

CONCEPÇÃO DOS LEVANTAMENTOS GRAVIMÉTRICOS PARA O ESTABELECIMENTO DE REDE GRAVIMÉTRICA DE ALTA PRECISÃO NO ESTADO DO PARANÁ

SÍLVIO ROGÉRIO CORREIA DE FREITAS
GUATAÇARA DOS SANTOS JUNIOR
PEDRO LUIS FAGGION
CAMIL GEMAEI
JAIR SILVEIRA DA SILVA JUNIOR
KAUEM SIMÕES

Universidade Federal do Paraná - UFPR
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas - CPGCG
Departamento de Geomática, Curitiba - PR
sfreitas@cce.ufpr.br

RESUMO - A *International Gravity Standardization Net 1971* (IGSN71) é na atualidade a rede gravimétrica mundial de referência. As redes gravimétricas nacionais fundamentais e derivadas são usualmente estabelecidas via levantamentos relativos a esta rede mundial e implicam na partida de ponto com gravidade conhecida e fechamento também em ponto conhecido, no intervalo recomendável de 12h. Devido a extensão territorial brasileira onde existem apenas 20 localidades com estações IGSN71 e as dificuldades de acesso a regiões remotas, a precisão das redes derivadas usualmente apresenta-se no intervalo de 50 a 100 microgal. Esta concepção de levantamento gravimétrico passou a ser modificada a partir da utilização de nova geração de gravímetros absolutos portáteis, com precisões melhores que 10 microgal, cujas observações podem ser injuncionadas nas redes existentes para controle e reajustamento, calibração de gravímetros em campo, e também no controle do fator de escala instrumental. Com base nestas idéias iniciais, foi concebida uma rede gravimétrica científica para o Estado do Paraná com 21 estações. São apresentados neste trabalho as estratégias inovadoras de observação e processamento concebidas, e os resultados obtidos.

ABSTRACT - Nowadays, the *International Gravity Standardization Net 1971* (IGSN71) is the worldwide gravity reference network. The gravity national reference networks and the secondary ones are usually densification of IGSN71 realized by using its references stations as departing and closing points in relative surveying. For this purpose it is recommended a maximum time span of 12h between opening and closing of survey loops. Because the large extension of Brazilian territory with only 20 IGSN71 stations and difficulties in accessing remote regions, the achieved precision in its densification remains in the interval of 50 to 100 microgal. This conception of gravity surveying is changing because the start of using a new generation portable absolute gravimeters, whose can achieve precision better than 10 microgal. Their observations can be used as constraints in adjusting or controlling realized gravity networks, and to field control of gravimeters calibration factors and survey scale. Taking in account these ideas, it was conceived a scientific gravity network with 21 stations for the Paraná State, South Brazil. They are presented in this paper the conceived strategies of surveying and data processing, and the obtained results.

1 INTRODUÇÃO

A Geodésia tem, entre seus propósitos principais, a definição e realização de referenciais para o posicionamento geodésico. Na atualidade, estes são objetivos operacionais dentro dos aspectos globais da Geodésia. A orientação absoluta de tais referenciais depende do conhecimento do Potencial da Gravidade ou Geopotencial, cuja determinação é fortemente condicionada à existência de redes gravimétricas mundiais de alta precisão, base para o estabelecimento de

redes nacionais fundamentais e redes derivadas para densificação. Atualmente a rede gravimétrica mundial recomendada pela *International Union of Geodesy and Geophysics* (IUGG) é a *International Gravity Standardization Net 1971* (IGSN71). Mais pormenores podem ser encontrados em Gemael (1999) e Gemael et al. (2002). As redes gravimétricas nacionais fundamentais e derivadas têm sido usualmente estabelecidas por observações relativas com gravímetros de mola, tomando como ponto de controle estações vinculadas à IGSN71. Os gravímetros a mola convencionais podem interpolar

