

**IMPLANTAÇÃO, REDUÇÃO DOS DADOS E AJUSTAMENTO DA REDE  
GRAVIMÉTRICA CHILENA, EM APOIO ÀS OPERAÇÕES  
GEODÉSICAS SUL AMERICANA**

**JORGE LUIZ ALVES TRABANCO <sup>(1)</sup>**

**Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP  
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo - FEC  
Departamento de Transportes, Campinas - SP  
[trabanco@fec.unicamp.br](mailto:trabanco@fec.unicamp.br)**

**DENIZAR BLITZKOW – Escola Politécnica da USP - EPUSP PTR  
[DBLITZKO@USP.BR](mailto:DBLITZKO@USP.BR)**

**ERICO FRANCISCO INNOCENTE  
Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza - CEETEPS  
Faculdade de Tecnologia de Jundiaí - FATEC  
Departamento de Logística e Transportes, Jundiaí - SP**

**[innocent@terra.com.br](mailto:innocent@terra.com.br)  
CARLOS A. CASTRO JR. – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE  
[castrojr@ibge.gov.br](mailto:castrojr@ibge.gov.br)**

**RESUMO**

A Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – EPUSP e o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, vêm desenvolvendo esforços há muitos anos visando a melhoria da distribuição de dados gravimétricos no Brasil. Recentemente as iniciativas se estenderam ao Chile, através do IGM - Instituto Geográfico Militar. O IGM, em conjunto com parceiros brasileiros, a EPUSP e o IBGE desenvolveram esforços visando à melhoria da distribuição de dados gravimétricos em território Chileno. Nesse sentido, vários levantamentos foram realizados objetivando restabelecer a Rede Gravimétrica de Referência Chilena. Com isso se espera contribuir para o restabelecimento da Rede Gravimétrica Sul Americana, em grande parte já destruída. A partir dos levantamentos gravimétricos realizados em parceria com as instituições acima descritas surgiu a oportunidade do envolvimento da UNICAMP no referido projeto, ficando a cargo da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo / Departamento de Geotecnia e Transportes / Laboratório de Topografia e Geodésia FEC-DGT – UNICAMP, a responsabilidade da realização do cálculo e ajustamento da rede. Para o Cálculo e Ajustamento da Rede foi utilizado o Programa Gravity Data Processing System – Gravsys, desenvolvido por Geophysical Data Centre. Neste trabalho serão enfocados os principais detalhes inerentes à metodologia empregada e acompanhado dos resultados encontrados. Estas iniciativas contam com o apoio da Universidade de Leeds através do GETECH- *Geophysical Exploration Technology*- bem como do NIMA- *National Imaging and Mapping Agency*.

**ABSTRACT**

The Polytechnic School of the University of Sao Paulo - EPUSP and the Brazilian Institute of Geography and Statistics - IBGE, efforts have been developing for many years to improve the distribution of gravity data in Brazil. Recently the initiatives spread to Chile through the IGM - Military Geographical Institute. The IGM, together with Brazilian partners, the IBGE EPUSP developed and efforts aimed at improving the distribution of gravity data in Chilean territory. Accordingly, several surveys were conducted aiming to restore the Reference Network Gravimétrica Chile. With that is expected to contribute to the restoration of Network Gravimétrica American South, already largely destroyed. From the gravity surveys conducted

in partnership with the institutions described above, came the opportunity of involvement of UNICAMP in the project, leaving it to the School of Civil Engineering, Architecture and Urbanism / Geotechnical Department and Transports / Laboratory of Surveying and Geodesy FEC - DGT - UNICAMP, the responsibility of completing the calculation and adjustment of the network. For the calculation and adjustment of the network the program Gravity Data Processing System - Gravsys, developed by Geophysical Data Center, was used. This work will be focused on the main details inherent in the methodology employed and together with the results. These initiatives are supported by the University of Leeds through the GETECH-Geophysical Exploration Technology, and the NIMA-National Imaging and Mapping Agency.

