 2005).

No caso do Brasil, a existência dos referenciais verticais Imbituba e Santana exemplifica bem essas dificuldades. O Mapa Geoidal do Brasil, em sua versão de 1992 (MGB-92), apresenta uma grande "depressão geoidal" na região de Santana, que pode ser resultado da errônea utilização de valores de altitude, anulando a ondulação geoidal nesse ponto. Além disso, as observações maregráficas em Santana sofrem a grande influência das águas do Amazonas, que introduzem na TNMM dessa região uma componente adicional inteiramente diversa daquela encontrada em outros pontos da costa.

Nesse contexto, a Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG) será de grande valia. A RMPG vem sendo implantada desde 2001 pelo IBGE, com o objetivo de monitorar as diferenças entre o Datum Vertical do SGB e os diversos níveis de referência definidos ao longo do litoral brasileiro (Luz e Guimarães, 2003). Como o próprio nome diz, critérios geodésicos orientam a implantação e o gerenciamento da RMPG. Assim, por exemplo, a RMPG já está plenamente integrada ao SIRGAS, pois todas as suas estações maregráficas foram ocupadas durante a Campanha GPS SIRGAS 2000. Espera-se para breve que essas estações GPS integradas à RMPG comecem a ser permanentemente ocupadas com GPS, ou seja, passem a fazer parte também da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) do GPS.

Além da RMPG, o estudo dos resultados de altimetria por satélite na região da foz do Amazonas também será bastante importante para a vinculação entre Imbituba e Santana. Tais resultados mostram uma grande degradação de precisão em relação ao restante do globo. Uma das possíveis causas é a baixa precisão dos modelos globais de maré utilizados no processamento das observações dos satélites altimétricos, o que poderia ser corrigido através da elaboração e aplicação de um modelo hidrodinâmico regional.

3. DATUM VERTICAL SIRGAS

Criado em 1993 com o objetivo inicial de unificar os sistemas geodésicos planimétricos do continente sul-americano, o Projeto SIRGAS alcançou seus primeiros resultados em 1997. Nesse ano, foram divulgadas as coordenadas da Rede de Referência GPS estabelecida em 1995, com estações em quase todos os países da região (IBGE, 1997). Com base no sucesso alcançado, o Projeto redefiniu seus

objetivos, visando o problema mais complexo da definição de um Datum Vertical para a América do Sul.

Para isso, no mesmo ano foi criado o Grupo de Trabalho sobre Datum Vertical (GT-III). As primeiras recomendações do GT-III expressavam que (Drewes et al., 2002b) :

- o futuro DVSIRGAS (Datum Vertical SIRGAS) seria definido através de dois conjuntos de altitudes — geométricas e físicas —, bem como pelas respectivas taxas de variação temporal ("velocidades") ;
- o futuro DVSIRGAS seria materializado através de uma rede de estações geodésicas determinadas com GPS, nivelamento geométrico e gravimetria, baseada nas estações da Rede de Referência de 1995 e estendida com estações nas fronteiras niveláveis entre os países sul-americanos e nas suas principais estações maregráficas (Figura 1) ; e