valores de gravidade com precisão nominal de 5 a 10 microgal (Jousset et al., 1995; Kaufmann & Doll, 1998), para períodos de observação de até 12h entre a partida e a chegada em estação de referência. Quando se considera extensões territoriais como a do Brasil, onde existem apenas 20 localidades com estações IGSN71, compreende-se que o tempo necessário para ocupação de duas estações de referência subsequentes dificilmente ficará restrito ao intervalo assinalado. Experimentos sobre pontos da rede gravimétrica fundamental do Brasil, onde a ocupação de duas estações de referência pode ser efetivada em até 36h, mostram que os valores determinados para a gravidade têm precisões entre 50 e 100 microgal, tal como descrito por Faggion et al. (2002). Cabe ser ressaltado que a forma de levantamento gravimétrico relativo com gravímetros a mola é limitada em precisão principalmente em função de aspectos associados à mudança da função de transferência do gravímetro. Esta variação deve-se em grande parte à deriva instrumental, a qual é consequência da variação do arranjo geométrico dos componentes mecânicos do instrumento e da constante elástica da mola. São causas externas as condições ambientais, transporte, e forma de utilização. No entanto, existem também características próprias de resposta ao longo do tempo de cada instrumento. Os efeitos da deriva, de forma geral, podem ser modelados satisfatoriamente somente para intervalos pequenos de tempo.

O conceito clássico de realização de redes gravimétricas fundamentais e derivadas começou a ser modificado a partir da concepção de nova geração de gravímetros absolutos, os quais permitem na atualidade o alcance de precisões melhores que 10 microgal (Faller, 1983), com diversos testes realizados sobre a IGSN71 e comparação com outras estações absolutas (Torge et al., 1994). Estes novos gravímetros possibilitam o estabelecimento de redes nacionais de gravidade absoluta, as quais podem ser conjugadas com as redes clássicas para reajustamento e também no controle do instrumental empregado. As funções de transferência dos gravímetros podem ser estabelecidas e controladas por ocupação periódica de pontos de base de calibração. Atualmente dispõe-se no Brasil da linha de Itatiaia (base relativa) e da Rede Nacional de Estações Gravimétricas Absolutas - RENEGA (Gemael et al. 1990). No entanto, as estações absolutas podem ser utilizadas à parte de um procedimento específico de calibração, se aplicadas como controle dos fatores de escala para todos os instrumentos utilizados no levantamento. Para tanto, no mínimo duas estações absolutas devem ser ocupadas como parte integrante da rede que está sendo levantada, tal como no trabalho realizado por Dias e Escobar (2001), ou utilizar no mínimo duas estações absolutas, cujos valores de gravidade cubram aproximadamente o intervalo de variação de gravidade da rede a ser implantada, para determinar um fator de escala único para cada um dos instrumentos empregados. Uma discussão mais abrangente destas possibilidades é apresentada por Faggion et al. (2002).

No presente trabalho são apresentadas as concepções, estratégias e atividades experimentais associadas com propostas para nova metodologia de implantação de redes gravimétricas de alta precisão no Brasil. Para tanto foi estabelecida uma rede com estações em 21 localidades no Paraná e uma em São Paulo. Prevendo-se a minimização do risco de perda de pontos desta rede gravimétrica e também futuros trabalhos associados com geóide gravimétrico no Paraná, eles foram estabelecidos sobre os pontos da Rede GPS de Alta Precisão do Paraná, implantada pela Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná (SEMA) - Instituto Ambiental do Paraná (IAP) em parceria com o IBGE. Tais estações possuem uma distribuição bastante homogênea, o que seguramente facilitará futuros trabalhos de densificação gravimétrica no Estado.

