

1 INTRODUÇÃO

A gravimetria tem se constituído em uma das principais áreas de interface entre a Geodésia e outras ciências, tais como Geologia, Geofísica, Oceanografia e os diversos campos de atividades aplicadas, onde é fundamental o conhecimento do campo de gravidade. A observação gravimétrica nos continentes, associada a redes mundiais, é a injunção mais importante para o melhor conhecimento do geopotencial. Esta melhoria é fundamental para as técnicas de posicionamento global preciso, devido as suas implicações diretas para a Dinâmica Orbital e correta orientação de referenciais globais, entre outros aspectos. Para tal, é necessário o conhecimento da gravidade com adequada distribuição global ou geográfica de estações. Enquanto nas regiões oceânicas este problema foi em grande parte resolvido satisfatoriamente pelas técnicas espaciais de altimetria e gravimetria por satélites, nas regiões continentais ele permanece condicionado à existência de redes gravimétricas de alta precisão.

1.1 HISTÓRICO DAS REDES GRAVIMÉTRICAS

1.1.1 Redes Mundiais

Os levantamentos gravimétricos relativos clássicos realizados em diferentes partes do mundo só têm significado geodésico se forem compatíveis, ou seja, se estiverem referenciados ao mesmo datum. Com base nesta idéia, visa-se um sistema de referência mundial e homogêneo para a gravidade, que padronize as medidas gravimétricas. O primeiro sistema de referência para a gravidade internacionalmente aceito, é conhecido como “*Vienna Gravity System*”. Este, com precisão relativa em torno de 10mGal, foi adotado em 1990.

O Sistema Potsdam, cujo datum era a estação pendular da Pendelsaal no observatório de Potsdam, introduzido logo depois, foi internacionalmente aceito em 1909. Este datum foi definido apenas por uma determinação gravimétrica absoluta em um ponto. Os valores da gravidade neste sistema foram determinados pelo ajuste de uma rede de diferenças absolutas, medidas com pêndulos, e referenciadas a este ponto. A precisão relativa deste sistema foi estimada em 3mGal, e corrigiu o sistema de Viena em -16 mGal. Décadas depois, objetivando avaliar o datum

gravimétrico de Potsdam, realizaram-se determinações absolutas com certa distribuição global e concluiu-se que havia um erro de 12 a 16 mGal neste sistema.

No fim da década de 40, foram publicados dois ajustamentos que demonstravam precisão e distribuição insuficientes, levando G. P. Woolard a empreender seu trabalho pioneiro promovendo o uso geodésico de novos instrumentos (gravímetros Worden e LaCoste&Romberg), que levaram a novas e mais precisas medidas relativas da gravidade em todo o mundo. Assim, depois da instituição de um grupo especial de estudos em 1954, para organizar as atividades de gravimetria que vinham sendo desenvolvidas, foram escolhidos 34 pontos distribuídos pelo globo que formaram a FOWGN (First Order World Gravity Net). Foi então desenvolvida a interligação desses pontos, durante quase uma década de observações, envolvendo medidas absolutas, pendulares e relativas com a cooperação de muitos países. Após o ajustamento, chegou-se à “*The International Gravity Standardization Net – 1971*” (IGSN-71), aprovada na XV Assembléia Geral da IUGG em Moscou em agosto de 1971, e adotado como o padrão internacional para a gravidade, substituindo o Sistema Potsdam. A escala da IGSN-71 foi determinada pelo efeito combinado de 10 medidas absolutas utilizando gravímetros e aproximadamente 1200 medidas absolutas pendulares, enquanto que a rigidez relativa da rede foi provida por aproximadamente 24000 medidas gravimétricas relativas com gravímetros. Na ocasião, foi detectado um desvio sistemático da antiga rede com a nova da ordem de 14 μ Gal, demonstrando a necessidade do estabelecimento de controles absolutos distribuídos pelo mundo.

No Brasil, existem 20 localidades que abrigam estações fundamentais da IGSN-71, a partir das quais foi estabelecida a Rede Gravimétrica Nacional.

1.1.2 Redes Nacionais

A Universidade Federal do Paraná, de forma pioneira, através de seu Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas, posteriormente com a participação do Observatório Nacional (ON), da Universidade de São Paulo e mais recentemente o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), realizaram trabalhos que conduziram ao estabelecimento da Rede Gravimétrica Nacional vinculada às estações fundamentais da IGSN-71. Em tais trabalhos, que se caracterizaram por

elevada precisão para a época de realização, a UFPR utilizou um conjunto de gravímetros LaCoste & Romberg sobre linhas medidas duplamente (em ida e volta) em intervalos de tempo não superiores a 36 horas.

Na época os equipamentos disponíveis para determinações absolutas, não alcançavam precisões melhores que 50 μGal . Já na década de 80 (FALLER, 1983), com o desenvolvimento de novos equipamentos para este fim, foi possível chegar à ordem de 10 μGal , permitindo o estabelecimento de estações gravimétricas absolutas de alta precisão, com distribuição adequada, de modo a formar apoio às redes fundamentais, servindo para controle de estações já existentes, implantadas com diversas metodologias, de diferentes propósitos, entre eles, servir de base para calibração periódica de gravímetros.

Com este intuito, a Rede Nacional de Estações Gravimétricas Absolutas – RENEGA (GEMAEL et al., 1990), foi estabelecida no Brasil pela Universidade Federal do Paraná, com a colaboração do Institut für Erdmessung, da Universidade de Hannover, proprietária do gravímetro absoluto JILAG-3, usado na implementação da rede. Com este equipamento foram implantadas sete estações absolutas (Tabela 1.1). A precisão desta rede é melhor que 10 μGal (TORGE et al., p. 10, 1994).

TABELA 1.1 - ESTAÇÕES DA RENEGA

Estações	φ	λ	h (m)	gravidade (mGal)
Teresina (PI)	- 5 ⁰ 03' 36"	- 42 ⁰ 48' 00"	70	978016,343
Brasília (DF)	- 15 ⁰ 39' 36"	- 47 ⁰ 54' 00"	1100	978048,798
Viçosa (RJ)	- 20 ⁰ 45' 36"	- 42 ⁰ 49' 48"	653	978460,230
Vassouras (MG)	- 22 ⁰ 24' 00"	- 43 ⁰ 39' 00"	400	978637,581
Valinhos (SP)	- 23 ⁰ 00' 15"	- 46 ⁰ 57' 50"	850	978563,778
Curitiba (PR)	- 25 ⁰ 27' 15"	- 49 ⁰ 14' 16"	910	978760,387
Santa Maria (RS)	- 29 ⁰ 43' 12"	- 53 ⁰ 43' 12"	85	979261,636

FONTE: (GEMAEL et al., 2002)

Tem-se que 1 mGal equivale a 10^{-5} m/s^2 e que 1 μGal equivale a 10^{-8} m/s^2 .

1.2 COOPERAÇÃO E SUPORTE PARA A SUA REALIZAÇÃO

- a) Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, do Departamento de Geomática, Setor Ciências da Terra, da Universidade Federal do Paraná, mediante a linha de pesquisa em Geodésia, sub-área de Otimização de Levantamentos Geodésicos;
- b) orientação do Prof. Dr. Sílvio Rogério Correia de Freitas e co-orientação dos professores Dr. Camil Gemael e Dr. Pedro Luis Faggion;
- c) Laboratório de Instrumentação Geodésica (LAIG), da Universidade Federal do Paraná (UFPR), com sua infra-estrutura a disposição, incluindo um gravímetro tipo LaCoste&Romberg, modelo G-372;
- d) colaboração de Jair Silveira da Silva Junior e Kauem Simões, enquanto alunos do Curso de Graduação de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal do Paraná e bolsistas(CNPq) de iniciação científica com atuação no LAIG.
- e) Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), com empréstimo de dois gravímetros tipo LaCoste&Romberg, modelos G-114 e G-143;
- f) Ao projeto de pesquisa do Prof. Dr. Sílvio Rogério Correia de Freitas, o qual proporcionou o desenvolvimento deste trabalho;
- g) Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), com apoio financeiro a este trabalho;
- h) colaboração do Prof. Dr. Francisco Ferreira, responsável pelo Laboratório de Pesquisas em Geofísica Aplicada da Universidade Federal do Paraná, com o empréstimo de um gravímetro digital Scintrex, modelo CG3;
- i) biblioteca do Setor de Ciências da Terra, Tecnologia e Ciências Exatas da UFPR;

- j) o Serviço de Comutação Bibliográfica (COMUT) que providencia referências bibliográficas brasileiras e na *The british Library Document Supply Centre*.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Implantar uma rede gravimétrica científica no Estado do Paraná, aplicando critérios de otimização dos levantamentos e processamentos dos dados, integrando observações oriundos dos gravímetros LaCoste & Romberg – modelo G, e Scintrex – modelo CG3, com técnicas de redes neurais artificiais, e aplicando os critérios para análise de qualidade de uma rede geodésica.

1.3.2 Objetivos Específicos

- a) apresentar a metodologia de levantamento para a implantação de uma rede gravimétrica ;
- b) analisar os aspectos relacionados à calibração dos gravímetros quando se consideram duas estações absolutas, como parte integrante da rede, e se utiliza às tabelas mais recentes de calibração para cálculo dos desníveis gravimétricos;
- c) analisar os aspectos relacionados à calibração dos gravímetros quando se consideram duas estações absolutas para determinar um fator de escala para os gravímetros, gerando tabelas de calibração corrigidas na época do levantamento para cálculo dos desníveis gravimétricos;
- d) apresentar estratégias de ajustamento para uma rede gravimétrica, com discussões em torno da matriz dos pesos e de forma de entrada das observações, considerando observação média e observação independente;

- e) aplicar estratégias para tratamento das observações, considerando aspectos de otimização em ajustamento: critérios de precisão e confiabilidade, aplicando a decomposição espectral da matriz variância-covariância dos parâmetros ajustados, o conceito de número de redundância, confiabilidade interna e confiabilidade externa;
- f) integrar dados gravimétricos utilizando, como critério, uma rede neural artificial: discussão Scintrex modelo CG3 e LaCoste & Romberg modelo G;

1.4 CONTRIBUIÇÃO E ESTRUTURAÇÃO DA PESQUISA

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. Isso vem ocorrendo na América do Sul, especialmente no Equador, Paraguai e Chile. Deste modo este tema é retomado com destaque no continente americano.

O gravímetro de mola convencional, modelo G, pode interpolar valores de gravidade com precisão de 10 a 20 μGal (LACOSTE & ROMBERG, 2003). 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 μGal (FAGGION et al. 2002). Cabe ressaltar que a forma de levantamento gravimétrico relativo com gravímetros de mola é limitada em precisão principalmente por causa da mudança da função de transferência do gravímetro. Esta variação, deve-se em grande parte à deriva instrumental, a qual é conseqüência 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, podem ser modelados satisfatoriamente somente para intervalos pequenos de tempo.

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 isso, no mínimo duas estações absolutas devem ser usadas como integrante da rede que está sendo levantada (FAGGION et al. 2002).

Com base nestes aspectos e devido à necessidade de se implantar uma rede gravimétrica precisa, foi proposta a realização da Rede Gravimétrica Científica do Estado do Paraná, cujo objetivo principal é constituir uma rede de referência gravimétrica com precisão superior às demais redes relativas brasileiras, com confiabilidade satisfatória.

Inicialmente, os dados foram tratados de forma tradicional. Foram obtidas soluções ajustadas para cada um dos gravímetros envolvidos, de forma individual e soluções globais, combinando os desníveis gravimétricos medidos e, obtendo desníveis gravimétricos médios (FREITAS et al., 2002(a)) e (FREITAS et al., 2002(b)). No prosseguimento do estudo, outras soluções foram surgindo, principalmente com a utilização de diversas estratégias de entrada das observações no ajustamento, combinadas com as concepções de matriz dos pesos utilizadas. Destaca-se que a matriz dos pesos foi outro ponto importante de discussão.

Devido ao grande número de soluções obtidas para a rede, foram inevitáveis os questionamentos: quais são as soluções mais precisas? Que critérios utilizar para diferenciar as soluções quanto à precisão? Dentre as soluções mais precisas, qual a mais confiável? Que critério utilizar para mensurar a confiabilidade das soluções?

Resultados obtidos até então, mostram que é possível obter respostas para estes questionamentos. Para tanto, na implantação de uma rede gravimétrica, não se pode analisar a qualidade considerando apenas a precisão obtida da diagonal principal da matriz variância-covariância dos parâmetros ajustados. É imprescindível à utilização de critérios adicionais. Neste trabalho, sugere-se a integração dos critérios de precisão com o critério de confiabilidade para redes geodésicas para que se possa tomar a decisão por uma solução ótima.

Outro desafio diz respeito à integração de dados oriundos do gravímetro Scintrex e dos LaCoste & Romberg. Neste trabalho, propõe-se uma integração, utilizando rede neural artificial, mais especificamente a arquitetura de uma rede neural artificial probabilística.

A pesquisa está estruturada em 4 seções, além da introdutória.

Na segunda seção, são apresentados os conceitos fundamentais para análise de redes geodésicas. São expostos: uma noção de pré-análise, uma síntese do ajustamento de observações pelo método dos mínimos quadrados na forma paramétrica, os critérios para análise de qualidade de redes geodésicas no que diz respeito à precisão e confiabilidade. Na confiabilidade, estão reunidos os conceitos de confiabilidade interna e confiabilidade externa. Ainda nesta seção, é exposto o conceito de inversa generalizada, bem como conceitos básicos sobre rede neural artificial. A terceira seção, trata do projeto, suas características, metodologia de levantamento das observações e cálculo dos desníveis gravimétricos. A quarta seção, trata das estratégias aplicadas do ajustamento da rede gravimétrica, com análise de precisão e confiabilidade das soluções obtidas. Nas soluções obtidas, aplicaram-se o teste para igualdade de valores próprios, critérios de precisão e o teste global. Este último com a finalidade de detectar erros grosseiros. Além disso, para as respectivas soluções foram calculados: as redundâncias parciais; a estimativa do erro mínimo que é sensível ao teste *data snooping*; a estatística que define o teste *data snooping* com objetivo de localizar possíveis erros grosseiros nas observações; a estimativa de possíveis erros grosseiros não detectados nas observações e a influência de tais erros nos parâmetros ajustados. Na quinta seção, conclui-se o trabalho analisando as soluções obtidas para a rede gravimétrica, tomando a decisão de qual dessas soluções preliminares melhor concebe a rede gravimétrica considerando os critérios de precisão e confiabilidade expostos neste trabalho. Nesta seção, os valores da gravidade referente às estações pertencentes à rede serão devidamente informados ao leitor interessado, bem como as respectivas precisões obtidas e medida de confiabilidade externa.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 NOÇÕES DE PRÉ-ANÁLISE DE REDES GEODÉSICAS

Uma rede geodésica é constituída por um conjunto de pontos materializados no terreno, posicionados num sistema de referência geodésico. É realizada por meio das medições: de ângulos, direções, distâncias, desníveis altimétricos ou gravimétricos; e dados fornecidos por técnicas espaciais, tais como o GPS (*Global Positioning System*). O projeto de uma rede tem sua importância vinculada à precisão das posições obtidas mediante medições realizadas.

A partir dos valores observados realiza-se o cálculo das posições, através do ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados. Com a rede estabelecida, realiza-se a análise de qualidade, com a qual, podem ser encontradas falhas ou fragilidades na rede. Com a detecção de falhas, surgem os questionamentos a respeito do trabalho realizado: como essas falhas podem ser removidas? Deve-se efetuar um novo levantamento de campo? O plano de observações foi adequado? A instrumentação utilizada foi coerente? Quais observações cooperam para tais falhas? A precisão final é aceitável?

Melhorar o conhecimento da rede na fase de planejamento e minimizar tais falhas antes de qualquer campanha de medição, é parte da otimização do projeto de redes geodésicas, que fornece as informações a respeito do trabalho a ser realizado, de tal forma que seja possível projetar e aprimorar a rede. A otimização de projeto de redes geodésicas também é denominada pré-análise, uma vez que é realizada sem que se efetue qualquer operação de medição, nem o conseqüente ajustamento (OLIVEIRA, 2003).