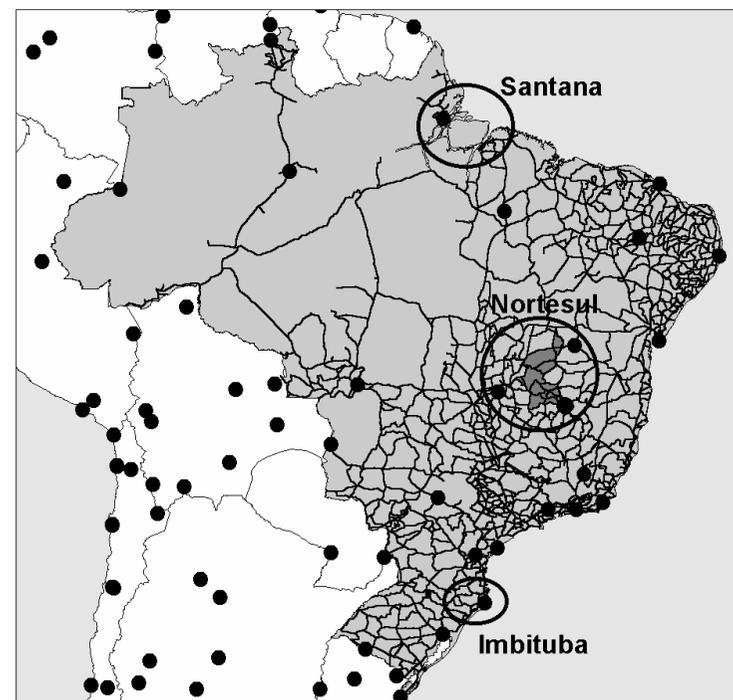


FIGURA 1 – LINHAS DE NIVELAMENTO DA RAAP E PARTE DAS ESTAÇÕES DA REDE DE REFERÊNCIA VERTICAL SIRGAS, DESTACANDO-SE A ÁREA DO DATUM DE IMBITUBA, A ÁREA DE TESTES ("NORTESUL") PARA INTEGRAÇÃO DE GRAVIDADE (VER FIG. 2) E A ÁREA DE ESTUDOS DE VINCULAÇÃO DO DATUM DE SANTANA

c) os países deveriam iniciar a organização e o levantamento dos dados necessários ao cálculo dos números geopotenciais, os quais são elementos intermediários para a obtenção das altitudes físicas — como discutido na próxima seção.

É importante destacar que a "materialização geopotencial" do DVSIRGAS, i.e., a determinação das altitudes físicas, não será feita a partir de observações maregráficas — pelo menos a princípio, de acordo com as recomendações e resoluções feitas até o presente. As estações da Rede SIRGAS nas estações maregráficas servirão apenas para vincular ao novo datum os referenciais existentes. O GT-III recomendou aos países membros do SIRGAS que as altitudes físicas SIRGAS sejam do tipo normal, isto é, obtidas através da razão entre os números geopotenciais e o valor teórico ("normal") da gravidade (ver seção 4). Nesse contexto, surge o problema da obtenção do valor do potencial do geóide, conhecido por W_0 , que constitui uma área de intensa pesquisa e discussão internacional (e.g., Bosch, 2002; Burša et al., 2002).

4. ALTITUDES FÍSICAS

A abordagem mais natural dessa questão parte da definição de altitude ortométrica : distância do geóide ao ponto, sobre a linha de prumo. Integrando-se a diferença dos geopotenciais entre duas superfícies equipotenciais separadas por uma distância infinitesimal, obtém-se (Torge, 2001, p. 82) a expressão da ALTITUDE ORTOMÉTRICA (H^{ort}) :

$$H^{ort} = \frac{C}{g_m^v} \quad (1)$$

$$C_B = W_0 - W_B = \int_0^B g \, dH \cong \sum (g_m^{obs} \Delta H^{obs}) \quad (2)$$

sendo C o NÚMERO GEOPOTENCIAL, g_m^v o valor médio da gravidade ao longo da linha de prumo entre o geóide e a superfície física, W o geopotencial (índice zero significando geopotencial do geóide), g_m^{obs} o valor médio da gravidade observada nos pontos nivelados e ΔH^{obs} o desnível entre estes pontos.

A substituição da integral pelo somatório advém da consideração de que as seções de nivelamento são suficientemente pequenas. A confirmação da distância limite para tal consideração será objeto de estudos futuros.

Já que é impossível inferir, no estágio atual do desenvolvimento científico, a distribuição de densidades no interior da crosta — e, conseqüentemente, o valor médio da gravidade (Freitas e Blitzkow, 1999) —, a obtenção exata das altitudes ortométricas ainda não é possível. O recurso a modelos simplificados da densidade litosférica leva a valores aproximados de altitude ortométrica, como as ALTITUDES DE HELMERT (H^H). Nestas, o gradiente normal ($-0,3086$ mGal/m) é "corrigido" para uma densidade crustal de $2,67$ g/cm³ (Gemael, 2002, p. 216), resultando no chamado gradiente de Poincaré-Prey ($-0,0848$ mGal/m), aplicado ao ponto médio entre a superfície física e o geóide ($H/2$):