## **INTRODUÇÃO**

Em reunião realizada no IGM em Santiago em fevereiro 2001 determinou-se o início dos levantamentos gravimétricos no Chile. Nesse momento, foram estimadas as áreas sem coberturas que necessitariam de informações da gravidade. As temperaturas baixas, neve, rotas ásperas nos Andes eram os desafios principais que tiveram que ser superados. O primeiro reconhecimento do campo aconteceu em meados de setembro desse ano. Após 30 dias de trabalho que envolveu seis técnicos e três estagiários chilenos e dois técnicos brasileiros, foram estabelecidas 10 estações básicas entre as latitudes 30°S e 35°S. Três gravímetros modelo LaCoste&Romberg do IGM foram utilizados por três equipes. Foi realizada a calibração dos fatores de escala dos três gravímetros ao longo das quatro estações absolutas distribuídas pelo território chileno. Este trabalho foi executado em julho 2001 com duração de sete dias. O percurso foi feito por aviões comerciais e por veículos alugados. Os resultados da calibração foram significativos porque permitiram uma boa convergência dos cálculos da rede da referência. Durante todo o trabalho foram observadas frequentemente algumas dificuldades em manter a estabilidade das leituras dos gravímetros, devido provavelmente à instabilidade tectônica da região Andina. Mais 20 estações básicas foram determinadas entre as latitudes 33°S e 43°S.

Para realização do levantamento gravimétrico no Chile, não foram encontrados marcos antigos de referência. Entretanto, as condições para se implantar a nova rede básica foram facilitadas pela existência de quatro estações gravimétricas absolutas implantadas longitudinalmente no país.

Foram seis campanhas, totalizando 56 estações da rede de referência (visualizadas na Figura 1) e mais 1035 estações de densificação. Após o cálculo e ajustamento da rede gravimétrica, poderá se dizer que o Chile possuirá um arcabouço gravimétrico que abrange praticamente todo o seu território, graças aos esforços empreendidos nesse projeto.

## **OBJETIVOS**

Espera-se com este trabalho poder contribuir com dados confiáveis para elaboração de um modelo geoidal mais consistente para o continente Sul Americano. Pretende-se alcançar outros objetivos paralelos tais como o estabelecimento de procedimentos sistemáticos, consistentes e homogêneos para cálculo e ajustamento de redes gravimétricas.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

Para o estabelecimento da Rede Gravimétrica Básica do Chile foram utilizados os gravímetros Lacoste & Romberg modelo G (Figura 2). Os trabalhos obedeceram às especificações

técnicas preconizadas pelo IBGE, ou seja: os circuitos gravimétricos tiveram origem nas estações da rede gravimétrica absoluta do Chile; foram realizadas três leituras dos gravímetros, adotando-se o critério de rejeição onde as leituras não poderiam discrepar mais de 03 unidades de graduação do dial; todas as leituras foram cronometradas no instante da segunda leitura, de acordo com a hora legal do país, a duração da medida não ultrapassou três minutos; a duração total do circuito não ultrapassou 48 horas, devido ao fato que após 48 horas a deriva dinâmica deixa ter um comportamento linear e os circuitos foram constituídos de polígonos, nos quais a estação inicial é reocupada no final dos trabalhos, ou de uma linha aberta que tenha como pontos iniciais e finais estações de ordem superior. Tal procedimento se justifica pela necessidade de se calcular a deriva instrumento, principal inconveniente das medidas gravimétricas.

Estes dados, que constituirão a Rede Gravimétrica, foram manipulados com auxílio do programa GRAVSYS desenvolvido no Gravity Data Center of Canadá.

Este sistema é uma coleção de programas conduzidos por uma série de menu que permite ao usuário controlar o processo de observações na determinação de uma rede gravimétrica, permite também, ajustar uma rede utilizando o método os mínimos quadrados, bem como calcular as anomalias Bouguer e free-air.

Sendo possível diferentes tipos de ajuste dos registros a saber:

- Ajustar do valor de “g” de um arquivo de uma estação desconhecida a partir de estações de referências;
- Ajustar o fator de escala dos instrumentos utilizados.

#### **RESULTADOS ALCANÇADOS E CONCLUSÕES**

Os Erros nas medidas da aceleração da gravidade surgem a partir de fatores relacionados às condições de cada local e observação das condições durante o transporte entre os locais de observação. Os dois tipos de erros podem ter componentes aleatórios e sistemáticos, sendo os aleatórios os de mais importância do ponto de vista do ajustamento..