Em vista da complexidade de abordagem, o problema é dividido em quatro classes (KALTENBACH, 1992, p. 40):

- a) projeto de ordem zero, que trata da seleção de um sistema de referência;
- b) projeto de primeira ordem, que trata da obtenção da melhor configuração para a rede;
- c) projeto de segunda ordem, que trata da escolha dos pesos das observações;

- d) projeto de terceira ordem, que trata do melhoramento de uma rede já existente por meio da introdução de novos pontos ou de novas observações.

O planejamento otimizado de uma rede geodésica é compreendido em termos gerais como o planejamento da configuração e do plano de observações, os quais devem satisfazer um conjunto de critérios. As técnicas de otimização servem para ajudar a tomar decisões como, por exemplo, instrumentos que podem ser selecionados dentre os modelos disponíveis, onde eles podem ser posicionados e como a rede pode ser concebida como o intuito de estimar os parâmetros e ainda apresentar a qualidade desejada.

A otimização de pesos é importante para o alcance da maior precisão possível para redes geodésicas. Uma possibilidade de se obter pesos otimizados, é o uso dos valores próprios associados à matriz dos cofatores das variâncias-covariâncias dos parâmetros ajustados, em termos de componentes principais, os quais possuem informações sobre a qualidade da rede. A idéia é estabelecer valores próprios que conduzam à matriz variância-covariância para apresentação de uma estrutura ideal e de forma que possua os valores próprios requeridos. Mais informações a respeito da otimização de pesos, pode ser obtido em OLIVEIRA (2003).

Outro ponto importante, que pode afetar a qualidade da rede geodésica, está relacionado com a redundância do sistema. O número de equações superabundantes r do sistema de equações normais é a diferença entre o número de observações n , que é igual ao número de equações de observação, e o número de parâmetros u , a serem estimados. Ao número $r = n - u$, dá-se o nome de redundância do sistema ou número de grau de liberdade. A contribuição de cada observação l_i à redundância r , recebe o nome de redundância parcial r_i . Se a rede não é corretamente projetada, o número de redundância parcial pode variar significativamente e não permanece próximo do valor médio, que seria o ideal. Se o número de redundância parcial não é o mesmo para todas as observações, significa que a controlabilidade não é a mesma para todas as observações. Os números de redundância refletem a consistência geométrica (rigidez) da rede. Na prática, é desejável ter uma rede com redundância relativamente grande e uniforme, de forma

que a habilidade para detectar erros grosseiros será a mesma em todas partes da rede. A redundância de um sistema será melhor discutido na subseção 2.3.2.2.

2.2 AJUSTAMENTO DE OBSERVAÇÕES PELO MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS NA FORMA PARAMÉTRICA

Um dos objetivos das medições geodésicas é a determinação de parâmetros como, por exemplo, as coordenadas de pontos sobre a superfície da Terra.

A aplicação do ajustamento pelo método dos mínimos quadrados na forma paramétrica possibilita calcular quantidades indiretamente, se estas se vinculam matematicamente a outras medidas as quais são obtidas de forma direta. Em geral, os parâmetros têm valores aproximados no início do ajustamento, e obtêm-se melhores estimativas ao final do procedimento. Estes parâmetros representam incógnitas funcionais e são tratados como variáveis aleatórias.

De acordo com GEMAEL (1994), o modelo funcional que representa a ligação entre as observações e as incógnitas ou parâmetros é:

$$l_a = f(x_a) \quad (2.1)$$

No modelo (2.1), o vetor dos valores observados ajustados l_a são expressos explicitamente como função do vetor dos parâmetros estimados x_a , constituindo a forma paramétrica do método dos mínimos quadrados.

Designando por v , o vetor dos resíduos que expressam a diferença dos valores ajustados l_a , com os valores observados l_b , reescreve-se a (2.1) como:

$$l_b + v = f(x_a). \quad (2.2)$$

A função do segundo membro em (2.2) normalmente é não-linear, podendo, neste caso, ser linearizada em algum ponto x_0 pelo desenvolvimento da função em série de Taylor. Desprezando os termos de ordem igual e superior a dois, a equação (2.2) é reescrita como:

$$l_b + v = f(x_0 + x) = f(x_0) + \left. \frac{\partial f}{\partial x_a} \right|_{x_a=x_0} x, \quad (2.3)$$

onde x_0 representa o vetor dos valores aproximados e x vetor das correções, que transformam os parâmetros aproximados em ajustados.

Designando a função dos parâmetros aproximados por

$$f(x_0) = l_0 \quad (2.4)$$

e por A, a matriz dos coeficientes, cujos elementos são as derivadas parciais,

$$A = \frac{\partial f}{\partial x_a} \Big|_{x_a=x_0}, \quad (2.5)$$

pode-se reescrever a (2.3) como:

$$v = Ax + l_0 - l_b. \quad (2.6)$$

Fazendo

$$l_0 - l_b = L, \quad (2.7)$$

a equação (2.6) torna-se

$$v = Ax + L. \quad (2.8)$$

Impondo a condição de mínimos quadrados ponderado,

$$v^t P v = \text{mínimo} \quad (2.9)$$

ao sistema (2.8), sendo P a matriz dos pesos, obtém-se

$$x = -(A^t P A)^{-1} A^t P L \quad (2.10)$$

como solução geral da equação (2.8).

Os parâmetros aproximados são convertidos em ajustados por

$$x_a = x_0 + x. \quad (2.11)$$

Após a aplicação do método paramétrico e a obtenção das estimativas destes parâmetros, resta calcular a matriz variância-covariância (MVC) destas estimativas a fim de analisar os resultados do ajustamento.

Obtém-se pela lei de propagação de covariâncias, a MVC dos valores observados ajustados, das estimativas dos parâmetros (parâmetros ajustados) e do vetor dos resíduos:

$$\Sigma_{La} = \sigma_0^2 A (A^t P A)^{-1} A^t, \quad (2.12)$$

$$\Sigma_{x_a} = \sigma_0^2 (A^t P A)^{-1} \text{ e } \Sigma_v = \sigma_0^2 [-A (A^t P A)^{-1} A^t + P^{-1}] \quad (2.13)$$

O valor estimado da variância da observação de peso $\hat{\sigma}_0^2$ é obtida após ajustamento pela expressão:

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{v^t P v}{n - u}. \quad (2.14)$$

2.3 CRITÉRIOS PARA ANÁLISE DE QUALIDADE DE REDES GEODÉSICAS

De acordo com MORAES (2001), a qualidade de um ajustamento de rede é caracterizada pelos critérios de precisão e de confiabilidade. Os critérios de precisão definem a região em que o valor verdadeiro ou valor de referência se situa com uma probabilidade pretendida. O conceito de confiabilidade vincula a detecção dos erros grosseiros que podem prejudicar os resultados das observações geodésicas. Tem-se ainda o critério de sensibilidade de rede geodésica, o qual possui como habilidade a detecção de variações com probabilidades dadas a partir de observações em duas épocas. Neste trabalho utilizar-se-á apenas os critérios de precisão e de confiabilidade.

2.3.1 Critérios de Precisão para Redes Geodésicas

As informações a respeito da precisão de uma rede geodésica estão contidas na MVC dos parâmetros ajustados. Qualquer matriz simétrica, o que é o caso da MVC dos parâmetros ajustados, pode ser decomposta em valores próprios λ e vetores próprios m . Esta decomposição é chamada decomposição espectral. A decomposição espectral da MVC dos parâmetros ajustados é representada por (OLIVEIRA, 2003):

$$\Sigma_{xa} = M\Lambda M^t \quad (2.15)$$

onde M é a matriz ortogonal cujas colunas são vetores próprios de Σ_{xa} e Λ é a matriz diagonal formada pelos valores próprios de Σ_{xa} .

Então,

$$\Sigma_{xa} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & \cdots & m_{1u} \\ m_{21} & m_{22} & \cdots & m_{2u} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ m_{u1} & m_{u2} & \cdots & m_{uu} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 & & & \\ & \lambda_2 & & \\ & & \ddots & \\ & & & \lambda_u \end{bmatrix} \begin{bmatrix} m_{11} & m_{21} & \vdots & m_{u1} \\ m_{12} & m_{22} & \vdots & m_{u2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ m_{1u} & m_{2u} & \vdots & m_{uu} \end{bmatrix}, \quad (2.16)$$

existindo entre os valores próprios a seguinte condição: $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \cdots \geq \lambda_u$.

A análise da MVC dos parâmetros ajustados divide-se em medida de precisão local e global. O critério de precisão local é dependente das submatrizes da MVC e

descreve a situação de precisão de um ponto ou de dois pontos. Uma representante de medida local é a elipse de erros. O critério de precisão global é dependente da MVC completa e apresenta o comportamento estocástico da rede geodésica como um todo. Como representante das medidas globais, pode-se citar: hiperelipsóide de erros.

A precisão de uma rede é tanto melhor quanto menor for o valor próprio máximo ($\lambda_{\text{máx}}$) obtido da MVC dos parâmetros ajustados.

Alguns dos mais importantes critérios de precisão e exigências para a rede geodésica são (DUPRAZ e NIEMEIER, 1981, p. 387; WELSH et al., 2000, p. 133):

$$\det(\Sigma_{xa}) = \lambda_1 \times \lambda_2 \times \dots \times \lambda_u = \text{mín} \quad (2.17)$$

é a medida denominada variância generalizada que deve ser mínima. Fornece o volume do elipsóide de confiança, o qual é proporcional ao produto dos seus semi-eixos;

$$\text{tr}(\Sigma_{xa}) = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_u = \text{mín} \quad (2.18)$$

é a medida denominada variância total. Significa que a soma dos quadrados dos semi-eixos deve ser mínima;

$$\lambda_{\text{máx}} = \text{mín} \quad (2.19)$$

significa que o quadrado do semi-eixo maior deve ser mínimo, indicando que a precisão de uma rede será tanto melhor quanto menor for o valor próprio máximo da MVC do vetor dos parâmetros ajustados;

$$\frac{\lambda_{\text{máx}}}{\lambda_{\text{mín}}} = 1 \quad (2.20)$$

é conhecida como a condição de isotropia, ou seja, a medida de precisão do ponto é a mesma em todas as direções;

$$\lambda_{\text{máx}} - \lambda_{\text{mín}} = \text{mín} \quad (2.21)$$

é a condição de homogeneidade, ou seja, as elipses de erros se degeneram em uma circunferência

e

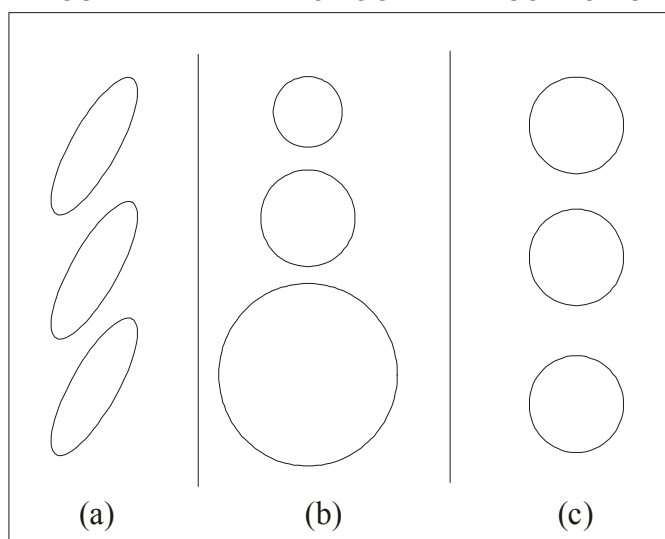
$$p_1 = m\sqrt{\lambda_{\text{máx}}} \quad (2.22)$$

onde m é o vetor próprio associado ao $\lambda_{\text{máx}}$, que fornece a direção e o comprimento do eixo principal do hiperelipsóide de erros em termos da primeira componente principal.

CROSSILLA e MARCHESI (1983, p. 308) escreve: dentre as possíveis configurações de uma rede geodésica, a melhor quanto a precisão é aquela que satisfaz as condições (2.17), (2.18), (2.19) e (2.20).

Uma rede que é somente homogênea (figura 2.1 (a)), as elipses (ou elipsóides) de erro locais são os mesmos em todos os pontos. Uma rede que é apenas isotrópica (figura 2.1 (b)), as elipses (ou elipsóides) de erro locais variam de ponto para ponto, embora sejam todas reduzidas a círculos (redes bi-dimensionais) ou esferas (redes tridimensionais). Assumindo-se uma rede geodésica bidimensional como sendo homogênea e isotrópica (figura 2.1 (c)), então as elipses de erro locais reduzem-se a círculos de mesmo raio (OLIVEIRA, 2003, p. 37).

FIGURA 2.1 – REDE HOMOGÊNEA E ISOTRÓPICA



FONTE: JÄGER (1988)

2.3.1.1 Teste para igualdade de valores próprios

É improvável que na análise da MVC das estimativas dos parâmetros ajustados se obtenha valores próprios associados à mesma, estritamente iguais. Pode-se usar um teste estatístico, no entanto, para verificar a igualdade desses valores próprios com um determinado nível de significância α . Então, a fim de

verificar, sob um nível de significância α , se existe um conjunto de valores próprios iguais entre si, utiliza-se do teste da igualdade de valores próprios. Este teste pode ser usado para qualquer subconjunto consecutivo de valores próprios.

Sendo dado um subconjunto de b valores próprios associados à MVC dos parâmetros ajustados

$$\lambda_{k+1} \leq \lambda_{k+2} \leq \dots \leq \lambda_{k+b}, \quad (2.23)$$

então, em JACKSON (1991, p. 86), tem-se o teste de hipóteses:

$$\begin{cases} \text{hipótese nula (H}_0\text{)}: \lambda_{k+1} = \lambda_{k+2} = \dots = \lambda_b. \\ \text{hipótese alternativa (H}_1\text{)}: \text{pelo menos um é diferente dos demais.} \end{cases} \quad (2.24)$$

A estatística de teste desta hipótese é

$$r \left[- \sum_{j=k+1}^{k+b} \ln(\lambda_j) + b \ln \left(\sum_{j=k+1}^{k+b} \frac{\lambda_j}{b} \right) \right] \sim \chi_t^2 \quad (2.25)$$

onde r denota o número de graus de liberdade associado à MVC dos parâmetros ajustados e a distribuição qui-quadrado (χ^2) tem

$$t = \frac{(b-1)(b+2)}{2} \quad (2.26)$$

graus de liberdade. Fixado o nível de significância α , se a estatística calculada for maior que a estatística de teste

$$\chi_t^2(1-\alpha), \quad (2.27)$$

dada pela equação (2.26), rejeita-se a hipótese nula.

Para o caso em que $b = 2$, caso bivariado, formula-se o teste de hipóteses:

$$\begin{cases} \text{hipótese nula (H}_0\text{)}: \lambda_1 = \lambda_2. \\ \text{hipótese alternativa (H}_1\text{)}: \lambda_1 \neq \lambda_2. \end{cases} \quad (2.28)$$

onde a estatística de teste é:

$$F^* = \frac{(n-2)(\lambda_1 - \lambda_2)}{8\lambda_1\lambda_2}. \quad (2.29)$$

A estatística F^* do teste tem distribuição F de Snedecor (GEMAEL, 1994, p. 33), com número de graus de liberdade no numerador igual a 2 e o número e graus de liberdade no denominador $(n - 2)$, ou seja, $F^* \sim F_{2,(n-2)}$ e n é o número de observações.

2.3.2 Critérios de Confiabilidade para Redes Geodésicas

A teoria da confiabilidade serve para a decisão se um erro é detectável e que influência tem o erro não detectável no ajustamento. Portanto, é parte de um conceito para avaliação da qualidade do resultado do ajustamento. BAARDA (1968) propôs o uso do teste global (seção 2.3.2.1) para detecção de erros grosseiros e do teste *data snooping* (seção 2.3.2.5) para localização destes erros. Os erros que não foram eliminados das observações ocasionam alteração nos parâmetros ajustados. Por isso, são necessárias medidas que representem o quanto são confiáveis as observações. A essas medidas dá-se o nome de medidas de confiabilidade. O conceito de confiabilidade, introduzido por BAARDA (1968), se subdivide em confiabilidade interna e confiabilidade externa. A primeira quantifica a menor porção do erro existente na observação, que pode ser localizado com uma dada probabilidade. A segunda quantifica a influência dos erros não detectáveis nos parâmetros ajustados.