2 ESTRATÉGIAS PARA REALIZAÇÃO DA REDE

Com base nestas idéias iniciais, foi concebida a realização da Rede Gravimétrica Científica para o Estado do Paraná - RGCP. Buscou-se o estabelecimento de uma metodologia de levantamento, ainda que com base clássica, a qual permitisse a eliminação dos principais inconvenientes decorrentes da limitação do tempo entre a ocupação de dois pontos de controle conhecidos para fechamento de circuitos gravimétricos. Foram formados micro-circuitos, macro-circuitos e testadas injunções de pontos de controle via a RENEGA. O levantamento de cada uma das estações da RGCP foi efetuado com quatro gravímetros, três do tipo LaCoste & Romberg, modelo G (G114 - IBGE, G143 - IBGE e G372 - LAIG/UFPR) e um Scintrex modelo CG3M (LPGA/UFPR). Os gravímetros La Coste & Romberg haviam sido calibrados recentemente (cerca de 3 meses) sobre a RENEGA. O levantamento, de forma geral, teve desenvolvimento por caminhamento conforme o esquema do tipo $A \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \dots \dots J \rightarrow A$. Este esquema permite a manutenção do controle de fechamento e determinação de dois valores da deriva dinâmica em cada trecho AB, BC, ..., com possibilidade de obtenção da variância em cada micro circuito, no entanto com economia nos deslocamentos de campo, uma vez que só é exigido um retorno a estação conhecida (ou inicial), após serem ocupadas sequencialmente as estações da rede. Na realidade, foram definidos oito circuitos menores (com três a sete estações), conforme a figura 1, visando-se a obtenção de uma solução mais rígida para toda a rede. Um destes circuitos menores envolve as estações RENEGA de Valinhos (SP) e de Curitiba (PR). Estes circuitos menores originaram-se de três campanhas específicas partido e fechando na estação RENEGA de Curitiba (campanhas consideradas como três macro circuitos). Em cada estação foi prevista a utilização de correções das derivas estática e dinâmica, da perturbação luni-solar e da resposta dinâmica local, pela utilização de fatores gravimétricos locais já determinados no Estado do Paraná, via observação das marés terrestres (Freitas, 1993).

A concepção dos macro circuitos, circuitos menores com três a cinco estações, e fechamento de micro circuitos com múltiplas linhas entre duas ou três estações, traz a possibilidade de teste de diversas formas de ajustamento final da rede, com ponderação via o tempo de realização dos micro circuitos ou via a determinação da variância das observações, utilizando-se a concepção de circuitos menores para controle da propagação de erros, com ou sem a injeção de uma escala via estações da RENEGA, conforme já assinalado. Os dados foram processados, considerando micro circuitos independentes com duas ou três estações, cada um sendo fechado em um mesmo dia, eliminando assim a correção da deriva estática e considerando apenas a deriva dinâmica. Com esses circuitos independentes fecha-se outro circuito maior. Procedimentos de pré-análise indicaram a que a precisão da rede poderia situar-se no intervalo de 20 a 30 microgal, dependendo da forma de execução do levantamento e formação dos circuitos, considerando a precisão nominal dos gravímetros como sendo de 10 microgal e que a deriva de cada instrumento é perfeitamente linear. Os trabalhos de levantamento envolveram a realização de 12700km de linhas entre as estações da rede no período de 18 de fevereiro a 20 de março de 2002, e possibilitaram 20 novas estações gravimétricas no Paraná, cujos resultados preliminares estão analisados na sequência neste trabalho. Em fases posteriores, prevê-se a densificação desta rede com participação das outras universidades do Estado, a ampliação da RENEGA e uma análise qualitativa das demais estações gravimétricas já existentes no Estado.

3 CÁLCULO DE DESNÍVEIS GRAVIMÉTRICOS E AJUSTAMENTO DA REDE

A forma de levantamento com formação de oito circuitos fechados menores, possibilitou o aumento da rigidez da rede, via o estabelecimento de controle intermediário e em consequência a obtenção de condições conhecidas. Duas estratégias básicas foram adotadas para o cálculo dos desníveis gravimétricos entre as estações componentes da rede, conforme a figura 1: a) considerando a estação de Valinhos (circuito Curitiba – Jaguariaiva – Valinhos - Jaguariaiva – Curitiba) como parte da rede, tal que foram utilizadas as tabelas de calibração mais recentes dos gravímetros e a condição do desnível gravimétrico entre as estações RENEGA de Curitiba e de Valinhos ser conhecido; b) utilizando o circuito Curitiba – Valinhos - - Curitiba para determinação de um fator de escala para os gravímetros empregados no levantamento. Estas estratégias possibilitaram a realização de duas diferentes formas de ajustamento, em princípio. Foi utilizado para o ajustamento o Método dos Mínimos Quadrados com formação de equações de condição ou Correlatos (MMQ - Correlatos), cujo modelo é:

$$F(L_a) = 0, \quad (1)$$

onde L_a são as observações ajustadas com a condição que para um circuito fechado, a soma dos desníveis gravimétricos deve ser zero. Todo o desenvolvimento, conceituação e formulação do MMQ - Correlatos, pode ser encontrada, por exemplo, em GEMAE (1994; p. 135...). Para a estratégia a), no ajustamento da rede, foi possível a formação de oito equações de condição e para a estratégia b) foi possível o estabelecimento de seis equações de condição. No MMQ – Correlatos, um ponto crítico é o estabelecimento da matriz dos pesos. Na próxima seção são apresentados duas abordagens na formação desta matriz. Outro ponto crítico é a “eliminação” de erros sistemáticos, tarefa esta na realidade que só pode ser parcialmente cumprida pela análise do comportamento instrumental. Assim, adotou-se como abordagem inicial para os cálculos da rede, o ajustamento isolado da campanha de cada um dos quatro gravímetros e para cada um deles aplicaram-se as estratégias a) e b) mencionadas. Em síntese, foi analisado em primeiro lugar o comportamento individual de cada um dos quatro gravímetros empregados, adotando-se uma equação de condição com o circuito menor envolvendo as estações RENEGA de Valinhos (SP) e de Curitiba (PR) e procedendo-se o ajustamento da rede integral segundo critérios de ponderação apresentados na próxima seção. Após, suprimiu-se do ajustamento o circuito menor envolvendo as estações RENEGA de Valinhos (SP) e de Curitiba (PR), porém empregando as observações sobre este circuito para determinar um novo fator de escala para cada um dos gravímetros.

3.1 Composição da matriz dos pesos

A construção da matriz dos pesos foi, neste estudo, um dos problemas iniciais a serem encarados. Para iniciar o ajustamento, necessita-se conhecer a matriz dos pesos das observações, que no presente caso, são os desníveis gravimétricos:

$$P = \sigma_0^2 \Sigma L_b^{-1} \quad (2)$$

onde ΣL_b é a matriz traço das variâncias estimadas das observações. Arbitrou-se a variância *a priori* para a unidade de peso como:

$$\sigma_0^2 = 1. \quad (3)$$

Desta forma, a matriz dos pesos foi obtida invertendo a matriz ΣL_b , resultando também P diagonal. Uma concepção para a obtenção dos elementos da matriz variância das observações é a da consideração de que cada uma das variâncias é diretamente proporcional ao tempo de deslocamento (Δt) utilizado para se fechar um determinado micro circuito.

Numa segunda abordagem, a matriz P é obtida em vista das múltiplas observações entre as estações componentes da rede (no mínimo duas entre cada ponto adjacente da rede. No presente trabalho, considerou-se para este propósito que em cada linha observada foram obtidos duas ou três observações da diferença da gravidade entre dois pontos, sem considerar reocupações que ocorreram freqüentemente. Com essas diferenças de gravidade foi calculada a variância correspondente.

3.2 Aplicação do método dos correlatos

No ajustamento propriamente dito, sendo cada gravímetro considerado isoladamente, foram utilizadas as duas formas descritas de construção das matrizes dos pesos, afim de se efetuar comparações. Em um primeiro ajustamento, as estações RENEGA de Curitiba e de Valinhos foram adotadas como parte da rede tal como em estudos de Dias e Escobar (2001), compondo uma condição a partir do circuito Curitiba – Jaguariaíva – Valinhos – Jaguariaíva – Curitiba. Neste caso, foi utilizada a tabela original para conversão de unidades instrumentais para miligal de cada instrumento, com 25 observações e 17 incógnitas. Obteve-se em consequência 8 graus de liberdade que implicam na possibilidade de escrita de 8 equações de condição. Um segundo ajustamento foi procedido, considerando-se individualmente cada um dos instrumentos empregados, agora utilizando apenas a estação de Curitiba como conhecida, eliminando-se o circuito Curitiba – Jaguariaíva – Valinhos – Jaguariaíva – Curitiba e utilizando-se um a tabela de calibração corrigida por um fator de escala para conversão das unidades instrumentais para miligal obtido do circuito sobre a RENEGA com as estações Curitiba – Valinhos – Curitiba. Neste caso, resultaram 23 observações e 17 incógnitas. Obteve-se assim 6 graus de liberdade que implicam na possibilidade de escrita de 6 equações de condição. Assim, combinando as duas matrizes dos pesos concebidas com as duas estratégias de cálculo dos desníveis gravimétricos descritos na seção 3, foi possível obter quatro formas de ajustamento para cada um dos gravímetros utilizados no levantamento gravimétrico. Com essas possíveis formas de ajustamento da rede gravimétrica, puderam ser determinados, preliminarmente, oito resultados independentes da gravidade para cada uma das estações gravimétricas componentes da rede.