Os erros sistemáticos, devidos à locais mal identificados, derivas instrumentais, atração luni-solar, tabela de calibração da leitura, pressão atmosférica, efeitos de temperatura e efeitos magnéticos. Podem ser tratados de duas formas, dependendo da frequência com que ocorrem. Para aqueles que ocorrem raramente, as observações afetadas podem ser rejeitadas ou, se o erro sistemático é suspeito de aparecer em todas as observações, o mesmo poderá ser tratado através da inclusão de parâmetros adequados para correção para eliminá-los.

Na presente análise, apenas aproximações lineares de derivas instrumentais e correções dos fatores de escala estão incluídos como incógnitas nas equações de observação.

Redes gravimétricas devidamente vinculadas a estações absolutas podem contribuir de maneira decisiva nos trabalhos de densificação. A Rede Gravimétrica Fundamental Chilena constitui um importante arcabouço gravimétrico para América do Sul, imprescindível no estabelecimento de redes gravimétricas regionais e nos trabalhos de densificação.

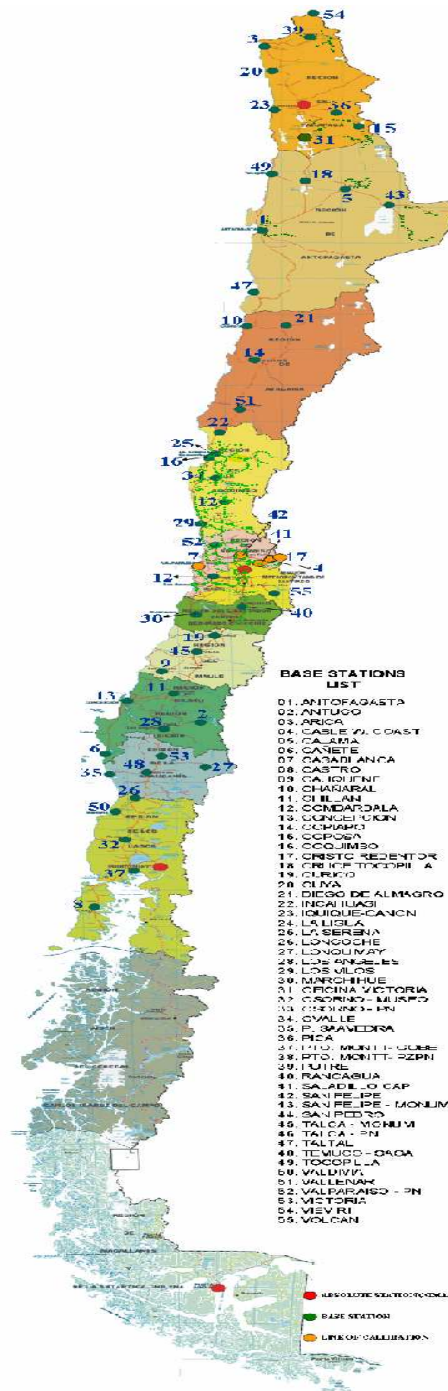


Figura 1- Distribuição dos dados gravimétricos no Chile  
Fonte: Castro Jr. 2005



Figura 2 – Gravímetro LaCoste & Romberg modelo G em operação.

Os resultados obtidos poderão ser utilizados no estabelecimento de outras redes gravimétricas que contribuem na determinação do geóide, através da integral de Stokes. Conhecida a altura geoidal, o uso do GPS permite a determinação da altura ortométrica, necessária em obras de engenharia, como locação de estradas, implantação de redes elétricas, etc.

Analisando os resultados, verifica-se que os resultados foram consistentes devido às especificações técnicas adotadas durante a execução dos levantamentos de campo. Pode-se constatar tal afirmação analisando a tabela 1, onde pela comparação dos valores de “g” pré-fixado e dos valores de “g” ajustados nota-se que as diferenças ficaram em torno de 0,05 mGal em média. Isso devido ao fato de haver uma homogeneidade da rede estabelecida. Tais resultados são considerados bons, estando dentro de um padrão esperado de 0,05 mGal para redes de 1º ordem.

A tabela 01 mostra parcialmente o resultado do ajustamento. Nota-se que foram injuncionadas as estações absolutas **007404** e **4031AA**.