2.3.2.1 Teste global

Com o objetivo de inspecionar o modelo estocástico empregado, calcula-se a estatística

$$\chi^2 = \frac{V^t P V}{\sigma_0^2} = \frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} r. \quad (2.30)$$

A estatística dada pela equação (2.30) segue distribuição qui-quadrado com r graus de liberdade. Isto é feito para a detecção de erros grosseiros. A variância de uma observação de peso unitário *a priori* σ_0^2 , ao nível de significância α , deve ser comparada estatisticamente com a variância de uma observação de peso unitário *a*

posteriori $\hat{\sigma}_0^2$ mediante as hipóteses: $\left\{ \begin{array}{l} \text{hipótese nula (H}_0\text{)}: \sigma_0^2 = \hat{\sigma}_0^2. \\ \text{hipótese alternativa (H}_1\text{)}: \sigma_0^2 \neq \hat{\sigma}_0^2. \end{array} \right.$

A rejeição da hipótese nula é indicativa da presença de erros grosseiros nas observações, ou que a matriz dos pesos está mal estimada, ou ainda, tem-se problema no modelo matemático utilizado.

2.3.2.2 Redundância Parcial

A contribuição de cada observação l_i à redundância r recebe o nome de redundância parcial r_i (FÖRSTNER, 1979, p.64). Estas são obtidas da diagonal principal da matriz R expressa pela relação:

$$R = \frac{1}{\hat{\sigma}_0^2} (\sum v) P, \quad (2.31)$$

onde $\hat{\sigma}_0^2$, $\sum v$ e P são respectivamente, a variância da unidade de peso *a posteriori*, a MVC dos resíduos e a matriz dos pesos.

As redundâncias parciais (r_i), calculadas a partir da equação (2.31), são benéficas ao controle das observações. Estas grandezas pertencem ao intervalo fechado $[0 ; 1]$ (LEICK, 1995, p. 162). De acordo com KAVOURAS(1982, p. 23), tem-se dois casos extremos para o número de redundância r_i . O primeiro caso é o ideal, no qual o número de redundância $r_i = 1$. Porém, isto acontece quando uma medida é feita de uma quantidade conhecida; por exemplo; uma distância medida entre dois pontos conhecidos. Neste caso serão revelados 100% de qualquer erro grosseiro no resíduo v_i , e não terá efeito na determinação dos parâmetros desconhecidos. O segundo caso é o do número de redundância $r_i = 0$. Neste caso, o suposto erro grosseiro presente na observação não afeta em nada os resíduos e então não pode ser descoberto e será transferido diretamente nos parâmetros desconhecidos calculados. Supõe-se duas observações, l_1 e l_2 , com redundâncias parciais $r_1 = 0,20$ e $r_2 = 0,65$. Portanto, um erro grosseiro presente na observação l_2 tem uma probabilidade maior de ser localizado que um erro grosseiro presente na l_1 , simplesmente porque 65% dos erros grosseiros ∇l_i é refletido no respectivo resíduo v_2 e em contra partida, 20% dos erros grosseiros ∇l_i é revelado no resíduo v_1 referente a observação l_1 .

No quadro 2.1 estão os intervalos recomendados para a orientação da decisão sobre a controlabilidade de observações mediante as redundâncias parciais.

QUADRO 2.1 – CONTROLE DE OBSERVAÇÕES POR MEIO DE REDUNDÂNCIAS PARCIAIS

Intervalo	Controlabilidade
$0 \leq r_i < 0,01$	Não Há
$0,01 \leq r_i < 0,1$	Ruim
$0,1 \leq r_i < 0,3$	Suficiente
$0,3 \leq r_i \leq 1$	Boa

FONTE: MÜRLE e BILL (1984, p. 48).

2.3.2.3 Medida de confiabilidade interna

Sob o conceito de confiabilidade interna de uma rede geodésica são reunidos todos os critérios que servem para a detecção de erros grosseiros (MORAES, 2001).

A confiabilidade interna quantifica a menor porção do erro existente na observação, que pode ser localizado com uma dada probabilidade, ou seja, indica o erro mínimo que se encontra em uma observação, que é sensível ao teste (FÖRSTNER, 1979; BENNING, 1983; GRIMM-PITZINGER e HANKE, 1988, KUANG, 1996).

Estima-se estatisticamente o valor mínimo do erro detectável na observação l_i , pela equação (MORAES, 2001, p. 199):

$$\nabla l_{0_i} = \left| \frac{\delta_0}{\sqrt{r_i}} \sigma_{l_i} \right|, \quad (i = 1, \dots, n) \quad (2.32)$$

em que: δ_0 , σ_{l_i} e r_i são respectivamente, o parâmetro de não-centralidade, o desvio-padrão da i -ésima observação não ajustada e a respectiva redundância parcial. O parâmetro de não-centralidade (δ_0) é obtido por meio da distribuição normal reduzida (KUANG, 1996, p. 138).

O parâmetro de não-centralidade representa a diferença entre as esperanças matemáticas obtidas na hipótese nula e na hipótese alternativa, ou seja, a distância mínima detectável entre os valores da hipótese nula e da hipótese alternativa. Os valores de δ_0 , para $r = 10$ (para 10 graus de liberdade) se encontram tabelados em KUANG (1996, p. 140), os quais são apresentados no quadro 2.2.

Os valores de δ_0 e α_0 , para $(1 - \beta_0) = 80\%$ e diferentes graus de liberdade r , podem ser obtidos no apêndice 3 de KAVOURAS (1982).

QUADRO 2.2 – PARÂMETRO DE NÃO-CENTRALIDADE EM FUNÇÃO DO PODER DE TESTE $(1 - \beta_0)$ E NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA (α_0)

Poder de Teste $(1 - \beta_0)$	Nível de Significância (α_0)			
	$\alpha_0 = 0,01\%$	$\alpha_0 = 0,10\%$	$\alpha_0 = 1\%$	$\alpha_0 = 5\%$
50%	3,72	3,29	2,58	1,96
70%	4,41	3,82	3,10	2,48
80%	4,73	4,13	3,42	2,80
90%	5,17	4,57	3,86	3,24
95%	5,54	4,94	4,22	3,61
99%	6,22	5,62	4,90	4,29
99,90%	6,98	6,38	5,67	5,05

FONTE: KUANG (1996, p. 140)

Pode-se observar pela equação (2.32) que ∇l_i depende (FÖRSTNER, 1979, p. 66; BENNING, 1983, p. 221):

- da precisão das observações, a qual é descrita pelo desvio - padrão σ_l ;
- da geometria da rede, caracterizada pela redundância parcial r_i ;
- do nível de significância α ;
- da qualidade ou poder de teste como, por exemplo, a probabilidade para detectar a observação com erro grosseiro;
- do parâmetro de não-centralidade.

Observe que na (2.32), o coeficiente $\frac{\delta_0}{\sqrt{r_i}}$ representa a sensibilidade do teste.

É desejável que se tenha valores pequenos de $\frac{\delta_0}{\sqrt{r_i}}$ em uma rede geodésica. Um

pequeno $\frac{\delta_0}{\sqrt{r_i}}$ implica em um grande número para r_i . Um grande valor de r_i , implica

que um erro grosseiro ∇l_i presente em uma observação l_i , será mais claramente refletido no correspondente resíduo v_i e, por isso, facilmente revelado no teste

estatístico utilizado para localizar erros grosseiros (seção 2.3.2.5). Em outras palavras, o teste torna-se mais sensível, e o número de erros grosseiros não detectáveis é reduzido para um mínimo.

De acordo com KAVOURAS (1982, p. 75), se a redundância do sistema é uniformemente distribuída na rede, todos os números de redundância parcial e os valores obtidos para a (2.32) são quase iguais. Em geral isto não ocorre. Diferenças grandes entre os r_i podem ser encontradas em diferentes partes da rede, especialmente no caso de diferentes tipos de observações. Por esta razão, em vez de calcular todos os valores da (2.32) para diferentes valores de r_i , uma medida de confiabilidade interna global pode ser utilizada. Utiliza-se uma redundância parcial média (\bar{r}_i), chamada também de relativa, para toda a rede, dada por

$$\bar{r}_i = \frac{\text{tr}(\mathbf{R})}{n} = \frac{r}{n} \quad (2.33)$$

para calcular a (2.32), resultando

$$\bar{\nabla}l_{0_i} = \left| \frac{\delta_0}{\sqrt{\bar{r}_i}} \sigma_{l_i} \right|. \quad (2.34)$$

KAVOURAS (1982, p. 94), mostra através de um exemplo que o erro grosseiro ∇l_i menor que ∇l_{0_i} não será localizado examinando os resíduos pelo teste *data snooping*. O mesmo pode ser dito para $\bar{\nabla}l_{0_i}$.

2.3.2.4 Medida de confiabilidade externa

A confiabilidade externa trata do efeito de possíveis erros grosseiros ∇l_i não detectados e não localizados, sobre os parâmetros incógnitos.

No ajustamento de observações pelo método dos mínimos quadrados na forma paramétrica, o vetor das correções x , que é a solução das equações normais no ajustamento de observações geodésicas, na presença de um erro grosseiro ∇l_i é expresso por (MORAES, 2001, p. 201):

$$\hat{x} = -N^{-1}A^tP(L - e_i\nabla l_i) = -N^{-1}A^tPL + N^{-1}A^tPe_i\nabla l_i = -x + \nabla x \quad (2.35)$$

onde

N é a matriz dos coeficientes das equações normais (A^tPA); A é a matriz das derivadas das equações de observação em relação às incógnitas; P é a matriz dos pesos das observações; L é o vetor diferença ($l_0 - l_b$), conforme equação (2.7); e_i é a i -ésima coluna da matriz identidade $n \times n$.

Conforme LEICK (1995, p.168) e KUANG (1996, p.125), uma estimativa para um erro grosseiro pode ser dada por:

$$\nabla_i = -\frac{v_i}{r_i}. \quad (2.36)$$

Portanto, o efeito do erro grosseiro não detectado e estimado por (2.36), sobre o vetor solução dos parâmetros ajustados é dado por:

$$\nabla x = N^{-1}A^T P e_i \nabla_i. \quad (2.37)$$

A expressão (2.37) às vezes, é chamada de confiabilidade externa local. O impacto do erro mínimo que pode ser detectável sobre os parâmetros, dado por (2.32), é:

$$\nabla x_{0_i} = N^{-1}A^T P e_i \nabla l_{0_i}. \quad (2.38)$$

De forma similar à confiabilidade interna, obtida pela (2.34), pode-se ter uma medida de confiabilidade externa global, dada por:

$$\bar{\nabla} x = \left(\delta_0 \cdot \sqrt{\frac{u}{r}} \right) \sigma_{u_i}, \quad (2.39)$$

em que u representa o número de parâmetros envolvidos no ajustamento.

Neste caso, o efeito do erro grosseiro ∇l_i não detectado nos parâmetros ajustados

, pode ser até $\delta_0 \sqrt{\frac{u}{r}}$ vezes a precisão obtida para os parâmetros ajustados σ_{u_i} . Aqui

é desejável que se tenha um valor pequeno para quociente $\frac{u}{r}$, ou seja, quanto maior

o valor de r melhor. KAVOURAS (1982, p. 81) explica que um critério usado com experiência prática, é que o valor obtido na (2.39) seja menor ou igual a 10, ou seja, é suficiente que:

$$\bar{\nabla} x \leq 10. \quad (2.40)$$

Isto significa que o intervalo máximo dado para a variação dos parâmetros pode ser de até 10 vezes a precisão dos parâmetros obtida no ajustamento.

2.3.2.5 Teste *data snooping*

O teste *data snooping* pode ser definido como a investigação em relação à observação na qual um erro grosseiro foi cometido durante a medição (MORAES, p. 78, 1998). O teste *data snooping* é usado freqüentemente para analisar dados obtidos após o ajustamento de uma rede geodésica. BAARDA (1968) propôs o teste *data snooping* para localização de erros grosseiros examinando os resíduos obtidos do ajustamento.

Para observações não correlacionadas, o teste *data snooping* é avaliado pela estatística (KUANG, 1996, p. 132)

$$n_i = \frac{v_i}{\sigma_{v_i}} \sim N(0,1), \quad (2.41)$$

onde v_i e σ_{v_i} são, respectivamente, o resíduo e o desvio padrão do resíduo referente a i -ésima observação.

LEICK(1995, p. 163) mostra que se pode representar σ_{v_i} como:

$$\sigma_{v_i} = \hat{\sigma}_0 \sqrt{q_i} = \hat{\sigma}_0 \sqrt{\frac{r_i}{p_i}} = \hat{\sigma}_0 \sqrt{\frac{r_i \sigma_i^2}{\sigma_0^2}} = \frac{\hat{\sigma}_0}{\sigma_0} \sigma_i \sqrt{r_i}. \quad (2.42)$$

Isto mostra que a estatística (2.41) é função do número de redundância parcial r_i .

Para um dado nível de significância α_0 , a estatística (2.40) é comparada com o valor crítico k a um nível de significância específico. Faz-se o seguinte teste de hipótese:

- { hipótese nula (H_0): nenhum erro grosseiro existe na observação.
- { hipótese alternativa (H_1): existe erro grosseiro na observação.

A hipótese nula é rejeitada se:

$$|n_i| > k, \quad (2.43)$$

ou seja, é localizado um erro grosseiro na i -ésima observação.

Para o teste *data snooping*, a suposição fundamental é que as observações contaminadas por erros grosseiros resultam em resíduos padronizados de magnitudes significativamente altas (MARQUES, 1994, p.1).

2.4 MATRIZ INVERSA GENERALIZADA

Em 1920, Moore-Penrose já chamava atenção para o caso geral de inversas de matrizes retangulares e de matrizes quadradas singulares. Hoje, tais inversas são denominadas inversas generalizadas. Existem infinitas inversas generalizadas de uma matriz retangular ou de uma matriz quadrada singular, mas somente uma satisfaz a unicidade, a chamada pseudo-inversa. Do ponto de vista geodésico, a pseudo-inversa é a mais importante por ser única.

Uma matriz, denotada pelo símbolo A^+ , é chamada de pseudo-inversa ou de inversa generalizada de Moore-Penrose de uma matriz A , se satisfaz as quatro condições seguintes:

$$AA^+A = A, \quad (2.44)$$

$$A^+AA^+ = A^+, \quad (2.45)$$

$$(AA^+)^t = AA^+, \quad (2.46)$$

$$(A^+A)^t = A^+A. \quad (2.47)$$

A pseudo-inversa ou inversa generalizada da matriz A existe para qualquer matriz e é única.

Propriedades da pseudo-inversa:

$$A^+ = A^{-1}, \text{ se } A \text{ é não singular}; \quad (2.48)$$

$$(A^+)^+ = A; \quad (2.49)$$

$$(A^t)^+ = (A^+)^t; \quad (2.50)$$

$$A^tAA^+ = A^+AA^t = A^t; \quad (2.51)$$

$$A^t(A^+)^tA^+ = A^+(A^+)^tA^t = A^+; \quad (2.52)$$

$$(A^tA)^+ = A^+(A^+)^t; \quad (2.53)$$

$$A^+ = (A^tA)^+A^t = A^t(AA^t)^+; \quad (2.54)$$

$$a^+ = (a^ta)^{-1}a^t, \text{ se } a \text{ é um vetor não nulo.} \quad (2.55)$$

A matriz A^+ é uma das inversas generalizadas da matriz A , é a que tem norma euclidiana mínima. Para uma matriz $C = [c_{ij}]_{n \times n}$, a norma euclidiana ou norma de Frobenius é definida como:

$$\|C\| = \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |c_{ij}|^2 \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (2.56)$$

Uma das aplicações da pseudo-inversa é a resolução de sistemas de equações lineares. Uma solução pelo método dos mínimos quadrados de um sistema de equações lineares $AX = B$ é o vetor com a menor norma euclidiana que minimiza $\|AX - B\|$. Esse vetor é:

$$X = A^+ B. \quad (2.57)$$

Quando a matriz A possui inversa ordinária (A é não singular), a equação (2.57) reduz-se a $X = A^{-1}B$, que é a única solução. Para sistemas possíveis e indeterminados, os quais admitem infinitas soluções, a equação (2.57) identifica a solução que tem a norma euclidiana menor. A equação (2.57) identifica, também, uma solução para sistemas impossíveis, a melhor solução em termos de mínimos quadrados. Neste caso têm-se infinitas soluções aproximadas, e a equação (2.57) identifica a solução de norma euclidiana mínima.