3.3 Análise preliminar dos resultados

A estratégia adotada para se efetuar o ajustamento da rede possibilitou com cada um dos quatro gravímetros e seus respectivos conjuntos de dados resultantes, quatro soluções distintas para as estações gravimétricas que compõem essa rede. Essas quatro soluções foram obtidas ponderando as observações de acordo com o assinalado na subseção 3.1. Então, para cada uma dessas quatro concepções de ajustamento, obteve-se um resultado para cada um dos gravímetros, resultando portanto em dezesseis soluções preliminares e individuais. Dessas soluções de ajustamento, concluiu-se ser melhor a de aplicar em todos os circuitos da rede o fator de escala de calibração calculado no circuito envolvendo as estações RENEGA de Valinhos (SP) e de Curitiba (PR) e utilizando a ponderação em função da variância de cada micro circuito com múltiplas observações com cada um dos gravímetros. Esta solução tem maior consistência que utilizar a tabela original de calibração dos gravímetros adotando-se a estação

RENEGA de Valinhos (SP), para geração de mais uma equação de condição. Neste caso a influência de Valinhos é bem mais fraca no ajustamento da rede, comparando apenas como um circuito entre outros sete. Gerou-se uma tabela comparativa das soluções obtidas em cada uma das quatro concepções de ajustamento utilizado para a rede comparando os gravímetros dois a dois. Nesta comparação efetuou-se a diferença entre os resultados fornecidos por dois gravímetros e observou-se nesta comparação que em cada uma dessas quatro concepções de ajustamento dois gravímetros responderam melhor que os outros dois. Quando comparados os gravímetros G114 ou o SCINTREX com os outros dois, G 143 ou G 372, as diferenças não foram satisfatórias. Por outro lado, observou-se também que ao comparar as soluções fornecidas pelos gravímetros G 143 e G 372, o resultado foi bastante satisfatório, ou seja, as soluções fornecidas por esses dois gravímetros apresentaram grande concordância. Isto pode ser comprovado nas tabelas 1 e 2.

Tabela 1 – Diferenças em microgal das soluções fornecidas pelos gravímetros na concepção de ajustamento com introdução de circuito contendo duas estações absolutas (condição) e com tabela original de calibração dos gravímetros, aplicando ponderação obtida via o tempo de realização dos micro circuitos.

Estação	G114 e G143	G114 e G372	G114 e SCIN.	G143 e G372	G143 e SCIN.	G372 e SCIN.
SMSU	120	230	43	110	-77	-187
BITU	124	204	21	80	-103	-183
CLEV	160	213	78	53	-82	-135
FBEL	242	296	108	54	-134	-188
TOLE	238	177	76	-61	-162	-101
GUAI	221	207	22	-14	-199	-185
GOIO	86	73	21	-13	-65	-52
LARS	-129	-112	-102	17	27	10
GUAR	-126	-100	-108	26	18	-8
PTGR	-94	-84	-81	10	13	3
JAGU	-177	-271	-127	-94	50	144
JOTA	-338	-341	-256	-3	82	85
ORTI	-224	-237	-152	-13	72	85
LOND	-291	-364	-146	-73	145	218
MARI	-329	-334	-204	-5	125	130
IRET	-155	-176	-179	-21	-24	-3
PARN	-287	-328	-240	-41	47	88
PTPR	543	552	264	9	-279	-288
FZIG	398	361	163	-37	-235	-198
QUER	-230	-236	-203	-6	27	33
Med.	-56	-56	-72	1	-16	-16
σ	288	395	200	107	88	194

Obs. Foram excluídas para o cálculo da média e desvio padrão as estações excêntricas PTPR, FZIG e QUER.

Tabela 2 - Diferenças em microgal das soluções fornecidas pelos gravímetros na concepção de ajustamento com determinação de fator de escala para correção da tabela original de calibração dos gravímetros via ocupação de duas estações absolutas fora da rede ajustada, aplicando ponderação obtida via a variância das observações múltiplas com cada um dos gravímetros sobre os micro circuitos.