$$H^H = \frac{C}{g^{obs} + 0,0424 H^{niv}} \quad (3)$$

Em decorrência da crescente sofisticação dos modelos de distribuição de densidades crustais, começam a surgir aproximações mais adequadas das altitudes ortométricas (e.g., Tenzer et al., 2005). Uma etapa futura dos estudos aqui apresentados diz respeito à verificação das condições de aplicação desses procedimentos ao contexto brasileiro. Além da discussão sobre a viabilidade de sua obtenção rigorosa, as altitudes ortométricas caracterizam-se por não tornar clara a condição de que as superfícies equipotenciais são superfícies de nível, isto é, com elas, diferentes pontos de uma única superfície equipotencial podem possuir valores diferentes de altitude no sentido puramente geométrico. Para melhor abordar a questão, basta lembrar do não paralelismo das equipotenciais, que resulta na interessante situação (Torge, 2001, p. 58) de que duas equipotenciais separadas por 100m no Equador mostram, nos pólos, uma separação de apenas 99,5m – i.e., uma diferença de 50cm. Isso leva a um importante questionamento: seria necessário rever a conceituação de ALTITUDE, explicitando a necessidade de obedecer à condição de nível das superfícies equipotenciais? Em outras palavras, o significado físico das altitudes não seria mais importante que sua interpretação geométrica?

Nesse aspecto, o número geopotencial tem uma grande vantagem. Segundo Torge (2001, p. 81), o número geopotencial constitui "a grandeza ideal para descrever o comportamento de massas no campo da gravidade", e, como se observa na expressão (2), define-se simplesmente como a diferença entre os geopotenciais do geóide e do ponto, que pode ser calculada como a soma dos produtos entre a gravidade média de cada seção de nivelamento e o respectivo desnível.

O grande problema para a adoção dos números geopotenciais como descritores rigorosos da posição vertical é a unidade em que são expressos (kgal.m, ou

10 m²/s²). Da necessidade de contornar esse problema surgem diferentes tipos de altitudes físicas ("altitudes científicas"), resultantes da conversão de C para unidades de comprimento, através da divisão por valores específicos de gravidade. Assim procedendo, mantém-se a importante característica de respeitar o significado intrínseco de altitude, pois as altitudes científicas refletem integralmente o paradigma de que "a água flui do ponto mais alto para o mais baixo". Em outras palavras, as altitudes científicas são aproximações mais ou menos satisfatórias que refletem a relação hidrostática vinculada à diferença de potencial da gravidade oriunda da diferença de nível entre dois pontos. Aliás, não poderia deixar de ser assim, pois trata-se apenas da aplicação de "fatores de escala" ao número geopotencial.

Além das altitudes ortométricas, outros dois importantes tipos de altitude científica, no contexto das discussões sobre o DVSIRGAS, são as altitudes dinâmicas e as altitudes normais.

As ALTITUDES DINÂMICAS (H^D) consideram valores constantes para o denominador de (1), escolhidos arbitrariamente — por exemplo, para o Brasil poderia ser escolhido a média dos valores de gravidade real na superfície física, ou o valor de gravidade normal para a latitude média do país, ou ainda um valor que minimizasse as diferenças na região do Datum de Imbituba ou as diferenças em todos os marégrafos:

$$H^D = \frac{C}{g^{arbitr}} \quad (4)$$

Torge (2001, p. 81) menciona que a mais importante desvantagem das altitudes dinâmicas são as diferenças relativamente grandes em relação às altitudes brutas oriundas do nivelamento. Esta situação será objeto da continuação dos estudos ora relatados.

Para as ALTITUDES NORMAIS (H^N), substitui-se (Freitas e Blitzkow, 1999, p. 53) o valor médio da gravidade real g_m^v em (1) pelo equivalente da gravidade normal (γ_m^v):

$$H^N = \frac{C}{\gamma_m^v} \quad (5)$$

O valor médio da gravidade normal, ao longo da linha vertical, para a latitude φ e a altitude normal H^N , é dado por :

$$\gamma_m^v = \gamma_0 \left[1 - \frac{H^N}{a} (1 + \alpha + m - 2 \alpha \sen^2 \varphi) + \left(\frac{H^N}{a} \right)^2 \right] \quad (6)$$