Existem vários métodos para o cálculo de inversas generalizadas. Alguns destes, bem como exemplos resolvidos, podem ser consultados em BRONSON (1993, p. 254) e GEMAEL (1994, p.250).

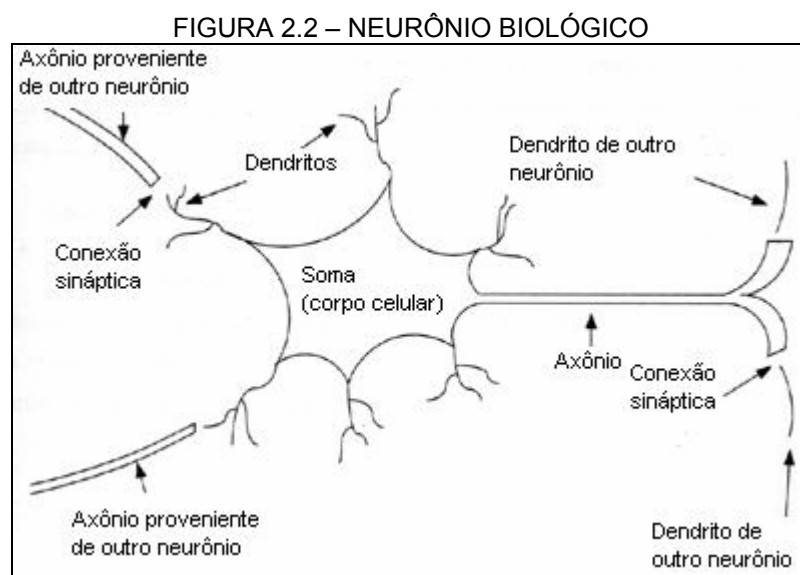
2.5 CONCEITOS BÁSICOS SOBRE REDES NEURAIAS

Um dos objetivos desse trabalho é a integração de observações Scintrex e LaCoste & Romberg. Objetiva-se inicialmente obter uma solução ótima para a rede gravimétrica com observações LaCoste & Romberg, e incorporar novas observações (projeto de terceira ordem). Podem-se utilizar vários critérios para avaliar se uma determinada observação pode ou não fazer parte de um rol de observações previamente estabelecido. Neste caso, visa-se incorporar observações Scintrex utilizando como ferramenta de classificação, uma rede neural artificial. Então, nesta seção faz-se uma introdução à técnica de redes neurais artificiais.

2.5.1 Neurônio Biológico

Conforme AZEVEDO et al. (2000), a construção de redes neurais artificiais tem inspiração nos neurônios biológicos e nos sistemas nervosos. Cabe ressaltar que atualmente, as redes neurais artificiais estão muito distantes das redes neurais naturais e tais semelhanças são mínimas.

Existem diversos tipos de neurônios biológicos, com diferentes funções. O tipo de neurônio biológico depende da sua localização e estrutura morfológica, mas em geral se constitui dos mesmos componentes básicos descritos na figura 2.2. O corpo do neurônio ou soma, constituído do núcleo e pericário, dá o suporte metabólico a toda célula; a fibra nervosa ou axônio, que é o prolongamento único e grande que aparece no soma, é responsável pela condução do impulso nervoso para o próximo neurônio; os dendritos que são prolongamentos menores em forma de ramificações que emergem do pericário e do final do axônio, são, na maioria das vezes, responsáveis pela comunicação entre os neurônios através das sinapses. A sinapse é a estrutura dos neurônios através da qual ocorrem os processos de comunicação entre eles, ou seja, onde ocorre a passagem do sinal neural através de processos eletroquímicos específicos. Os dendritos atuam como entradas, recebendo a informação que depois é processada no soma. O resultado é transmitido através de seu axônio para os dendritos de outros neurônios, formando uma rede neural.



FONTE: (FAUSETT, 1994, p.6)

2.5.2 Rede Neural Artificial

As redes neurais artificiais tiveram seu desenvolvimento por volta da década de 40 pelo neurofisiologista Warren McCulloch e pelo matemático Walter Pittes, que fizeram uma analogia entre células nervosas vivas e o processo eletrônico. Desde então, vários estudos foram feitos a respeito. Por volta da década de 70 houve um desinteresse dos pesquisadores sobre este assunto. Novamente, na década de 80, novas pesquisas foram surgindo e desde então, diversos modelos de redes neurais artificiais têm surgido com o objetivo de aplicação nas diversas áreas do conhecimento.

Pode-se conceituar redes neurais artificiais como sistemas computacionais de implementação em software, que imitam as habilidades do sistema nervoso biológico, usando para isso um grande número de neurônios artificiais interconectados (LOESCH; SARI, 1996, p. 5).

Na forma mais geral, uma rede neural é uma máquina que é projetada para modelar a maneira como o cérebro realiza uma tarefa particular ou função de interesse HAYKIN (2001, p. 27). Do ponto de vista de uma máquina adaptativa, uma rede neural é um processador paralelamente distribuído, constituído de unidades de processamento simples, que têm a propensão natural para armazenar conhecimento experimental e torná-lo disponível para o uso. Ela se assemelha ao cérebro em dois aspectos:

- a) o conhecimento é adquirido pela rede a partir de seu ambiente através de um processo de aprendizagem;
- b) forças de conexão entre neurônios, conhecidas como pesos sinápticos, são utilizados para armazenar o conhecimento adquirido.

O procedimento utilizado para realizar o processo de aprendizagem é chamado de algoritmo de aprendizagem, cuja função é modificar os pesos sinápticos da rede, de forma ordenada para alcançar um objetivo de projeto desejado. A modificação de pesos sinápticos é o método tradicional para o projeto de redes neurais.

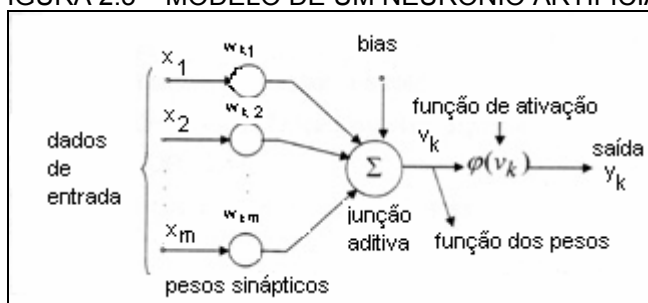
Duas capacidades de processamento de informação tornam possível para redes neurais resolver problemas complexos. Essas duas capacidades são: a sua

estrutura paralelamente distribuída e sua habilidade de aprender e, portanto, generalizar. A generalização se refere ao fato da rede neural produzir saídas adequadas para entradas que não estavam presentes durante o treinamento.

2.5.3 Modelo de um Neurônio Artificial

Um neurônio é uma unidade de processamento de informação que é fundamental para as operações de uma rede neural. A figura 2.3 mostra o modelo de um neurônio que forma a base para o projeto de redes neurais artificiais.

FIGURA 2.3 – MODELO DE UM NEURÔNIO ARTIFICIAL



FONTE: (HAYKIN, 2001, p.36)

A figura 2.3 identifica os seguintes elementos básicos em um modelo de neurônio artificial: (WANDRESEN, 2004, p. 22).

- elos de conexão (sinapses), cada um caracterizado por um peso. O sinal x_j na entrada da sinapse j , conectada ao neurônio k é multiplicado pelo peso sináptico w_{kj} . O primeiro índice subscrito (k) se refere ao neurônio k e o segundo (j) ao sinal de entrada relativo ao respectivo peso (w_{kj});
- uma somatória, v_k , caracterizada por uma combinação linear entre os sinais de entrada e os seus respectivos pesos;
- uma função de ativação, $\varphi(v_k)$, cuja finalidade é restringir a amplitude de saída (y_k) do neurônio;
- uma perturbação (bias), aplicada externamente, representada por b_k , tendo o efeito de aumentar ou diminuir a entrada líquida da função de ativação, dependendo de ser positiva ou negativa, respectivamente.

Portanto, pode-se expressar um neurônio k pelas equações:

$$u_k = \sum_{j=1}^m w_{kj} x_j, \quad (2.58)$$

$$v_k = u_k + b_k \quad (2.59)$$

e

$$y_k = \varphi(v_k). \quad (2.60)$$

Na equação (2.58), $x_1, x_2, x_3, \dots, x_m$ são os dados de entrada e $w_{k1}, w_{k2}, w_{k3}, \dots, w_{km}$ são os pesos sinápticos do neurônio k .

A função de ativação ou de transferência, representada na figura 2.3 por $\varphi(\cdot)$, define a saída do neurônio. Existem várias funções de transferências utilizadas nas redes neurais artificiais. Por exemplo, tem-se a linear, sinal, sigmóide, base radial, competitiva, entre outras (CRIOLLO, 2003, p. 31).

2.5.4 Rede Neural de Funções de Base Radial

No contexto de uma rede neural, as unidades ocultas fornecem um conjunto de funções que consistem uma base arbitrária para os padrões (vetores) de entrada, quando eles são expandidos sobre o espaço oculto. Estas funções são chamadas de funções de base radial (HAYKIN, 2001, p. 283).

Uma rede de funções de base radial, na sua forma mais simples, envolve três camadas com papéis totalmente diferentes. A primeira camada, a camada de entrada, é a conexão do modelo com o ambiente externo, à qual são apresentados os vetores de entrada x_m . A segunda camada (intermediária), é composta de k neurônios totalmente conectados aos vetores de entrada. Esta camada tem a tarefa de realizar uma transformação não-linear do espaço n -dimensional da entrada em outro espaço k -dimensional. Os neurônios dessa camada são um conjunto de funções de base radial, que constitui uma base arbitrária no espaço por ele formado. As funções de base radial produzem uma resposta diferente de zero somente quando o padrão de entrada está dentro de uma região pequena, localizada no espaço de entrada. Cada função requer um centro e um parâmetro escalar denominado raio, na qual calcula a distância entre o vetor de entrada e o centro da

função de base radial associada. A função de base radial, que é mais utilizada na camada oculta é a função de Gauss, na forma:

$$G(\mathbf{x}) = e^{\left(-\frac{1}{2\sigma^2}\|\mathbf{x}-\mathbf{c}\|^2\right)}, \quad (2.61)$$

onde \mathbf{c} representa o vetor centro da k -ésima função de base radial, e σ^2 é a variância associada a cada uma das funções. A última camada, a camada de saída, transforma o espaço vetorial interno em uma saída, através de um processo linear na qual realiza a soma ponderada das saídas das unidades radiais. A saída y_k da rede função de base radial é, portanto, a soma das saídas de cada Gaussiana, ponderadas pelos respectivos pesos sinápticos w_{km} .

3 REDE GRAVIMÉTRICA CIENTÍFICA DO ESTADO DO PARANÁ

3.1 PROJETO DA REDE GRAVIMÉTRICA

Uma discussão inicial envolveu os equipamentos a serem utilizados no levantamento. Há necessidade, respeitando a precisão que se deseja obter os resultados, definir quantos e quais gravímetros serão utilizados.

No planejamento de implantação de uma rede gravimétrica, é imprescindível a utilização das classes de projeto de redes geodésicas discutidos por KALTENBACH (1992, p. 40).

No projeto de ordem zero, a primeira preocupação foi definir quais estações gravimétricas serviriam como referência para esta rede. Precisa-se de no mínimo duas estações de referência para a área a ser levantada. Pelo menos uma dessas estações de referência, servirá como datum e se deve utilizar as duas simultaneamente para que se possa gerar um fator de escala para correção da tabela calibração dos gravímetros que serão envolvidos no levantamento. Neste projeto, foram utilizadas duas estações de referência pertencentes à Rede Nacional de Estações Gravimétricas Absolutas (RENEGA). Uma estação está localizada na cidade de Curitiba, nas dependências da Universidade Federal do Paraná, no LAIG, e outra na cidade de Valinhos no Estado de São Paulo.

Outro passo envolvido no planejamento da rede gravimétrica, e no conceito de projeto de primeira ordem, foi à discussão em torno da obtenção da melhor configuração que se podia realizar, considerando o tempo e o custo do projeto para implantação da rede. Buscou-se o maior número de circuitos gravimétricos que pudessem ser realizados, objetivando maior rigidez geométrica para a rede. Neste caso, também se discutiu quais estações seriam levantadas e a metodologia de levantamento. Procurou-se uma distribuição tão homogênea quanto possível para as estações a serem implantadas.

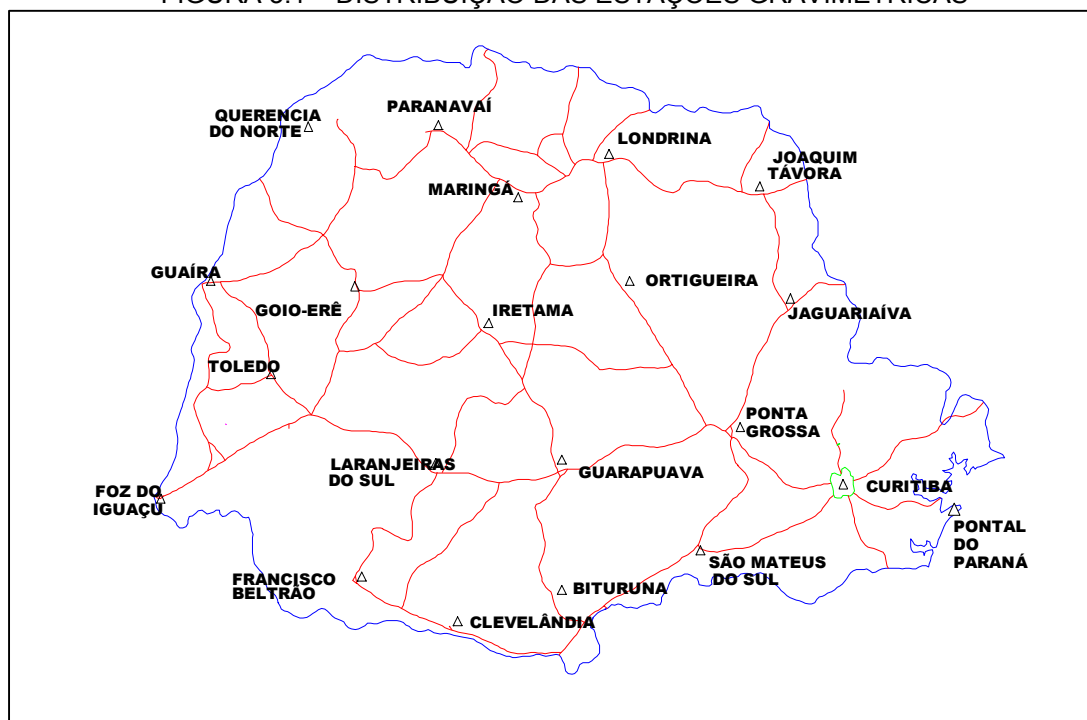
A próxima etapa do planejamento foi à discussão preliminar a respeito do processamento das observações que seriam coletadas. Neste caso, discutiu-se de que forma seriam tratados os dados. Quais métodos e técnicas seriam utilizados no ajustamento das observações, com discussões principalmente da ponderação das observações: projeto de segunda ordem. O projeto de terceira ordem será discutido

na subseção 4.4 a fim de avaliar a influência de observações oriundas do gravímetro digital Scintrex, modelo CG3, em uma rede previamente ajustada utilizando unicamente observações LaCoste & Romberg.

3.2 CARACTERÍSTICAS DA REDE

Os pontos ocupados na implantação da rede gravimétrica científica foram às estações da Rede GPS de Alta Precisão do Estado do Paraná, bem distribuídas no estado, conforme mostrado na figura 3.1. Todos os marcos dessa rede estão implantados em locais protegidos, o que diminui o risco de perda da sinalização do ponto. A exceção foi a não ocupação da estação localizada nas instalações da Companhia Paranaense de Energia Elétrica - COPEL – Curitiba, pois nesta cidade encontra-se a estação de gravidade absoluta implantada na UFPR.