Estação	G114 e G143	G114 e G372	G114 e SCIN.	G143 e G372	G143 e SCIN.	G372 e SCIN.
SMSU	121	137	37	16	-84	-100
BITU	82	103	-10	21	-92	-113
CLEV	91	59	5	-32	-86	-54
FBEL	117	45	-27	-72	-144	-72
TOLE	77	2	-60	-75	-137	-62
GUAI	57	9	-129	-48	-186	-138
GOIO	11	6	-43	-5	-54	-49
LARS	-15	-15	-21	0	-6	-6
GUAR	11	28	22	17	11	-6
PTGR	-10	23	4	33	14	-19
JAGU	55	38	103	-17	48	65
JOTA	-134	-95	-55	39	79	40
ORTI	-54	-61	21	-7	75	82
LOND	-5	-45	123	-40	128	168
MARI	-216	-200	-99	16	117	101
IRET	-129	-149	-147	-20	-18	2
PARN	-276	-305	-242	-29	34	63
PTPR	56	-17	-161	-73	-217	-144
FZIG	33	-52	-151	-85	-184	-99
QUER	-269	-270	-248	-1	21	22
Med.	-13	-25	-30	-12	-18	-6
σ	281	313	197	32	83	115

Obs. Foram excluídas para o cálculo da média e desvio padrão as estações excêntricas PTPR, FZIG e QUER.

Nas tabelas a seguir, são apresentados os valores médios da gravidade em cada uma das estações, obtidas com o par de gravímetros que apresentaram a melhor coerência ou seja a menor discrepância relativa nos valores da gravidade em cada uma estação da rede (G 143 e G372): Tabela 3 com as soluções fornecidas pelos gravímetros na concepção de ajustamento com introdução de circuito contendo duas estações absolutas (condição) e com tabela original de calibração dos gravímetros, aplicando ponderação obtida via o tempo de realização dos micro circuitos; Tabela 4 com os valores médios de g obtidos , na concepção de ajustamento com determinação de fator de escala para correção da tabela original de calibração dos gravímetros via ocupação independente das estações absolutas da RENEGA de Curitiba e Valinhos. No ajustamento da rede foi aplicada ponderação obtida via a variância das observações múltiplas com cada um dos gravímetros sobre os micro circuitos.

Tabela 3 – Valores médios de g com o respectivo desvio padrão

Estação	g (miligal)	σ (microgal)
São Mateus do Sul	978777,425	76
Bituruna	978779,387	58
Clevelândia	978785,892	41
Francisco Beltrão	978807,813	38
Toledo	978798,276	41
Guaíra	978800,512	0
Goio-erê	978744,624	0
Laranjeiras do Sul	978704,796	15
Guarapuava	978679,249	0
Ponta Grossa	978718,630	0
Jaguariaíva	978652,239	64
Joaquim Távora	978670,332	0
Ortigueira	978678,853	0
Londrina	978636,922	54
Maringá	978666,923	0
Iretama	978715,317	22
Paranavaí	978677,960	27
Pontal do Paraná	978971,114	15
Foz do Iguaçu	978886,474	27
Querência do Norte	978699,237	22

Tabela 4 – Valores médios de g com o respectivo desvio padrão

Estação	g (miligal)	σ (microgal)
São Mateus do Sul	978777,436	0
Bituruna	978779,389	15
Clevelândia	978785,892	31
Francisco Beltrão	978807,829	51
Toledo	978798,263	56
Guaíra	978800,494	34
Goio-erê	978744,588	22
Laranjeiras do Sul	978704,727	0
Guarapuava	978679,203	15
Ponta Grossa	978718,581	31
Jaguariaíva	978652,128	22
Joaquim Távora	978670,246	34
Ortigueira	978678,806	0
Londrina	978636,839	27
Maringá	978666,860	15
Iretama	978715,276	15
Paranavaí	978677,898	27
Pontal do Paraná	978971,217	46
Foz do Iguaçu	978886,504	60
Querência do Norte	978699,186	15