(op. cit., p. 57), em que γ_0 é a gravidade normal no elipsóide, dada, por exemplo, pela fórmula de Somigliana (Torge, 2001, p. 106) :

$$\gamma_0 = \gamma_a \frac{1 + k \sen^2 \varphi}{\sqrt{1 - e^2 \sen^2 \varphi}}, \quad k = \frac{b \gamma_b}{a \gamma_a} - 1 \quad (7)$$

sendo a , b , e^2 , m , α , γ_a e γ_b , parâmetros associados ao modelo de referência — p. ex., para o GRS-80, os valores são $m = 0.003\ 449\ 786\ 003\ 08$, $\alpha = 0.003\ 352\ 810\ 681\ 18$, $\gamma_a = 9.780\ 326\ 7715\ \text{m/s}^2$, $\gamma_b = 9.832\ 186\ 3685\ \text{m/s}^2$, $a = 6\ 378\ 137.0\ \text{m}$, $b = 6\ 356\ 752.3141\ \text{m}$, e $e^2 = 0.006\ 694\ 380\ 0229$ (op. cit., p. 117). Assim, a altitude normal deve ser obtida mediante um processo iterativo.

Os estudos em andamento — prévios à decisão sobre uma eventual adoção formal do DVSIRGAS no Brasil — permitirão validar, graças à extensão territorial do país e aos problemas aí envolvidos, a viabilidade da adoção prática das altitudes normais como materializadoras da componente física daquele datum. Elas têm a significativa vantagem de referirem-se à mesma superfície implícita nos modelos geopotenciais disponíveis atualmente — o quase-geóide — e estarem na base das técnicas modernas de posicionamento global.

5. INTEGRAÇÃO RRNN-EEGG-GPS

Um estudo minucioso da distribuição conjunta de estações altimétricas e gravimétricas permitiu deduzir que a maioria das linhas de nivelamento da RAAP possui determinações gravimétricas — do IBGE ou de outras instituições — mais ou menos esparsas, mas sem a ocupação direta de suas RRNN, em função, por exemplo, de sua destruição ou da necessidade de atender a outras diretrizes. Tal situação permitiria lançar mão de processos de interpolação dos valores de gravidade, com base nas informações dos levantamentos gravimétricos e nas coordenadas das RRNN, conforme recomendação do GT-III do SIRGAS.

Para iniciar os ensaios de integração de nivelamento e gravimetria à Rede de Referência SIRGAS, visando posteriores investigações sobre possíveis esquemas de interpolação de gravidade, foi definida uma área de testes (Figura 2) em que a situação é ideal — linhas de nivelamento recentes, totalmente cobertas por gravimetria padronizada (IBGE). Outro aspecto que levou a tal escolha é a existência

de três estações de monitoramento GPS contínuo, sendo duas delas pertencentes à Rede SIRGAS 2000, ligadas por aquelas linhas de nivelamento e gravimetria.

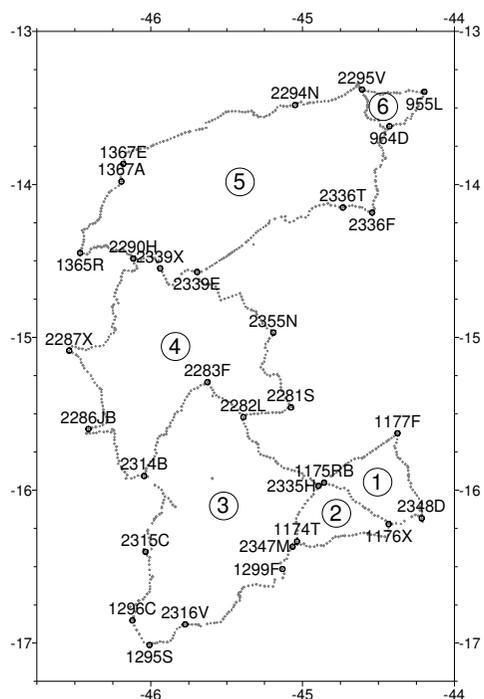


FIGURA 2 – REDE DE TESTES FORMADA POR LINHAS RECENTES DA RAAP EM QUE PRATICAMENTE TODAS AS RRNN POSSUEM VALOR OBSERVADO DE GRAVIDADE