FIGURA 3.1 – DISTRIBUIÇÃO DAS ESTAÇÕES GRAVIMÉTRICAS



FONTE: GEMAEI et al. (2002)

Tendo em vista a sensibilidade dos equipamentos utilizados na medição da rede, observou-se que os marcos de São Mateus do Sul, localizado nas dependências da refinaria de xisto da Petrobrás, Clevelândia, no Colégio Estadual

Agrícola Assis Brasil, Francisco Beltrão, nas dependências do aeroporto municipal Abdala, Guaíra, nas dependências da Guarda Municipal e Londrina, na Universidade Estadual próximo à rodovia PR-445, apresentaram alguma instabilidade, dificultando as leituras nos gravímetros analógicos LaCoste & Romberg. No gravímetro digital, percebeu-se um alto desvio padrão das observações. No entanto, a metodologia de observação garantiu resultados satisfatórios para todas as estações.

As estações de Foz do Iguaçu, localizada na barragem da Usina Hidrelétrica de Itaipu, estação considerada uma das mais estáveis, e Querência do Norte, no Centro de Produção Municipal, ficaram excêntricas à rede. A primeira, devido à dificuldade de ocupação do ponto em função das restrições impostas pela equipe de segurança da Usina, tal que a reocupação em múltiplos trajetos seria difícil. A segunda, pelas dificuldades de acesso em virtude das péssimas condições de tráfego das rodovias.

Em função da configuração dos marcos e para maior segurança dos equipamentos, na maioria dos casos, as observações foram realizadas sobre a sapata triangular, base de sustentação do pilar, impondo a necessidade da determinação da altura do pilar para as devidas reduções como mostra a figura 3.2.

FIGURA 3.2 - LEITURA EFETUADA NA BASE INFERIOR DO PILAR



Somente nas observações realizadas nas dependências da Universidade Estadual de Ponta Grossa, da Universidade Estadual de Maringá e do Centro Agropecuário Municipal, localizado na cidade de Laranjeiras do Sul, ocupou-se a parte superior do marco onde está colocado o sistema de centragem forçada (figura 3.3).

Na segunda fase da campanha realizou-se a ligação de uma estação da RENECA com o Centro de Estudos do Mar, localizado no município de Pontal do Paraná, litoral do Estado, tendo em vista a existência de uma estação GPS de alta precisão, porém não vinculada à rede estadual.

Com o objetivo de impor uma escala à rede foi ocupada a estação de Valinhos, Estado de São Paulo pertencente à RENECA, objetivando também a calibração dos gravímetros utilizados no levantamento.

FIGURA 3.3 – LEITURA EFETUADA NA BASE SUPERIOR DO PILAR



3.3 METODOLOGIA APLICADA NO ESTABELECIMENTO DA REDE

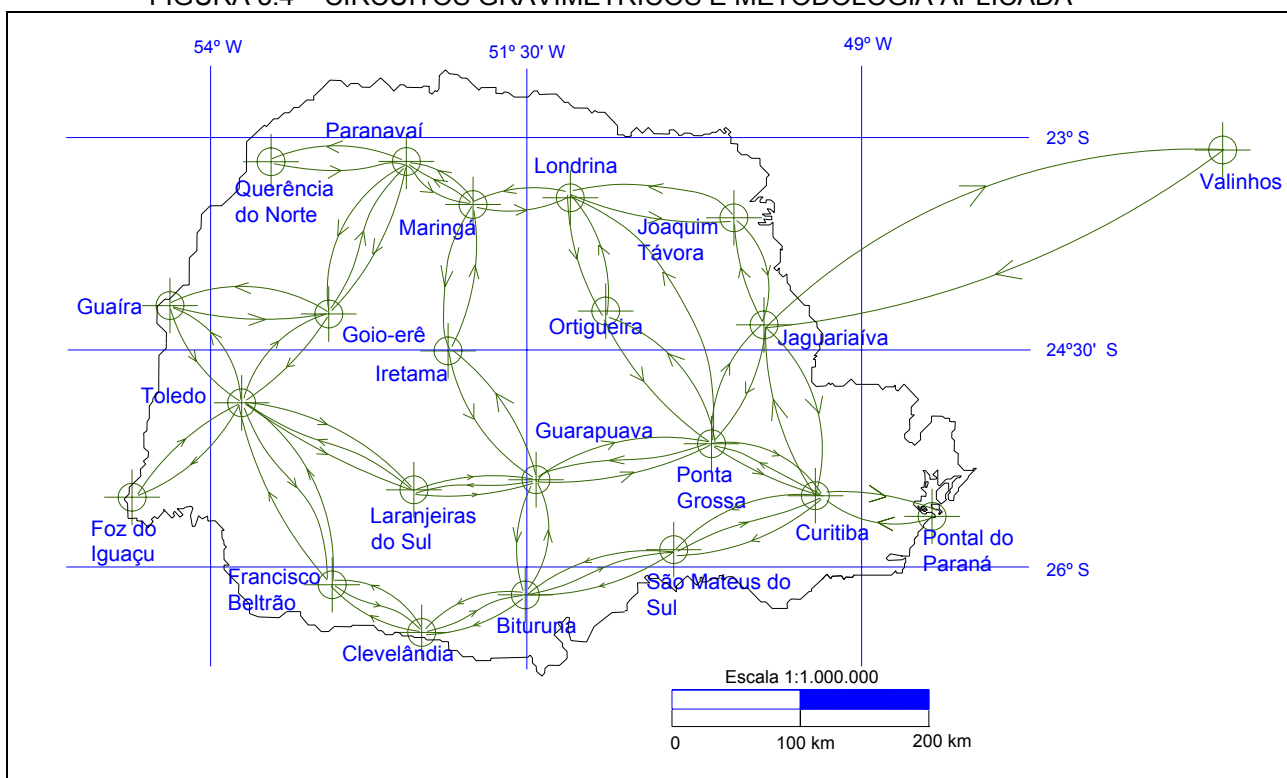
Buscou-se o estabelecimento de uma metodologia de levantamento, ainda que com base clássica, que permitisse a eliminação dos principais inconvenientes decorrentes da limitação do tempo entre a ocupação de dois pontos de controle conhecidos, para fechamento de circuitos gravimétricos. Foram formados micro-circuitos (linhas de desnível gravimétrico entre duas estações), macro-circuitos e testadas injunções de pontos de controle via 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 e tempo em campo, uma vez que só é exigido um retorno à estação conhecida (ou inicial), após serem ocupadas seqüencialmente as estações da rede. Na realidade, foram definidos 8 macro-circuitos (com três a sete estações), conforme a figura 3.4, visando-se a obtenção de uma solução mais rígida para toda a rede. Um destes

macro-circuitos envolve as estações pertencentes a RENEGA, estações de Valinhos (SP) e de Curitiba (PR). Estes macro-circuitos originaram-se de três campanhas específicas partindo e fechando na estação RENEGA de Curitiba. 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, com três a sete estações, e fechamento de micro-circuitos com múltiplas linhas entre duas ou três estações, trazem a possibilidade de teste de diversas formas de ajustamento final da rede.

Os micro-circuitos realizados com duas ou três estações originaram 28 linhas de desnível gravimétrico entre duas estações. Para compreensão da figura 3.4 e das análises realizadas na seqüência, as 28 linhas de desnível gravimétrico referentes às respectivas estações, são expostas no quadro 3.1.

FIGURA 3.4 – CIRCUITOS GRAVIMÉTRICOS E METODOLOGIA APLICADA



Devido ao planejamento estabelecido à rede (seção 3.1), observa-se na figura 3.4 que algumas estações têm duas ou três ligações. Duas ligações significam o fechamento de um único micro-circuito, possibilitando apenas uma observação de

desnível gravimétrico entre duas estações para cada gravímetro. Para três ligações, tem-se o fechamento de dois micro-circuitos, possibilitando duas observações entre duas estações para cada gravímetro.

3.4 CÁLCULO DOS DESNÍVEIS GRAVIMÉTRICOS

Os dados foram processados, considerando micro-circuitos independentes com duas ou três estações, cada um sendo fechado no mesmo dia, eliminando assim a correção da deriva estática e considerando apenas a deriva dinâmica. Com esses circuitos independentes, fecha-se outro circuito maior. Duas estratégias foram adotadas para o cálculo dos desníveis gravimétricos entre as estações componentes da rede, conforme a figura 3.4: a) considerando a estação de Valinhos (circuito Curitiba – Jaguariaíva – Valinhos - Jaguariaíva – 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. Desta forma os dados foram processados empregando as duas estratégias acima mencionadas, fazendo as devidas correções de maré terrestre e de deriva dinâmica.

No quadro 3.1, para facilitar o entendimento no decorrer do trabalho, os micro-circuitos são numerados. Os símbolos \leftarrow ou \rightarrow indicam o sentido em que o valor da gravidade aumenta entre duas estações.

QUADRO 3.1 – LINHAS DE DESNÍVEL GRAVIMÉTRICO REFERENTES ÀS ESTAÇÕES IMPLANTADAS NA REDE

Linha	Estações Pertencentes à Rede
01	Curitiba → São Mateus do Sul
02	São Mateus do Sul → Bituruna
03	Bituruna → Clevelândia
04	Clevelândia → Francisco Beltrão
05	Francisco Beltrão ← Toledo
06	Toledo → Guaíra
07	Toledo ← Goio-erê
08	Toledo → Foz do Iguaçu
09	Toledo ← Laranjeiras do Sul
10	Laranjeiras do Sul ← Guarapuava
11	Guarapuava → Bituruna
12	Guarapuava → Ponta Grossa
13	Ponta Grossa → Curitiba
14 ^a	Ponta Grossa ← Ortigueira
14b	Ortigueira ← Londrina
15 ^a	Ponta Grossa ← Jaguariaíva
15b	Jaguariaíva → Joaquim Távora
16	Londrina → Joaquim Távora
17	Londrina → Maringá
18 ^a	Maringá → Iretama
18b	Iretama ← Guarapuava
19 ^a	Maringá → Paranavaí
19b	Paranavaí → Querência do Norte
20	Paranavaí → Goio-erê
21	Goio-erê → Guaíra
22	Curitiba → Pontal do Paraná
23 ^a	Curitiba ← Jaguariaíva
23b	Jaguariaíva ← Valinhos

Para as soluções discutidas no decorrer do trabalho, nos ajustamentos não foram utilizadas as linhas 08, 19b e 22. Isto foi feito porque estas três observações referem-se às estações que ficaram excêntricas a rede.

4 ESTRATÉGIAS APLICADAS NO AJUSTAMENTO DA REDE GRAVIMÉTRICA E ANÁLISE DE PRECISÃO E CONFIABILIDADE DAS SOLUÇÕES OBTIDAS

Com o objetivo de ajustar a rede gravimétrica, foi aplicado o Método dos Mínimos Quadrados, na forma paramétrica. A aplicação do ajustamento pelo método dos Mínimos Quadrados na forma paramétrica possibilita calcular quantidades indiretamente, se estas se vinculam matematicamente a outras medidas, obtidas de forma direta.

As soluções analisadas nas subseções 4.1 e 4.2 deste trabalho originaram de ajustamentos da rede, os quais, devido à metodologia aplicada implica em 23 observações e conseqüentemente 6 graus de liberdade (redundância do sistema) ou 25 observações e conseqüentemente 8 graus de liberdade (redundância do sistema). Trabalhou-se com 23 observações quando se utilizou a estratégia (b) ou com 25 observações quando se utilizou a estratégia (a). Estas estratégias de cálculo dos desníveis gravimétricos estão explicadas na subseção 3.4 deste trabalho.

Nas equações de observação, os parâmetros incógnitos (estações gravimétricas) são representados pelos nomes das cidades onde estão localizados. As estações de Curitiba e de Valinhos são as estações absolutas pertencentes a RENEGA. Considerando o quadro 3.1, as equações de observação utilizadas nos ajustamentos descritos nas subseções 4.1 e 4.2 são:

$$I1 + Curitiba = São Mateus do Sul; \quad (4.1)$$

$$I2 = Bituruna - São Mateus do Sul; \quad (4.2)$$

$$I3 = Clevelândia - Bituruna; \quad (4.3)$$

$$I4 = Francisco Beltrão - Clevelândia; \quad (4.4)$$

$$I5 = Francisco Beltrão - Toledo; \quad (4.5)$$

$$I6 = Guaíra - Toledo; \quad (4.6)$$

$$I7 = Toledo - Goio-erê; \quad (4.7)$$

$$I9 = Toledo - Laranjeiras do Sul; \quad (4.8)$$

$$I10 = Laranjeiras do Sul - Guarapuava; \quad (4.9)$$

$$I11 = Bituruna - Guarapuava; \quad (4.10)$$

$$I12 = Ponta Grossa - Guarapuava; \quad (4.11)$$

$$I13 - Curitiba = - Ponta Grossa; \quad (4.12)$$

I14a = Ponta Grossa – Ortigueira;	(4.13)
I14b = Ortigueira – Londrina;	(4.14)
I15a = Ponta Grossa – Jaguariaíva;	(4.15)
I15b = Joaquim Távora – Jaguariaíva;	(4.16)
I16 = Joaquim Távora – Londrina;	(4.17)
I17 = Maringá – Londrina;	(4.18)
I18a = Iretama – Maringá;	(4.19)
I18b = Iretama – Guarapuava;	(4.20)
I19a = Paranaíba – Maringá;	(4.21)
I20 = Goio-erê – Paranaíba;	(4.22)
I21 = Guaíra – Goio-erê;	(4.23)
I23a = Curitiba – Jaguariaíva;	(4.24)
I23b = Jaguariaíva – Valinhos;	(4.25)

4.1 AJUSTAMENTO INDIVIDUAL

Com o objetivo de avaliar o comportamento, de cada um dos gravímetros envolvidos no levantamento, os dados foram inicialmente processados individualmente. Utilizaram-se nos ajustamentos individuais os desníveis gravimétricos oriundos dos gravímetros G-114, G-143, G-372 e Scintrex, considerando as duas estratégias, a e b, citadas na seção 3.4. Para as linhas 01, 02, 03, 04, 05, 09, 10, 12 e 13, devido à metodologia aplicada no levantamento, foi possível obter duas observações de desnível gravimétrico para cada um dos gravímetros. Com essas duas observações, devidamente corrigidas da maré terrestre e da deriva dinâmica, calculou-se a média aritmética. Esta média foi usada como observação no ajustamento. Para as demais linhas de desnível gravimétrico, foi possível obter apenas uma observação por gravímetro, a qual foi utilizada no ajustamento.

Para obtenção da matriz dos pesos, foram consideradas três concepções distintas descritas a seguir. Nos ajustamentos representados pelos símbolos G114T, G114TO, G143T, G143TO, G372T, G372TO e SCINTREXT, indicam o equipamento utilizado e que a matriz dos pesos foi obtida inversamente proporcional à variação do tempo utilizado para fechar cada micro-circuito. Nos ajustamentos representados

pelos símbolos G114V, G114VO, G143V, G143VO, G372V, G372VO e SCINTREXV, indicam o equipamento utilizado e que a matriz dos pesos foi obtida inversamente proporcional à variância calculada em cada micro-circuito. Por exemplo, observando a figura 3.4, mais especificamente a linha 01, verifica-se que é possível obter três observações de desnível gravimétrico corrigido apenas da maré terrestre referente a cada gravímetro. Com essas três observações calculou-se a variância. O mesmo procedimento foi aplicado às demais linhas. Em 14 linhas a variância foi calculada utilizando apenas duas observações.

Para os ajustamentos representados pelos símbolos G114VP, G114VPO, G143VP, G143VPO, G372VP, G372VPO e SCINTREXVP, indicam o equipamento utilizado e que a matriz dos pesos foi obtida quase que da mesma forma da estratégia anterior, a qual envolveu a variância calculada. A distinção está no fato do peso ser multiplicado por dois ou por três. Nas linhas em que a variância foi calculada com duas observações, o peso foi multiplicado por dois e nas linhas em que a variância foi calculada com três observações, o peso foi multiplicado por três.

4.1.1 Ajustamento da Rede Utilizando a Tabela de Calibração Corrigida

4.1.1.1 Aplicação dos critérios de precisão para redes geodésicas e do teste para igualdade de valores próprios

Com o objetivo de analisar a qualidade das soluções individuais obtidas para a rede gravimétrica, quanto à precisão, aplicaram-se os critérios de precisão e o teste para igualdade de valores próprios. O teste para igualdade de valores próprios foi aplicado nas soluções individuais, a fim de verificar se cada uma dessas soluções representa uma rede gravimétrica homogênea e isotrópica.