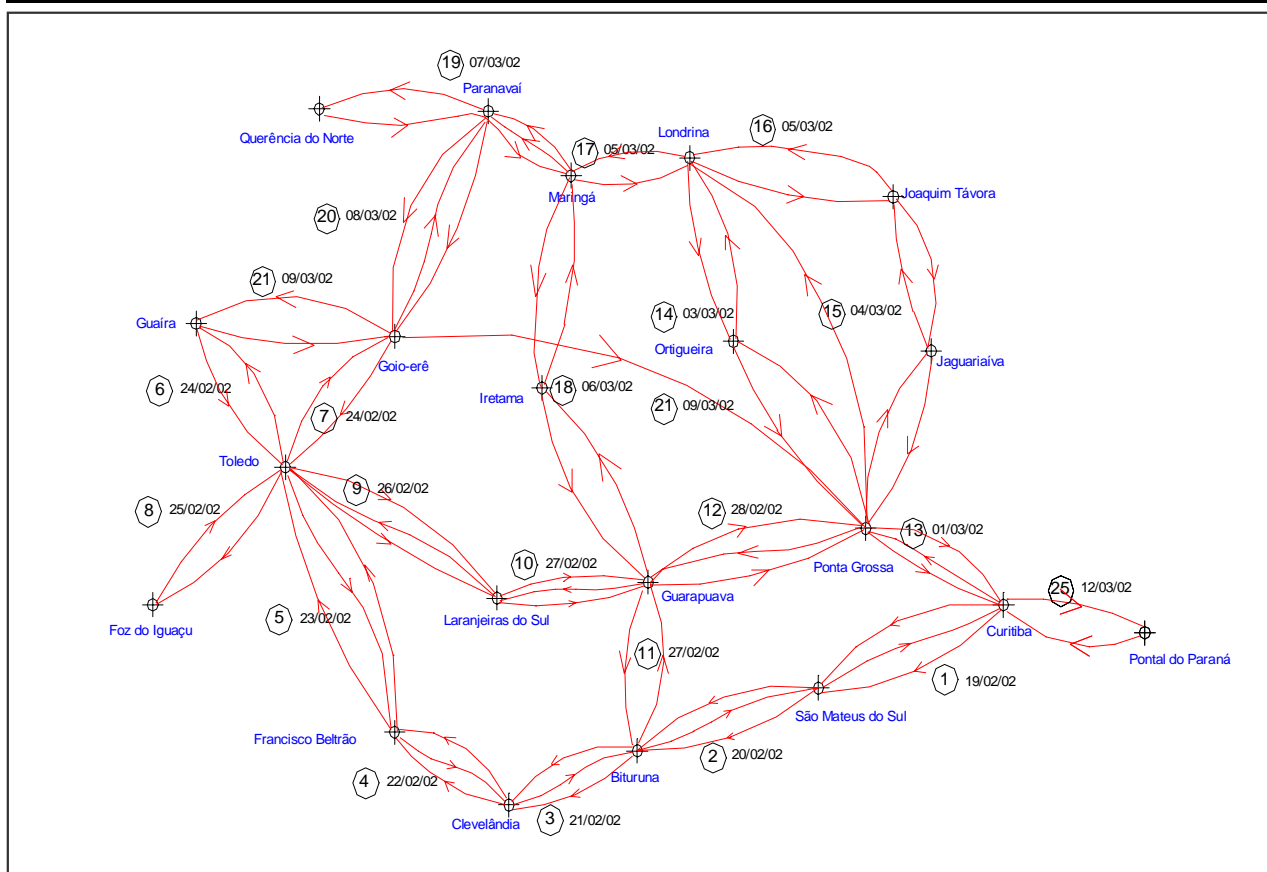


Figura 1: Distribuição dos circuitos gravimétricos implantados para a realização da rede gravimétrica científica do Estado do Paraná

CONCLUSÕES

A partir dos procedimentos estabelecidos, metodologias inovadoras adotadas para os levantamentos e processamento, e em vista dos resultados preliminares obtidos a partir das observações de campanha gravimétrica no Estado do Paraná, é possível concluir:

- Os resultados oriundos da solução apresentada nas tabelas 2 e 4, para os gravímetros LaCoste & Romberg G143 e G372, relacionadas com o processamento considerando a correção preliminar da tabela de conversão dos gravímetros, via aplicação de um fator de escala e ponderação pelo inverso da variância das observações múltiplas com cada um dos gravímetros sobre cada um dos micro circuitos apresentou como média das diferenças em todas as estações -12 microgal, com desvio padrão desta diferença média igual a 32 microgal e desvio padrão médio dos valores de gravidade para toda a rede igual a 23 microgal;
- A implantação de uma rede científica em região determinada, com qualidade superior à da IGSN71, é possível, se disponíveis estações absolutas na região, as quais possam ser acessadas em períodos menores que 12h e cujos valores da gravidade possuam

diferenças na ordem dos valores extremos dos pontos a serem implantados, tal que seja possível gerar um fator de escala para os instrumentos na época dos levantamentos;