A rede utilizada nos testes iniciais é composta por 861 RRNN, formando seis circuitos e totalizando cerca de 2300 km de duplo nivelamento. Foram calculados os diferentes tipos de redução decorrentes da integração de gravidade às linhas de nivelamento geométrico. As Figuras 3 e 4 mostram exemplos referentes ao circuito 3. Observa-se que a redução dinâmica apresenta correlação direta ou inversa com o relevo, de acordo com o valor de g^{arbitr} escolhido. Para a redução normal, existe apenas uma correlação inversa, mas a análise dos resultados referentes aos outros circuitos permitiu determinar que a redução normal também assume valores diretamente correlacionados com o relevo. No entanto, trata-se de resultados ainda preliminares, em função da necessidade de ampliar a área teste e investigar procedimentos de interpolação da gravidade, que constitui a próxima etapa do trabalho.

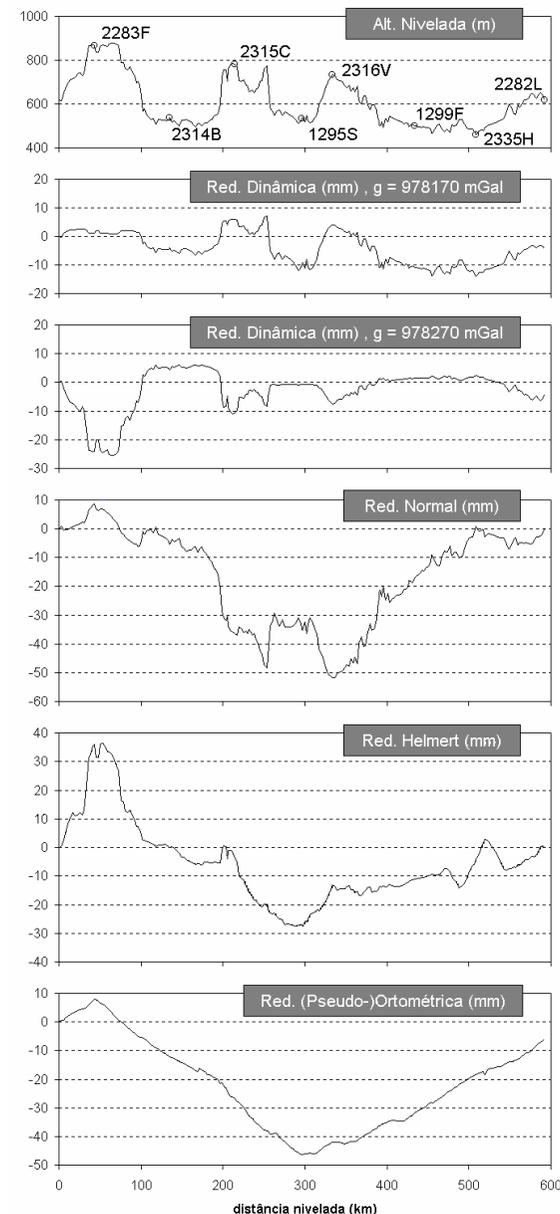


FIGURA 3 – REDUÇÕES PARA OS DESNÍVEIS OBSERVADOS NO CIRCUITO 3

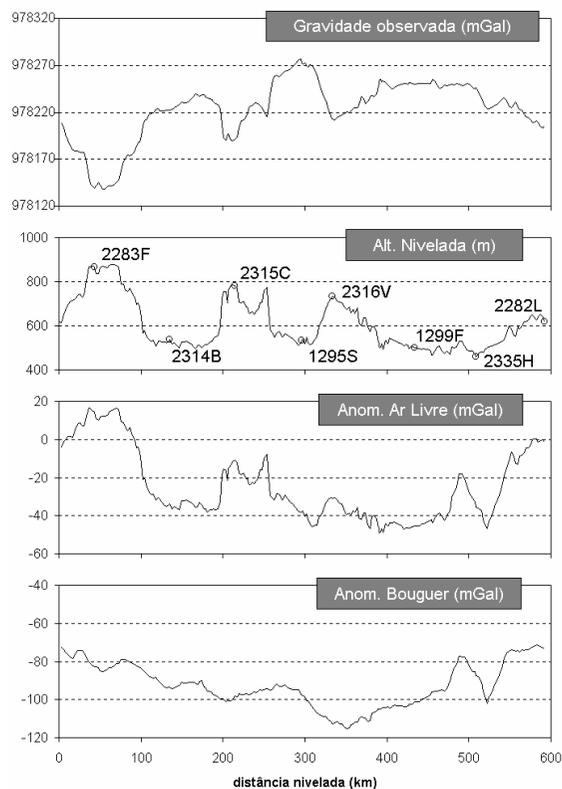


FIGURA 4 – GRAVIDADE OBSERVADA E RESPECTIVAS ANOMALIAS NO CIRCUITO 3

Já foi apontada, na seção 1, a expectativa de que a integração de dados de gravidade ao tratamento das informações altimétricas experimente grande impulso com a utilização dos modelos geopotenciais produzidos por missões espaciais específicas para o campo da gravidade. Dentre essas missões, destaca-se a dos satélites gêmeos GRACE (*Gravity Recovery and Climate Experiment*), lançados em março de 2002, cujos primeiros modelos foram divulgados em julho de 2003. Tais modelos atingiram a significativa precisão de 1 cm para os comprimentos de onda maiores que 360 km (GFZ, 2003), mas já existem notícias de que a mesma precisão alcança atualmente os 200 km (Reigber et al., 2004). Isso faz dos produtos GRACE ferramentas de uso obrigatório nas pesquisas sobre referenciais verticais, tais como as descritas ao longo do presente texto.

6. COMENTÁRIOS FINAIS