QUADRO 4.1 – TESTE PARA IGUALDADE DE VALORES PRÓPRIOS

DADOS	G114T	G143T	G372T	SCINTREXT
r	6	6	6	6
b	17	17	17	17
α	5%	5%	5%	5%
Estatística Calculada	113,304	112,442	112,274	112,250
$\chi^2_{152;0,95}$	181,77	181,77	181,77	181,77

QUADRO 4.2 – TESTE PARA IGUALDADE DE VALORES PRÓPRIOS

DADOS	G114V	G143V	G372V	SCINTREXV
r	6	6	6	6
b	17	17	17	17
α	5%	5%	5%	5%
Estatística Calculada	195,798	177,772	266,640	111,439
$\chi^2_{152;0,95}$	181,77	181,77	181,77	181,77

QUADRO 4.3 – TESTE PARA IGUALDADE DE VALORES PRÓPRIOS

DADOS	G114VP	G143VP	G372VP	SCINTREXVP
r	6	6	6	6
b	17	17	17	17
α	5%	5%	5%	5%
Estatística Calculada	194,215	169,208	209,699	105,457
$\chi^2_{152;0,95}$	181,77	181,77	181,77	181,77

De acordo com os resultados apresentados nos quadros 4.1, 4.2 e 4.3, para os dados oriundos dos ajustamentos G114T, G143T, G372T, SCINTREXT, G143V, SCINTREXV, G143VP e SCINTREXVP, a estatística com a equação (2.25) para $r = 6$ e $b = 17$ forneceu respectivamente os resultados 113,304, 112,442, 112,274, 112,250, 177,772, 111,439, 169,208 e 105,457. Com nível de significância de 5%, estes resultados, confrontados com a estatística teórica $\chi^2_{152;0,95} = 181,77$, indicam que a hipótese nula não é rejeitada e portanto cada uma dessas dez soluções, individualmente, representem uma rede homogênea e isotrópica. Com esta situação, as submatrizes que fornecem a precisão local da rede, apresentam círculos de erros de mesmo raio e para a precisão global uma hipersfera de erro. Fazendo-se o mesmo para os dados oriundos dos ajustamentos G114V, G372V, G114VP e G372VP, comparando as respectivas estatísticas calculadas pela equação (2.25) com a estatística teórica correspondente, também com nível de significância de 5%, conclui-se que essas soluções não apresentam característica global de

homogeneidade e isotropismo. Poder-se-ia ainda neste caso, analisar cada um dos circuitos que compõem a rede, a fim de verificar o comportamento de cada um dos circuitos quanto à homogeneidade e isotropismo separadamente.

Nos quadros 4.4, 4.5 e 4.6, estão apresentados os resultados da aplicação dos critérios para análise de precisão de redes geodésicas, dados pelas equações (2.17), (2.18), (2.19) e (2.20).

QUADRO 4.4 – APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PRECISÃO

Crítérios	G114T	G143T	G372T	SCINTREXT
$\det(\sum_{xa})$	$1,3 \cdot 10^{-45}$	$1,5 \cdot 10^{-57}$	$4,2 \cdot 10^{-52}$	$4,7 \cdot 10^{-65}$
$\text{tr}(\sum_{xa})$	0,11798	0,02327	0,04855	0,00840
$\lambda_{\text{máx}}$	0,07473	0,01466	0,03056	0,00529
$\frac{\lambda_{\text{máx}}}{\lambda_{\text{mín}}}$	120,147	117,937	117,573	118,406

QUADRO 4.5 – APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PRECISÃO

Crítérios	G114V	G143V	G372V	SCINTREXV
$\det(\sum_{xa})$	$8,4 \cdot 10^{-58}$	$1,2 \cdot 10^{-61}$	$6,9 \cdot 10^{-52}$	$2,8 \cdot 10^{-67}$
$\text{tr}(\sum_{xa})$	0,05089	0,02528	0,15345	0,00616
$\lambda_{\text{máx}}$	0,02766	0,01642	0,10746	0,00347
$\frac{\lambda_{\text{máx}}}{\lambda_{\text{mín}}}$	85975,718	4572,446	3752,370	178,694

QUADRO 4.6 – APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PRECISÃO

Crítérios	G114VP	G143VP	G372VP	SCINTREXVP
$\det(\sum_{xa})$	$3,6 \cdot 10^{-58}$	$7,7 \cdot 10^{-61}$	$1,5 \cdot 10^{-52}$	$3,1 \cdot 10^{-67}$
$\text{tr}(\sum_{xa})$	0,047686	0,025980	0,118673	0,00585
$\lambda_{\text{máx}}$	0,02402	0,01562	0,079256	0,00298
$\frac{\lambda_{\text{máx}}}{\lambda_{\text{mín}}}$	65758,294	3303,389	2614,508	161,573

Analisando os resultados apresentados nos quadros 4.4, 4.5 e 4.6, conclui-se que:

- nos ajustamentos em que a matriz dos pesos foi concebida como sendo inversamente proporcional à variação do tempo gasto para se fechar os micro-circuitos, na ordem do “melhor” para o “pior” tem-se SCINTREXT, G143T, G372T e G114T;

- b) nos ajustamentos em que a matriz dos pesos foi definida como inversamente proporcional às variâncias calculadas em cada um dos micro-circuitos, na ordem do “melhor” para o “pior” tem-se SCINTREXV, G143V, G114V e G372V;
- c) nos ajustamentos em que a matriz dos pesos foi definida como inversamente proporcional às variâncias calculadas em cada um dos micro-circuitos, porém ponderando essas variâncias, na ordem do “melhor” para o “pior” tem-se SCINTREXVP, G143VP, G114VP e G372VP.

Nessas estratégias de ajustamento individual, percebeu-se que os ajustamentos com dados oriundos do gravímetro digital Scintrex apresentaram uma situação melhor quanto à precisão. Isto foi observado nas três concepções de formação da matriz dos pesos. Percebe-se que, mudando a concepção de matriz dos pesos, a classificação quanto a precisão se altera. Isto é observado para as soluções obtidas de observações oriundas do gravímetro G114.

De modo geral, obtém-se melhor precisão quando se usa na matriz dos pesos o inverso da variância calculada. Adicionalmente, depois das soluções obtidas com observações oriundas do gravímetro Scintrex, dos gravímetros tipo LaCoste & Romberg utilizados, tem-se o G143, G114 e G372, respectivamente como melhor situação quanto à precisão.

Neste ponto é importante refletir sobre duas questões: Até que ponto se pode confiar na precisão obtida para cada uma dessas soluções individuais? É suficiente analisar a qualidade das soluções apenas pela precisão? No decorrer das análises efetuadas neste trabalho procurar-se-á mostrar que não se devem analisar os resultados utilizando unicamente o critério precisão. Um critério adicional deve ser utilizado para tentar quantificar quanto a precisão alcançada é confiável. Para tanto se sugere, na análise da qualidade de uma rede gravimétrica, adicionalmente ao critério precisão, fazer uso do critério de confiabilidade.

4.1.1.2 Aplicação do critério de confiabilidade

Em uma tentativa de se minimizar eventual equívoco na análise de qualidade de uma rede gravimétrica, usa-se o critério de confiabilidade. Para os ajustamentos chamados individuais, aplicou-se o teste global, calculou-se o número de redundância de cada observação, e foram aplicados os critérios de confiabilidade interna e externa.

4.1.1.2.1 Aplicação do teste global

Aplicou-se o teste global, de acordo com a subseção 2.3.2.1, onde foi confrontada a variância da unidade de peso *a posteriori* com a variância da unidade de peso *a priori* a um nível de significância de 5%.

QUADRO 4.7 – RESULTADOS DO TESTE GLOBAL

ajustamento	σ_0^2	$\hat{\sigma}_0^2$	χ^{*2}	Intervalo de não rejeição
				$1,24 \leq \chi^{*2} \leq 14,45$
				hipótese nula
G114T	1	0,0007	0,004	rejeitada
G143T	1	0,0001	0,0008	rejeitada
G372T	1	0,0003	0,002	rejeitada
SCINTREXT	1	0,00005	0,0003	rejeitada
G114V	1	1,29	7,72	não rejeitada
G143V	1	0,72	4,34	não rejeitada
G372V	1	2,45	14,70	rejeitada
SCINTREXV	1	0,05	0,31	rejeitada
G114VP	1	2,92	17,54	rejeitada
G143VP	1	1,90	11,42	não rejeitada
G372VP	1	5,19	31,13	rejeitada
SCINTREXVP	1	0,12	0,73	rejeitada

Com base nos resultados do quadro 4.7 (ajustamentos realizados com 6 graus de liberdade), já é possível concluir que nos ajustamentos em que se considerou a matriz dos pesos sendo inversamente proporcional à variação do tempo gasto para se fechar os micro-circuitos, nenhum dos ajustamentos apresentou

bom desempenho. Além de prováveis erros presentes nas observações, acredita-se que neste caso o problema da hipótese nula ter sido rejeitada, pode estar na ponderação das observações. Essa estratégia de ponderação não reflete as diferenças entre as observações levantadas em campo.

Para as outras duas estratégias de ponderação, apesar de refletirem melhor a diferença das observações obtidas em campo, apenas as soluções obtidas dos ajustamentos G114V, G143V e G143VP tiveram sucesso, pois na aplicação do teste global a hipótese nula foi aceita. Neste caso, nada aponta para problemas na ponderação das observações.

Como nos ajustamentos G143T, G143V e G143VP, as observações são as mesmas, mudando apenas a ponderação, pelo fato da hipótese nula não ter sido aceita na aplicação do teste global para ajustamento G143T, pode ser suposto que o problema deva ser a ponderação.

Para os outros ajustamentos, além da ponderação das observações, supõem-se a presença de erros significativos nas observações, uma vez que o modelo matemático empregado no ajustamento é simples.

Portanto, apesar das soluções discutidas até então, mostrarem conformidade quanto à precisão, elas geram dúvidas quanto às suas confiabilidades.

Uma das maneiras encontradas para se efetivar uma avaliação mais criteriosa dos ajustamentos em questão quanto às suas confiabilidades, é a de aplicar o critério de confiabilidade interna e o critério de confiabilidade externa.

4.1.1.2.2 Análise da confiabilidade interna

Inicialmente, foram calculadas as redundâncias parciais de todas as observações fazendo uso da (2.31). Com os valores das redundâncias parciais, verificou-se a controlabilidade das observações com respeito a erros grosseiros, seguindo as especificações do quadro 2.1.

QUADRO 4.8 – REDUNDÂNCIAS PARCIAIS E CONTROLABILIDADE DAS OBSERVAÇÕES DOS AJUSTAMENTOS G114T, G143T, G372T E SCINTREXT

Linha	Redundâncias Parciais				Controlabilidade			
	G114T	G143T	G372T	SCINTREXT	G114T	G143T	G372T	SCINTREXT
01	0,26	0,27	0,27	0,26	suf	suf	suf	suf
02	0,23	0,23	0,23	0,24	suf	suf	suf	suf
03	0,23	0,22	0,22	0,22	suf	suf	suf	suf
04	0,15	0,15	0,15	0,15	suf	suf	suf	suf
05	0,26	0,27	0,27	0,27	suf	suf	suf	suf
06	0,31	0,31	0,32	0,32	boa	boa	boa	boa
07	0,39	0,39	0,39	0,38	boa	boa	boa	boa
09	0,31	0,31	0,31	0,31	boa	boa	boa	boa
10	0,18	0,19	0,19	0,19	suf	suf	suf	suf
11	0,28	0,28	0,28	0,28	suf	suf	suf	suf
12	0,38	0,38	0,38	0,39	boa	boa	boa	boa
13	0,22	0,22	0,21	0,22	suf	suf	suf	suf
14a	0,27	0,28	0,27	0,27	suf	suf	suf	suf
14b	0,29	0,27	0,27	0,28	suf	suf	suf	suf
15a	0,21	0,21	0,20	0,21	suf	suf	suf	suf
15b	0,22	0,22	0,23	0,21	suf	suf	suf	suf
16	0,30	0,30	0,30	0,30	suf	suf	suf	suf
17	0,17	0,17	0,18	0,17	suf	suf	suf	suf
18a	0,28	0,27	0,27	0,27	suf	suf	suf	suf
18b	0,26	0,27	0,27	0,28	suf	suf	suf	suf
19a	0,13	0,13	0,12	0,12	suf	suf	suf	suf
20	0,24	0,24	0,24	0,25	suf	suf	suf	suf
21	0,44	0,43	0,43	0,43	boa	boa	boa	boa

QUADRO 4.9 – REDUNDÂNCIAS PARCIAIS E CONTROLABILIDADE DAS OBSERVAÇÕES DOS AJUSTAMENTOS G114V, G143V, G372V E SCINTREXV

Linha	Redundâncias Parciais				Controlabilidade			
	G114V	G143V	G372V	SCINTREXV	G114V	G143V	G372V	SCINTREXV
01	0,03	0,64	0,62	0,40	ruim	boa	boa	boa
02	0,36	0,04	0,02	0,17	boa	ruim	ruim	suf
03	0,33	0,06	0,13	0,14	boa	ruim	suf	suf
04	0,14	0,03	0,08	0,08	suf	ruim	ruim	ruim
05	0,09	0,52	0,62	0,34	ruim	boa	boa	boa
06	0,14	0,74	0,10	0,16	suf	boa	suf	suf
07	0,13	0,34	0,57	0,08	suf	boa	boa	ruim
09	0,61	0,06	0,15	0,24	boa	ruim	suf	suf
10	0,08	0,43	0,56	0,14	ruim	boa	boa	suf
11	0,66	0,17	0,24	0,28	boa	suf	suf	suf
12	0,01	0,34	0,63	0,19	ruim	boa	boa	suf
13	0,007	0,12	0,16	0,21	não há	suf	suf	suf
14a	0,78	0,34	0,58	0,34	boa	boa	boa	boa
14b	0,00006	0,12	0,04	0,26	não há	suf	ruim	suf
15a	0,15	0,39	0,36	0,15	suf	boa	boa	suf
15b	0,04	0,38	0,02	0,26	ruim	boa	ruim	suf
16	0,13	0,02	0,10	0,37	suf	ruim	suf	boa
17	0,48	0,16	0,01	0,12	boa	suf	ruim	suf
18a	0,36	0,39	0,30	0,38	boa	boa	boa	boa
18b	0,38	0,38	0,10	0,28	boa	boa	suf	suf
19a	0,31	0,02	0,10	0,10	boa	ruim	suf	suf
20	0,003	0,31	0,11	0,55	não há	boa	suf	boa
21	0,75	0,004	0,42	0,78	boa	não há	boa	boa

QUADRO 4.10 – REDUNDÂNCIAS PARCIAIS E CONTROLABILIDADE DAS OBSERVAÇÕES DOS AJUSTAMENTOS G114VP, G143VP, G372VP E SCINTREXVP

Linha	Redundâncias Parciais				Controlabilidade			
	G114VP	G143VP	G372VP	SCINTREXVP	G114VP	G143VP	G372VP	SCINTREXVP
01	0,03	0,62	0,58	0,39	ruim	boa	boa	boa
02	0,29	0,04	0,02	0,16	suf	ruim	ruim	suf
03	0,30	0,06	0,13	0,13	boa	ruim	suf	suf
04	0,13	0,03	0,02	0,08	suf	ruim	ruim	ruim
05	0,09	0,48	0,58	0,31	ruim	boa	boa	boa
06	0,14	0,74	0,11	0,16	suf	boa	suf	suf
07	0,14	0,34	0,58	0,08	suf	boa	boa	ruim
09	0,58	0,05	0,14	0,22	boa	ruim	suf	suf
10	0,08	0,39	0,51	0,13	ruim	boa	boa	suf
11	0,74	0,23	0,32	0,36	boa	suf	boa	boa
12	0,01	0,29	0,55	0,16	ruim	suf	boa	suf
13	0,01	0,11	0,15	0,20	ruim	suf	suf	suf
14a	0,78	0,36	0,59	0,34	boa	boa	boa	boa
14b	0,00006	0,13	0,04	0,26	não há	suf	ruim	suf
15a	0,16	0,39	0,38	0,15	suf	boa	boa	suf
15b	0,04	0,38	0,02	0,26	ruim	boa	ruim	suf
16	0,13	0,02	0,10	0,37	suf	ruim	suf	boa
17	0,50	0,18	0,01	0,12	boa	suf	ruim	suf
18a	0,37	0,40	0,36	0,38	boa	boa	boa	boa
18b	0,40	0,39	0,12	0,28	boa	boa	suf	suf
19a	0,35	0,03	0,13	0,10	boa	ruim	suf	suf
20	0,003	0,34	0,14	0,57	não há	boa	suf	boa
21	0,75	0,004	0,44	0,79	boa	não há	boa	boa

Analisando os resultados expostos nos quadros 4.8, 4.9 e 4.10, verifica-se que há pontos críticos nos quadros 4.9 e 4.10. No ajustamento G114V com as observações referentes às linhas 13, 14b e 20 e no ajustamento G143V com a observação referente à linha 21, onde não se pode ter controle dos possíveis erros grosseiros. No ajustamento G114VP verifica-se a não controlabilidade de erros grosseiros nas observações 14b e 20. Existindo erros significativos nessas observações sem controlabilidade, provavelmente esses erros grosseiros estejam distribuídos nos parâmetros.