- A injeção de condição adicional no ajustamento via circuitos envolvendo as estações absolutas, não gera resultados tão satisfatórios, quanto os obtidos com a utilização das estações absolutas para gerar novos fatores de calibração para os gravímetros. Ou seja, procedimentos de calibração dos gravímetros de forma simultânea com o ajustamento da rede, implica em solução mais instável, pois não se propaga da mesma forma para toda a rede;
- A solução adotada como a melhor, pode ainda ser melhorada, se efetivado um processamento global (todos os gravímetros simultaneamente) da rede, considerando a correção das tabelas de conversão de cada equipamento e ponderação via a variância de todas as observações sobre um mesmo micro circuito, usando critérios estatísticos de rejeição das observações afastadas da mediana (e.g. observações com afastamento de 3σ ou mais).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq/Fundação Araucária Processo 520885/99-6 pelo apoio financeiro e bolsas concedidas, ao IBGE pelo empréstimo de dois gravímetros LaCoste & Romberg (G114 e G143), ao Prof. Francisco Ferreira responsável pelo LPGa (Laboratório de Pesquisas e Geofísica Aplicada) pelo empréstimo do gravímetro Scintrex modelo CG3M e à Secretaria Estadual do Meio Ambiente e Instituto Ambiental do Paraná pelo apoio aos trabalhos de campo.

REFERÊNCIAS

DIAS, F. J. S. S.; ESCOBAR, I. P., 2001. **A model for Adjustment of Differential Gravity Measurements With Simultaneous Gravimeter Calibration.** Journal of Geodesy, n° 75, 151 – 156.

FAGGION, P. L.; CORREIA, S. R. C.; GEMAEL, C.; SIMÕES, K.; SILVA JUNIOR, J. S.; SANTOS JUNIOR, G., 2002. **Controle de Função de Transferência de Gravímetros a Mola: Metodologia e Resultados Obtidos na U.F.P.R..** Submetido: SBG - 25 Anos do Curso de Engenharia Cartográfica da UNESP-PP.

FALLER, J.F., GUO, Y.G., GSCHWIND, J., NIEBAUER, T.M., RINKER, R.L., XUE, J., 1983. **The JILA portable absolute gravity apparatus.** Bur. Grav. Int., Bull. D'Inf., n° 53, 87-97.

FREITAS, S. R. C. **Marés Gravimétricas: Implicações para a Placa Sul Americana.** Tese de doutorado. IAG/USP, 1993. 264p.

GEMAEL, Camil. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas.** Curitiba: Editora da UFPR, 1994. 319p.

GEMAEL, C., 1999. **Introdução à Geodésia Física.** Editora da UFPR, Curitiba, 302pp..

GEMAEL, C.; LEITE, O H.S.; ROSIER, F. A.; TORGE, W.; RÖDER, R. H. & SCHNÜLL, M., 1990. **Large-scale absolute gravity control in Brazil.** In: RUMMEL R., HIPKIN R.G.(eds.): IAG Symp. N°103, Edimburg, Scotland, IAG Symp. Proceed., 49-55, Springer, New York etc.

GEMAEL, C.; DE FREITAS, S. R. C.; FAGGION, P.L.; SILVA JR., J. S., 2002. **Rede Gravimétrica Científica para o Estado do Paraná.** Submetido: SBG - 25 Anos do Curso de Engenharia Cartográfica da UNESP-PP.

JOUSSET, P.; RUYMBEKE, M.; BONVALOT, S.; DIAMENT, M., 1995. **Performance of two Scintrex CG3M Gravity Meters at the International Absolute Intercomparison Center, Sèvres, France.** Institut de Physique du Globe. Research Report 24p.

KAUFMANN, R. D., 1998. **Gravity Meter Comparison and Circular Error.** Journal of Environment and Engineering Geophysics. 2(3): 165-171.

TORGE, W. & TIMMEN, L. & RÖDER, R. H. & SCHNÜLL, M., 1994. **The IFE Absolute Gravity Program “South America” 1988 –1991.** 44pp.