SEQ	CONTROL STN.	GVALUE ADJUSTED	ERROR	GOOD	BAD			
NO.	IDENTIFIER (F=FIXED)	CHANGE	GVALUE	ESTIMATE	TIES	TIES	STATION NAME	
	7404	979341.361F	.0000	979341.361	.0000	33	0	NASA 7404
1	57703	979362.075	.0000	979362.075	.0457	8	0	OVALLE
2	57704	979334.011	-.0001	979334.011	.0556	19	0	LA-SERENA
3	59946	979063.203	-.0006	979063.202	.0542	20	0	VALLENAR
4	59947	979002.522	-.0001	979002.522	.0567	20	0	COPIAPO
6	59949	978982.158	.0010	978982.159	.0608	31	0	TALTAL
7	000001	978981.956	.0007	978981.957	.0685	10	0	DERIVA TAL-TAL
8	59950	978898.707	.0008	978898.707	.0575	17	0	ANTOFAGASTA
	4031AA	978416.164F	.0000	978416.164	.0000	54	0	IQUIQUE 0
9	59953	978226.764	-.0007	978226.763	.0385	10	0	PICA

Tabela 01 Arquivo parcial do resultado do Ajustamento da Rede Gravimétrica Básica do Chile

A Tabela 02 mostra a o resultado do ajustamento dos fatores de escala dos gravímetros utilizados nas operações de campo.

SEQ NO.	INSTRUMENT IDENTIFIER	SCALE (F=FIXED)	ADJUSTED CHANGE	ERROR SCALE	GOOD ESTIMATE	BAD TIES	TIES
36	G114	.997411	.000003	.997414	.000128	53	0
37	G131	.998618	.000004	.998622	.000128	53	0
38	G142	.999540	.000004	.999544	.000128	57	0
39	G143	1.000026	.000003	1.000029	.000129	41	0

Tabela 02 Ajustamento dos fatores de escala dos gravímetros.

Como já mencionado, o cálculo e o ajustamento da Rede Gravimétrica chilena, foram realizados utilizando o programa de ajustamento Gravity Data Processing System GRAVSYS desenvolvido por Geophysical Data Centre - Geophysics Division Geological Survey of Canadá. Esforços como os desenvolvidos pelo IGM do Chile, vêm sendo realizados em outros países da América do Sul, tais como Paraguai, Equador, Brasil, etc. Desta forma, será possível a realização de um ajustamento único das redes gravimétricas dos diversos países do continente.

#### AGRADECIMENTOS

Agradecimentos a Faculdade de Engenharia Civil Departamento de Geotecnia e Transportes - FEC/DGT à Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Transportes - EPUSP PTR na pessoa do Prof. Dr. Denizar Blitzkow, ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, ao IGM do Chile, IAG - International Association of Geodesy, GETECH - Geophysical Exploration Technology, University of Leeds.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLITZKOW, D., 1986. A combinação de diferentes tipos de dados na determinação das alturas geoidais. Tese de doutorado IAG-USP,
- BLITZKOW, D.; CANCORRO M. A. C. A., 2002. Evolução dos Referenciais Usados em Geodésia: A Era Espacial. Bol. Ciênc. Geod. Curitiba Pr. V.8 nº 1, p.3-16,.
- FREITAS, S. R.C.; BLITZKOW D., 1999. Altitude e Geopotencial. IgeS Bulletin (Special Issue for South America). N. 9, p.47-62.
- GEMAEL, C., 1986. Marés Terrestres: Aplicações Geodésicas. Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, UFPr . Curitiba Pr.
- LEICK, A., 1995. GPS Satellite Surveying. 2nd. Ed. New York: John Wiley & Sons..
- MONICO, J.F.G., 2000. Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS Descrição, Fundamentos e Aplicações – São Paulo. Editora UNESP,. 287p.
- OLIVEIRA L.C., 1998. Realizações do Sistema Geodésico Brasileiro Associado ao SAD-69. Uma proposta Metodológica de Transformação. Tese de Doutorado apresentada à Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Transporte. São Paulo,.
- SEGANTINE, P.C. L., 1987. GPS. Sistema de Posicionamento Global. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos. SP. Blackwell,.
- TRABANCO, J.L.A., 1995. Ajustamento e Homogeneização de Redes Gravimétricas Fundamentais Regionais - Dissertação de Mestrado EPUSP-PTR..