De qualquer forma, os outros valores de redundâncias parciais, apesar de mostrarem que as observações apresentam alguma controlabilidade quanto à inspeção de possíveis erros grosseiros, eles de forma geral são pequenos.

Há várias observações apresentando controlabilidade boa, mas suas redundâncias parciais são na maioria relativamente baixas. Isto não acontece por acaso e sim devido ao número de redundância do sistema, que neste caso, é igual a 6. Isto com certeza dificulta a localização de erros grosseiros nas observações.

A seguir, nos quadros 4.11, 4.12 e 4.13 são apresentadas as estimativas dos erros mínimos (∇I_{0_i}) que podem ser localizados nas observações I_i . A obtenção de α_0 e δ_0 , está explicado na subseção 2.3.2.3.

QUADRO 4.11 – ESTIMATIVA DO ERRO MÍNIMO QUE PODE SER DETECTADO COM $\alpha_0 = 0,45\%$, $(1 - \beta_0) = 80\%$ e $\delta_0 = 3,70$

Linha	G114T ∇I_{0_i} (mGal)	G143T ∇I_{0_i} (mGal)	G372T ∇I_{0_i} (mGal)	SCINTREXT ∇I_{0_i} (mGal)
01	21,364	21,233	21,315	21,175
02	21,364	21,233	21,315	21,175
03	21,096	21,124	21,193	21,032
04	21,096	21,124	21,193	21,032
05	21,096	21,124	21,193	21,032
06	15,562	15,468	15,441	15,468
07	13,895	13,835	13,829	13,764
09	17,741	17,785	17,852	17,731
10	17,741	17,785	17,852	17,731
11	16,702	16,695	16,746	16,661
12	15,770	15,688	15,800	15,819
13	21,364	21,233	21,315	21,175
14a	16,002	15,929	16,017	15,992
14b	16,002	15,929	16,017	15,992
15a	17,832	17,800	17,841	17,817
15b	17,832	17,800	17,841	17,817
16	17,832	17,800	17,841	17,817
17	17,779	17,758	17,859	17,825
18a	16,756	16,786	16,839	16,800
18b	16,756	16,786	16,839	16,800
19a	19,755	19,754	19,775	19,660
20	19,755	19,754	19,775	19,660
21	15,562	15,468	15,441	15,468

QUADRO 4.12 – ESTIMATIVA DO ERRO MÍNIMO QUE PODE SER DETECTADO COM
 $\alpha_0 = 0,45\%$, $(1 - \beta_0) = 80\%$ e $\delta_0 = 3,70$

Linha	G114V ∇I_{0_i} (mGal)	G143V ∇I_{0_i} (mGal)	G372V ∇I_{0_i} (mGal)	SCINTREXV ∇I_{0_i} (mGal)
01	0,244	0,335	0,482	0,518
02	0,244	0,335	0,482	0,518
03	0,469	0,257	0,540	0,451
04	0,469	0,257	0,540	0,451
05	0,469	0,257	0,540	0,451
06	0,248	0,177	0,218	0,517
07	0,226	0,164	0,220	0,418
09	0,490	0,234	0,400	0,419
10	0,490	0,234	0,400	0,419
11	0,254	0,218	0,394	0,373
12	0,226	0,247	0,238	0,409
13	0,244	0,335	0,482	0,518
14a	0,341	0,251	0,145	0,565
14b	0,341	0,251	0,145	0,565
15a	0,301	0,306	0,141	0,669
15b	0,301	0,306	0,141	0,669
16	0,301	0,306	0,141	0,669
17	0,457	0,287	0,230	0,573
18a	0,515	0,332	0,220	0,597
18b	0,515	0,332	0,220	0,597
19a	0,479	0,287	0,364	0,673
20	0,479	0,287	0,364	0,673
21	0,248	0,177	0,218	0,517

QUADRO 4.13 – ESTIMATIVA DO ERRO MÍNIMO QUE PODE SER DETECTADO COM $\alpha_0 = 0,45\%$, $(1 - \beta_0) = 80\%$ e $\delta_0 = 3,70$

Linha	G114VP ∇l_{0_i} (mGal)	G143VP ∇l_{0_i} (mGal)	G372VP ∇l_{0_i} (mGal)	SCINTREXVP ∇l_{0_i} (mGal)
01	0,157	0,197	0,288	0,306
02	0,157	0,197	0,288	0,306
03	0,282	0,154	0,323	0,270
04	0,282	0,154	0,323	0,270
05	0,282	0,154	0,323	0,270
06	0,175	0,125	0,153	0,365
07	0,158	0,115	0,154	0,293
09	0,292	0,142	0,243	0,255
10	0,292	0,142	0,243	0,255
11	0,169	0,132	0,243	0,230
12	0,148	0,154	0,148	0,256
13	0,157	0,197	0,288	0,306
14a	0,241	0,174	0,102	0,396
14b	0,241	0,174	0,102	0,396
15a	0,212	0,215	0,098	0,471
15b	0,212	0,215	0,098	0,471
16	0,212	0,215	0,098	0,471
17	0,317	0,193	0,146	0,398
18a	0,360	0,232	0,143	0,419
18b	0,360	0,232	0,143	0,419
19a	0,320	0,193	0,229	0,467
20	0,320	0,193	0,229	0,467
21	0,175	0,125	0,153	0,365

De posse das estimativas dos erros mínimos, que podem ser detectados pelo teste *data snooping*, apresentados nos quadros 4.11, 4.12 e 4.13, pode-se ter uma noção da dimensão do erro que se busca localizar nas observações, aplicando o teste *data snooping* dado pela (2.41). Observa-se nesses três últimos quadros, que as piores situações no que tange ao erro mínimo, que podem ser localizados com aplicação do teste *data snooping*, encontram-se nas soluções G114T, G143T, G372T e SCINTREXT. Neste Caso, estes resultados apresentam essa magnitude devido à ponderação dada às observações. Isso também pode ser um indicativo que essa forma de ponderação não é a mais adequada para observações gravimétricas. Esses resultados mostram que esta forma de ponderação das observações compromete a análise de confiabilidade.

Considerando essas doze soluções obtidas para a rede e descritas nos quadros 4.11, 4.12 e 4.13, no geral, com essa magnitude de erro estimado na confiabilidade interna, percebe-se quando analisada a precisão com que se está trabalhando, dificilmente uma observação será localizada com erro grosseiro

analisando os resíduos pelo teste *data snooping*. De qualquer forma, os resultados apresentados no quadro 4.13 apresentam-se melhores, mesmo que não exibindo grande diferença relativamente aos resultados apresentados no quadro 4.12. Deve-se ressaltar que se deseja obter valores para as estimativas do erro mínimo, os menores valores possíveis.

Mesmo considerando a desconfiança de que os valores apresentados nos quadros 4.11, 4.12 e 4.13 são altos, aplicou-se o teste *data snooping* em todas as soluções obtidas. Como já se destacou, nenhuma observação foi localizada com a presença de erro grosseiro. Devido aos números de redundâncias parciais obtidos até então, a dúvida quanto à presença de erros grosseiros presentes nas observações persiste.

4.1.1.2.3 Análise da confiabilidade externa

Inspecionando-se os resíduos das observações com a aplicação do teste *data snooping*, nenhuma observação foi detectada com a presença de erro grosseiro. Erros não foram localizados, mas sabe-se que erros não localizados afetam os parâmetros estimados pelo ajustamento. Então, é recomendável a avaliação da influência dos erros não localizados nas observações, sobre os parâmetros estimados. Se for utilizada a (2.38), será obtida a influência máxima que os parâmetros podem sofrer dos erros grosseiros não localizados. Portanto, será utilizada a (2.36) para estimar o erro grosseiro presente em cada observação e para a avaliação da influência dos erros grosseiros não localizados se fará uso da (2.37). A estimativa ∇_i , do erro grosseiro presente em cada observação, está apresentada nos quadros 4.14, 4.15 e 4.16. Já a influência dos erros grosseiros não localizados sobre os parâmetros, bem como a precisão obtida para os parâmetros estimados, estão expostos nos quadros 4.17 ao 4.28.

QUADRO 4.14 – ESTIMATIVA DO ERRO GROSSEIRO PRESENTE EM CADA OBSERVAÇÃO

Linha	Ajustamentos			
	G114T ∇_i (mGal)	G143T ∇_i (mGal)	G372T ∇_i (mGal)	SCINTREXT ∇_i (mGal)
01	0,027	0,101	-0,052	0,045
02	0,027	0,101	-0,052	0,045
03	-0,067	-0,054	0,130	-0,005
04	-0,067	-0,054	0,130	-0,005
05	0,067	0,054	-0,130	0,005
06	-0,044	0,043	0,008	-0,016
07	0,126	0,004	-0,038	-0,010
09	-0,215	0,088	-0,019	-0,002
10	-0,215	0,088	-0,019	-0,002
11	-0,058	-0,096	0,113	-0,031
12	0,111	0,046	0,008	0,036
13	0,027	0,101	-0,052	0,045
14a	-0,043	0,023	0,066	-0,055
14b	-0,043	0,023	0,066	-0,055
15a	-0,070	-0,016	-0,128	0,056
15b	0,070	0,016	0,128	-0,056
16	-0,070	-0,016	-0,128	0,056
17	0,123	-0,012	0,047	0,014
18a	-0,124	0,034	0,107	0,007
18b	0,124	-0,034	-0,107	-0,007
19a	0,326	-0,062	-0,090	0,007
20	0,326	-0,062	-0,090	0,007
21	0,044	-0,043	-0,008	0,016

QUADRO 4.15 – ESTIMATIVA DO ERRO GROSSEIRO PRESENTE EM CADA OBSERVAÇÃO

Linha	Ajustamentos			
	G114V ∇_i (mGal)	G143V ∇_i (mGal)	G372V ∇_i (mGal)	SCINTREXV ∇_i (mGal)
01	0,053	0,109	-0,101	0,050
02	0,053	0,109	-0,101	0,050
03	-0,094	-0,071	0,139	-0,005
04	-0,094	-0,071	0,139	-0,005
05	0,094	0,071	-0,139	0,005
06	0,008	0,039	0,008	-0,016
07	0,076	0,016	-0,023	-0,007
09	-0,023	0,093	0,025	0,001
10	-0,023	0,093	0,025	0,001
11	-0,085	-0,097	0,141	-0,029
12	0,094	0,039	0,078	0,041
13	0,053	0,109	-0,101	0,050
14a	-0,001	0,029	0,104	-0,054
14b	-0,001	0,029	0,104	-0,054
15a	-0,086	-0,013	-0,134	0,050
15b	0,086	0,013	0,134	-0,050
16	-0,086	-0,013	-0,134	0,050
17	0,202	-0,027	0,096	0,019
18a	-0,106	0,034	0,117	0,014
18b	0,106	-0,034	-0,117	-0,014
19a	0,313	-0,052	-0,084	0,009
20	0,313	-0,052	-0,084	0,009
21	-0,008	-0,039	-0,008	0,016

QUADRO 4.16 – ESTIMATIVA DO ERRO GROSSEIRO PRESENTE EM CADA OBSERVAÇÃO

Linha	Ajustamentos			
	G114PV ∇_i (mGal)	G143PV ∇_i (mGal)	G372PV ∇_i (mGal)	SCINTREXVP ∇_i (mGal)
01	0,054	0,104	-0,085	0,051
02	0,054	0,104	-0,085	0,051
03	-0,051	-0,074	0,124	-0,001
04	-0,051	-0,074	0,124	-0,001
05	0,051	0,074	-0,124	0,001
06	0,007	0,040	0,009	-0,016
07	0,081	0,014	-0,024	-0,007
09	-0,204	0,092	0,011	-0,001
10	-0,204	0,092	0,011	-0,001
11	-0,081	-0,101	0,131	-0,029
12	0,094	0,045	0,072	0,043
13	0,054	0,104	-0,085	0,050
14a	-0,004	0,031	0,099	-0,054
14b	-0,004	0,031	0,099	-0,054
15a	-0,092	-0,011	-0,133	0,049
15b	0,092	0,011	0,133	-0,049
16	-0,092	-0,011	-0,133	0,049
17	0,212	-0,029	0,091	0,019
18a	-0,119	0,035	0,116	0,014
18b	0,119	-0,035	-0,116	-0,014
19a	0,310	-0,053	-0,073	0,008
20	0,310	-0,053	-0,073	0,008
21	-0,007	-0,039	-0,009	0,016

QUADRO 4.17 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G114T

Parâmetros	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	0,066	0,019
Bituruna	0,075	0,039
Clevalândia	0,092	0,046
Francisco Beltrão	0,096	0,029
Toledo	0,089	0,049
Laranjeiras do sul	0,085	-0,012
Guarapuava	0,073	0,036
Ponta Grossa	0,062	-0,020
Jaguariaíva	0,079	-0,016
Joaquim Távora	0,086	-0,013
Ortigueira	0,078	-0,026
Londrina	0,080	-0,036
Maringá	0,082	-0,004
Iretama	0,084	0,019
Paranavaí	0,089	0,143
Goio-erê	0,093	0,126
Guaira	0,099	0,074

QUADRO 4.18 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G143T

Parâmetros	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	0,029	-0,003
Bituruna	0,033	0,007
Clevelândia	0,040	0,002
Francisco Beltrão	0,042	-0,019
Toledo	0,040	-0,013
Laranjeiras do sul	0,038	0,013
Guarapuava	0,032	-0,004
Ponta Grossa	0,027	-0,016
Jaguariaíva	0,035	-0,010
Joaquim Távora	0,038	-0,006
Ortigueira	0,035	-0,010
Londrina	0,035	-0,005
Maringá	0,037	-0,003
Iretama	0,037	-0,004
Paranavaí	0,040	-0,031
Goio-erê	0,041	-0,027
Guaira	0,044	-0,012

QUADRO 4.19 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G372T

Parâmetros	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	0,043	0,001
Bituruna	0,048	-0,005
Clevelândia	0,059	-0,001
Francisco Beltrão	0,061	0,043
Toledo	0,057	0,021
Laranjeiras do sul	0,055	0,013
Guarapuava	0,047	0,014
Ponta Grossa	0,039	0,010
Jaguariaíva	0,050	0,036
Joaquim Távora	0,055	0,048
Ortigueira	0,050	0,017
Londrina	0,051	0,025
Maringá	0,053	0,039
Iretama	0,054	0,027
Paranavaí	0,057	-0,003
Goio-erê	0,059	0,001
Guaira	0,064	0,013

QUADRO 4.20 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO SCINTREXT

Parâmetros	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	0,017	0,001
Bituruna	0,020	0,006
Clevelândia	0,024	0,005
Francisco Beltrão	0,026	0,003
Toledo	0,024	0,002
Laranjeiras do sul	0,023	0,003
Guarapuava	0,019	0,004
Ponta Grossa	0,016	-0,008
Jaguariaíva	0,021	-0,015
Joaquim Távora	0,023	-0,023
Ortigueira	0,021	-0,009
Londrina	0,021	-0,011
Maringá	0,022	0,003
Iretama	0,022	0,001
Paranavaí	0,024	0,001
Goio-erê	0,025	0,003
Guaira	0,026	0,001

Da análise dos resultados de confiabilidade externa, espera-se que a influência sobre os parâmetros de erros grosseiros não localizados seja mínima. Analisando os resultados apresentados nos quadros 4.17 ao 4.20, observa-se que para as soluções G114T, G143T, G372T e SCINTREXT, tem-se para as estações gravimétricas, respectivamente, precisões médias de 83, 37, 53 e 22 mGal e influência média que os valores da gravidade estão sofrendo dos erros grosseiros não localizados, também respectivamente, de 42, 11, 19 e 6 mGal, considerando os valores em módulo. Portanto, a classificação dessas soluções, quanto à confiabilidade externa, segue a mesma classificação obtida quanto à precisão. Na seqüência, do quadro 4.21 ao 4.28, são apresentados os resultados quanto a influência dos erros grosseiros estimados sobre os parâmetros, referentes as soluções G114V, G143V, G372V, SCINTREXV, G114VP, G143VP, G372VP e SCINTREXVP.