A identificação de uma região em que os levantamentos altimétricos e gravimétricos já estão integrados à Rede SIRGAS permitiu o início da implementação e verificação de procedimentos de inclusão de dados de gravidade no processamento final de dados de nivelamento geométrico, para cálculo dos números geopotenciais das respectivas RRNN. Paralelamente a tais estudos, também já foram iniciados : (a) o desenvolvimento de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) específico para o processamento da RAAP com integração de gravidade ; (b) a verificação da viabilidade de aplicação do modelo digital de terreno (MDT), produzido pela missão do ônibus espacial (SRTM, *Shuttle Radar Topography Mission*), ao refinamento dos valores de gravidade ; e (c) a recuperação de antigos registros gráficos da Estação Maregráfica de Imbituba. Tais frentes de trabalho constituem, sem exceção, passos importantes nas pesquisas sobre a adoção do Datum Vertical SIRGAS no Brasil.

É importante ressaltar que tais pesquisas incluem obrigatoriamente uma extensa etapa de verificação dos impactos da eventual adoção do DVSIRGAS no Brasil, bem como a definição de procedimentos, estratégias e ferramentas que façam da transição para tal sistema um processo "indolor".

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, J. C. M. Datum Altimétrico Brasileiro. In: **Cadernos de Geociências**, vol. 5. Rio de Janeiro: IBGE, 1990. p. 69-73.
- BLITZKOW, D.; CANCORO DE MATOS, A. C.; LOBIANCO, M. C. B. Data Collecting and Processing for Quasi-Geoid Determination in Brazil. In: **Vertical Reference Systems** (IAG Symposia, v. 124). Berlin: Springer, 2002. p. 148-151.
- BOSCH, W. The Sea Surface Topography and its Impact to Global Height System Definition. In: **Vertical Reference Systems** (IAG Symposia, v. 124). Berlin: Springer, 2002. p. 225-230.
- BURŠA, M.; KENYON, S.; KOUBA, J.; RADEJ, K.; VATRT, V.; VOJTÍŠKOVÁ, M.; ŠIMEK, J. World Height System Specified by Geopotential at Tide Gauge Stations. In: **Vertical Reference Systems** (IAG Symposia, v. 124). Berlin: Springer, 2002. p. 291-296.

DALAZOANA, R.; LUZ, R. T.; FREITAS, S. R. C. Importância do Resgate e Análise da Série Temporal de Observações Maregráficas no Porto de Imbituba – uma Abordagem Teórica. In: **Novos Desenvolvimentos em Ciências Geodésicas** (Série em Ciências Geodésicas, v. 3). Curitiba: UFPR, 2003. p. 195-208.

DALAZOANA, R.; LUZ, R. T.; FREITAS, S. R. C. Estudos do NMM a partir de Séries Temporais Maregráficas e de Altimetria por Satélites Visando a Integração da Rede Vertical Brasileira ao SIRGAS. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, vol. 57, n. 2, no prelo, 2005.

DREWES, H.; FORTES, L. P. S.; HOYER, M.; LUZ, R. T. The Vertical Reference Frame for the Americas – the SIRGAS 2000 GPS Campaign. In: **Vertical Reference Systems** (IAG Symposia, v. 124). Berlin: Springer, 2002a. p. 302-305.

DREWES, H.; SÁNCHEZ, L.; BLITZKOW, D.; FREITAS, S. Scientific Foundations of the SIRGAS Vertical Reference System. In: **Vertical Reference Systems** (IAG Symposia, v. 124). Berlin: Springer, 2002b. p. 297-301.

FREITAS, S. R. C.; LUZ, R. T. Altimetria de Precisão com GPS baseada no SGB: Possibilidades Físicas e Limitações. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE GEOFÍSICA, 4^o, 1995, Rio de Janeiro. **Anais do 4CISBGf**. Rio de Janeiro: SBGf, 1995. vol. 1, p. 135-138.

FREITAS, S. R. C.; BLITZKOW, D. Altitudes e Geopotencial. **IGeS Bulletin**, International Geoid Service, Milano, Ed. F. Sansò et al., ISSN 1128-3955, n. 9 (Special Issue for South America), p. 47-61, 1999.

FREITAS, S. R. C.; MEDINA, A. S.; PIRES, A. O.; LUZ, R. T. Considerações e Experimentos para a Conexão das Redes Altimétricas da América do Sul. In: **30 Anos da Pós-Graduação em Ciências Geodésicas no Brasil** (Série em Ciências Geodésicas, v. 1). Curitiba: UFPR, 2001. p. 15-32.

FREITAS, S. R. C.; MEDINA, A. S.; LIMA, S. R. S. Associated Problems to Link South American Vertical Networks and Possible Approaches to Face Them. In: **Vertical Reference Systems** (IAG Symposia, v. 124). Berlin: Springer, 2002a. p. 318-323.

FREITAS, S. R. C.; SCHWAB, S. H. S.; MARONE, E.; PIRES, A. O.; DALAZOANA, R. Local Effects in the Brazilian Vertical Datum. In: **Vistas for Geodesy in the New Millennium** (IAG Symposia, v. 125). Berlin: Springer, 2002b. p. 102-107.

GEMAE, C. **Introdução à Geodésia Física**. 1^a ed. (reimpr.), ISBN 85-7335-029-6), Curitiba: UFPR, 2002. 304 p.

GFZ. **GRACE Gravity Model EIGEN-GRACE01S**, 2003. Disponível em http://op.gfz-potsdam.de/grace/index_GRACE.html, acesso em maio/2004.

HECK, B. Problems in the Definition of Vertical Reference Frames. In: **V Hotine-Marussi Symposium on Mathematical Geodesy** (IAG Symposia, v. 127). Berlin: Springer, 2004. p. 164-173.

HERNÁNDEZ, J. N.; BLITZKOW, D.; LUZ, R.; SÁNCHEZ, L.; SANDOVAL, P.; DREWES, H. Connection of the Vertical Control Networks of Venezuela, Brazil and Colombia. In: **Vertical Reference Systems** (IAG Symposia, v. 124). Berlin: Springer, 2002. p. 324-327.

IBGE. **Relatório Final - Grupos de Trabalho I e II do Projeto SIRGAS**. Rio de Janeiro, 1997.

IHDE, J.; AUGATH, W. The European Vertical Reference System (EVRS), Its Relation to a World Height System and to the ITRS. In: **Vistas for Geodesy in the New Millennium** (IAG Symposia, v. 125). Berlin: Springer, 2002. p. 78-83.

IHDE, J.; AUGATH, W.; SACHER, M. The Vertical Reference System for Europe. In: **Vertical Reference Systems** (IAG Symposia, v. 124). Berlin: Springer, 2002. p. 345-350.

LOBIANCO, M. C. B.; BLITZKOW, D.; MATOS, A. C. O. C. O Novo Modelo Geoidal para o Brasil. In: **IV Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas**, Anais em CD-ROM, Curitiba, 2005. Também disponível em [www.ibge.gov.br / home / geociencias / geodesia / default_artigos.shtml](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default_artigos.shtml).

LUZ, R. T.; GUIMARÃES, V. M. Realidade e Perspectivas da Rede Altimétrica de Alta Precisão do Sistema Geodésico Brasileiro. In: **II Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas**, Anais em CD-ROM, Curitiba, 2001. Também disponível em [www.ibge.gov.br / home / geociencias / geodesia / default_artigos.shtml](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default_artigos.shtml).

LUZ, R. T.; GUIMARÃES, V. M.; RODRIGUES, A. C.; CORREIA, J. D. Brazilian First Order Levelling Network, In: **Vertical Reference Systems** (IAG Symposia, v. 124). Berlin: Springer, 2002a. p. 20-22.

LUZ, R. T.; FREITAS, S. R. C.; DALAZOANA, R. Acompanhamento do Datum Altimétrico IMBITUBA através das Redes Altimétrica e Maregráfica do Sistema Geodésico Brasileiro, In: **VII Congreso Internacional de Ciencias de la Tierra**, Anais não publicados, Santiago, Chile, 2002b. Também disponível em [www.ibge.gov.br /home /geociencias /geodesia /default_artigos.shtml](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default_artigos.shtml).

LUZ, R. T.; GUIMARÃES, V. M. Dez Anos de Monitoramento do Nível do Mar no IBGE. In: **III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas**, Anais em CD-ROM, Curitiba, 2003. Também disponível em [www.ibge.gov.br / home / geociencias / geodesia / default_artigos.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default_artigos.shtm).

MARTI, U.; SCHLATTER, A.; BROCKMANN, E.; WIGET, A. The Way to a Consistent National Height System for Switzerland. In: **Vistas for Geodesy in the New Millennium** (IAG Symposia, v. 125). Berlin: Springer, 2002. p. 90-95.

REIGBER, C.; SCHMIDT, R.; FLECHTNER, F.; KOENIG, R.; MEYER, U.; NEUMAYER, K. H.; SCHWINTZER, P.; ZHU, S. Y. A Mean Global Gravity Field Model from GRACE Mission Data Only – Current GFZ Solutions. In: **Geophysical Research Abstracts**, Vol. 6 (CD-ROM), 03944, 2004.

SÁNCHEZ, L. A Reference Surface for the Unified Height System in the Northern Part of South America. In: **Vistas for Geodesy in the New Millennium** (IAG Symposia, v. 125). Berlin: Springer, 2002. p. 84-89.

SÁNCHEZ, L.; MARTÍNEZ, W. Approach to the New Vertical Reference System for Colombia. In: **Vertical Reference Systems** (IAG Symposia, v. 124). Berlin: Springer, 2002. p. 27-33.

TENZER, R.; VANÍČEK, P.; SANTOS, M.; FEATHERSTONE, W. E.; KUHN, M. The rigorous determination of orthometric heights. **Journal of Geodesy**, Berlin, vol. 79, p. 82-92, 2005.

TORGE, W. **Geodesy**. 3rd edn. (compl. rev. and ext.), ISBN 3-11-017072-8, Berlin: Walter de Gruyter, 2001. xv + 416 p.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq (Processos 550830/2002-2 e 140084/2004-5) e à CAPES pelo suporte financeiro a este projeto ; ao IBGE, pela cessão dos dados utilizados no trabalho e pela licença de doutoramento concedida a RTL ; à UFPR e à USP pelo suporte técnico à pesquisa; ao Instituto Alemão de Pesquisas Geodésicas (DGFI), ao Instituto de Geodésia da Universidade de Karlsruhe (GIK/UK, Alemanha) e ao Observatório Real da Bélgica (ORB) pelo suporte científico ; à Companhia Docas de Imbituba (CDI) pelo apoio operacional ; e aos revisores, cujos comentários e sugestões enriqueceram a abordagem dos tipos de altitude.