QUADRO 4.21 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G114V

Parâmetros	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	0,014	0,045
Bituruna	0,037	0,022
Clevelândia	0,071	0,093
Francisco Beltrão	0,071	0,070
Toledo	0,069	0,023
Laranjeiras do sul	0,042	-0,295
Guarapuava	0,009	-0,141
Ponta Grossa	0,006	-0,051
Jaguariaíva	0,034	-0,042
Joaquim Távora	0,037	0,024
Ortigueira	0,044	0,043
Londrina	0,044	0,045
Maringá	0,069	-0,208
Iretama	0,077	-0,179
Paranavaí	0,071	-0,316
Goio-erê	0,071	-0,007
Guaira	0,074	-0,023

QUADRO 4.22 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G143V

Parâmetros	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	0,037	-0,169
Bituruna	0,036	-0,079
Clevelândia	0,038	-0,129
Francisco Beltrão	0,039	-0,190
Toledo	0,040	-0,079
Laranjeiras do sul	0,040	-0,149
Guarapuava	0,034	-0,054
Ponta Grossa	0,025	-0,058
Jaguariaíva	0,042	-0,061
Joaquim Távora	0,038	-0,063
Ortigueira	0,036	-0,038
Londrina	0,037	-0,051
Maringá	0,040	-0,054
Iretama	0,047	-0,055
Paranavaí	0,040	-0,100
Goio-erê	0,041	-0,086
Guaira	0,041	-0,124

QUADRO 4.23 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G372V

Parâmetros	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	0,099	0,249
Bituruna	0,098	0,161
Civelândia	0,119	0,221
Francisco Beltrão	0,121	0,350
Toledo	0,104	0,128
Laranjeiras do sul	0,112	0,126
Guarapuava	0,085	0,185
Ponta Grossa	0,075	0,008
Jaguariaíva	0,080	-0,092
Joaquim Távora	0,080	0,028
Ortigueira	0,080	0,185
Londrina	0,080	0,100
Maringá	0,080	0,192
Iretama	0,086	0,129
Paranavaí	0,092	0,149
Goio-erê	0,100	0,108
Guaira	0,105	0,129

QUADRO 4.24 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO SCINTREXV

Parâmetros	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	0,015	-0,031
Bituruna	0,016	-0,015
Civelândia	0,018	-0,017
Francisco Beltrão	0,018	0,020
Toledo	0,018	-0,019
Laranjeiras do sul	0,017	-0,018
Guarapuava	0,015	-0,019
Ponta Grossa	0,013	-0,008
Jaguariaíva	0,019	-0,031
Joaquim Távora	0,024	-0,035
Ortigueira	0,020	-0,022
Londrina	0,021	-0,019
Maringá	0,021	-0,009
Iretama	0,021	-0,017
Paranavaí	0,023	-0,004
Goio-erê	0,019	-0,013
Guaira	0,022	-0,028

QUADRO 4.25 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G114VP

Parâmetros	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	0,012	0,047
Bituruna	0,034	0,034
Clevelândia	0,063	0,049
Francisco Beltrão	0,065	0,027
Toledo	0,064	-0,005
Laranjeiras do sul	0,036	-0,284
Guarapuava	0,008	-0,143
Ponta Grossa	0,005	-0,052
Jaguariaíva	0,035	-0,041
Joaquim Távora	0,039	-0,030
Ortigueira	0,046	0,049
Londrina	0,046	0,053
Maringá	0,071	-0,209
Iretama	0,082	-0,181
Paranavaí	0,067	-0,342
Goio-erê	0,067	-0,037
Guaira	0,070	-0,005

QUADRO 4.26 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G143VP

Parâmetros	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	0,036	-0,145
Bituruna	0,035	-0,058
Clevelândia	0,037	-0,111
Francisco Beltrão	0,037	-0,174
Toledo	0,038	-0,070
Laranjeiras do sul	0,039	-0,139
Guarapuava	0,032	-0,060
Ponta Grossa	0,023	-0,058
Jaguariaíva	0,045	-0,060
Joaquim Távora	0,040	-0,061
Ortigueira	0,038	-0,037
Londrina	0,040	-0,050
Maringá	0,042	-0,052
Iretama	0,050	-0,057
Paranavaí	0,042	-0,099
Goio-erê	0,042	-0,077
Guaira	0,042	-0,116

QUADRO 4.27 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G372VP

Parâmetros	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	0,087	0,172
Bituruna	0,087	0,097
Clevelândia	0,103	0,163
Francisco Beltrão	0,105	0,280
Toledo	0,094	0,136
Laranjeiras do sul	0,098	0,132
Guarapuava	0,074	0,150
Ponta Grossa	0,064	0,017
Jaguariaíva	0,069	-0,088
Joaquim Távora	0,069	0,032
Ortigueira	0,070	0,184
Londrina	0,069	0,102
Maringá	0,070	0,189
Iretama	0,075	0,103
Paranavaí	0,083	0,154
Goio-erê	0,090	0,120
Guaira	0,095	0,138

QUADRO 4.28 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO SCINTREXVP

Parâmetros	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	0,014	-0,030
Bituruna	0,014	-0,013
Clevelândia	0,016	-0,015
Francisco Beltrão	0,017	-0,017
Toledo	0,017	-0,021
Laranjeiras do sul	0,015	-0,023
Guarapuava	0,013	-0,024
Ponta Grossa	0,011	-0,010
Jaguariaíva	0,020	-0,032
Joaquim Távora	0,025	-0,036
Ortigueira	0,021	-0,023
Londrina	0,021	-0,022
Maringá	0,021	-0,012
Iretama	0,022	-0,021
Paranavaí	0,023	-0,007
Goio-erê	0,018	-0,015
Guaira	0,021	-0,031

Analisando os resultados apresentados nos quadros 4.21 ao 4.28, tem-se , respectivamente, 49, 38, 94, 19, 48, 39, 82, 18 mGal como valor médio da gravidade em cada uma das soluções e 96, 91, 149, 19, 93, 84, 133 e 21 mGal (médias obtidas com os valores em módulo) como influência média de erros grosseiros não

localizados nas observações. Portanto, nessas duas outras estratégias de ajustamento individual, percebe-se uma supremacia das soluções obtidas com observações oriundas do gravímetro Scintrex, tanto em precisão como em confiabilidade externa.

Das soluções obtidas com gravímetros tipo LaCoste & Romberg, a que apresentou situação melhor em precisão e também em confiabilidade externa, foi a solução obtida com observações oriundas do gravímetro G143.

Nos ajustamentos em que a matriz dos pesos foi concebida sendo inversamente proporcional a variação do tempo gasto para se fechar os micro-circuitos, a solução obtida com dados do gravímetro G372 apresentou-se melhor quando comparada com a solução obtida com observações do gravímetro G114. Mas nas outras duas estratégias de ajustamento, essa ordem se inverteu. Não se deve esquecer que o teste global não detectou erro grosseiro nas soluções G114V, G143V e G143VP e que o teste *data snooping* aplicado em todas as soluções também nada localizou. Isto pode indicar que existem observações afetadas com erros grosseiros, porém sem caráter conclusivo.

4.1.2 Ajustamento da Rede Utilizando a Tabela de Calibração Original e com Injunção de Estações Gravimétricas Absolutas

Nas análises apresentadas a seguir, seguiu-se exatamente o procedimento desenvolvido na seção 4.1.1. O objetivo aqui é fazer uma comparação com as soluções obtidas na seção 4.1.1, verificando a influência das estações absolutas de Curitiba e de Valinhos na rede, quando injuncionadas no ajustamento, e portanto, sendo utilizadas as tabelas de calibração dos gravímetros LaCoste & Romberg mais recentes.

4.1.2.1 Aplicação dos critérios de precisão para redes geodésicas e do teste para igualdade de valores próprios

QUADRO 4.29 – TESTE PARA IGUALDADE DE VALORES PRÓPRIOS

DADOS	G114TO	G143TO	G372TO
r	6	6	6
b	17	17	17
α	5%	5%	5%
Estatística Calculada	127,752	127,270	127,462

QUADRO 4.30 – TESTE PARA IGUALDADE DE VALORES PRÓPRIOS

$\chi^2_{152;0,95}$	181,77	181,77	181,77
DADOS	G114VO	G143VO	G372VO
r	6	6	6
b	17	17	17
α	5%	5%	5%
Estadística Calculada	259,222	251,521	228,926
$\chi^2_{152;0,95}$	181,77	181,77	181,77

QUADRO 4.31 – TESTE PARA IGUALDADE DE VALORES PRÓPRIOS

DADOS	G114VPO	G143VPO	G372VPO
r	6	6	6
b	17	17	17
α	5%	5%	5%
Estadística Calculada	255,756	245,840	222,272
$\chi^2_{152;0,95}$	181,77	181,77	181,77

QUADRO 4.32 – APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PRECISÃO

Critérios	G114TO	G143TO	G372TO
$\det(\sum_{xa})$	$3,9 \cdot 10^{-42}$	$1,6 \cdot 10^{-58}$	$4,2 \cdot 10^{-52}$
$\text{tr}(\sum_{xa})$	0,15933	0,01725	0,04125
$\lambda_{\text{máx}}$	0,09164	0,00988	0,02366
$\frac{\lambda_{\text{máx}}}{\lambda_{\text{mín}}}$	87,223	86,246	86,482

QUADRO 4.33 – APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PRECISÃO

Critérios	G114VO	G143VO	G372VO
$\det(\sum_{xa})$	$2,8 \cdot 10^{-45}$	$3,8 \cdot 10^{-60}$	$1,9 \cdot 10^{-51}$
$\text{tr}(\sum_{xa})$	0,27399	0,03455	0,09505
$\lambda_{\text{máx}}$	0,15611	0,02101	0,04852
$\frac{\lambda_{\text{máx}}}{\lambda_{\text{mín}}}$	60907,934	7824,797	1439,167

QUADRO 4.34 – APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PRECISÃO

Critérios	G114VPO	G143VPO	G372VPO
$\det(\sum_{xa})$	$2,0 \cdot 10^{-46}$	$2,0 \cdot 10^{-60}$	$5,1 \cdot 10^{-52}$
$\text{tr}(\sum_{xa})$	0,22826	0,03194	0,08378
$\lambda_{\text{máx}}$	0,12179	0,018398	0,04353
$\frac{\lambda_{\text{máx}}}{\lambda_{\text{mín}}}$	46619,666	6081,142	1222,590

Comparando esses resultados com os das estratégias de ajustamentos utilizadas na subseção 4.1.1, verifica-se neste caso que houve um prejuízo quanto à condição de homogeneidade e isotropismo da rede. Nenhuma das soluções com os resultados apresentados nos quadros 4.30 e 4.31 apresentam, seguindo o mesmo critério utilizado na análise dos quadros 4.2 e 4.3, condição de homogeneidade e isotropismo. Comparando os resultados apresentados nos quadros 4.32 e 4.4, verifica-se que houve uma melhora, ainda que pequena, de precisão para as soluções envolvendo os gravímetros G143 e G372, porém para o gravímetro G114 o mesmo não aconteceu. Quando comparados os resultados das soluções apresentadas nos quadros 4.33 e 4.34 respectivamente com os dos quadros 4.5 e 4.6, percebe-se mais claramente uma melhor situação quanto à precisão em favor das soluções obtidas quando utilizada a estratégia b) descrita na subseção 3.4. que envolve a tabela de calibração corrigida. Porém, houve exceção. Isto aconteceu para as soluções G372VO e G372VOP. Preliminarmente, como se entende ser mais coerente ponderar as observações pelo inverso da variância calculada em cada um dos micro-circuitos, tem-se um indicativo de que é melhor utilizar a estratégia (b) à estratégia (a) que envolve a tabela de calibração original, ambas apresentadas na subseção 3.4. Presumi-se que se tenha uma propagação maior dos erros quando se utiliza-se as estações gravimétricas absolutas como parte integrante da rede. Há, portanto, um indicativo que é melhor ajustar a rede utilizando o fator de escala gerado da calibração. Neste caso, o efeito da propagação de erros pela rede é menor.

Fazendo uma comparação entre os resultados apresentados nos quadros 4.32, 4.33 e 4.34, da mesma forma que ocorreu na análise dos quadros 4.4, 4.5 e 4.6, o gravímetro tipo LaCoste & Romberg que apresenta melhor situação quanto a precisão continua sendo o G143.

4.1.2.2 Aplicação do critério de confiabilidade

4.1.2.2.1 Aplicação do teste global

Aplicou-se o teste global, de acordo com a subseção 2.3.2.1, onde foi confrontada a variância *a posteriori* com a variância *a priori* com um nível de significância de 5%.

QUADRO 4.35 – RESULTADOS DO TESTE GLOBAL

ajustamento	σ_0^2	$\hat{\sigma}_0^2$	χ^{*2}	Intervalo de não rejeição $2,18 \leq \chi^{*2} \leq 17,53$
				hipótese nula
G114TO	1	0,001	0,009	rejeitada
G143TO	1	0,0001	0,0009	rejeitada
G372TO	1	0,0003	0,002	rejeitada
G114VO	1	7,33	58,60	rejeitada
G143VO	1	1,35	10,80	não rejeitada
G372VO	1	2,89	23,09	rejeitada
G114VPO	1	14,93	119,46	rejeitada
G143VPO	1	3,04	24,34	rejeitada
G372VPO	1	6,10	48,77	rejeitada

Com base nos resultados do quadro 4.35 e a exemplo dos resultados apresentados no quadro 4.7, percebe-se mau desempenho em quase todas as soluções analisadas. Apenas para a solução G143VO, na aplicação do teste global, a hipótese nula foi aceita. Fato este, que faz com que não se descarte a hipótese da presença de erro grosseiro nas observações.

4.1.2.2.2 Análise da confiabilidade interna

Repete-se aqui o procedimento realizado na análise explorada na subseção 4.1.1.2.2. Lembre-se que um número de redundância parcial pertencente ao intervalo $[0;0,01)$, é um indicativo da não controlabilidade da observação quanto a inspeção de erros grosseiros. Para um intervalo $[0,01;0,1)$ tem-se controlabilidade ruim, para o intervalo $[0,1;0,3)$ tem-se controlabilidade suficiente e quando o número de redundância parcial pertence ao intervalo $[0,3;1]$, tem-se controlabilidade boa. Nos quadros a seguir, são apresentados os resultados referentes a redundância parcial e controlabilidade das observações.

QUADRO 4.36 – REDUNDÂNCIAS PARCIAIS E CONTROLABILIDADE DAS OBSERVAÇÕES DOS AJUSTAMENTOS G114TO, G143TO e G372TO

Linhas	Redundâncias Parciais			Controlabilidade		
	G114TO	G143TO	G372TO	G114TO	G143TO	G372TO
01	0,30	0,30	0,30	boa	boa	boa
02	0,26	0,26	0,26	suf	suf	suf
03	0,23	0,22	0,22	suf	suf	suf
04	0,15	0,15	0,15	suf	suf	suf
05	0,27	0,27	0,27	suf	suf	suf
06	0,31	0,31	0,32	boa	boa	boa
07	0,39	0,39	0,39	boa	boa	boa
09	0,31	0,31	0,31	boa	boa	boa
10	0,18	0,19	0,19	suf	suf	suf
11	0,29	0,29	0,29	suf	suf	suf
12	0,39	0,38	0,38	boa	boa	boa
13	0,49	0,49	0,49	boa	boa	boa
14a	0,27	0,28	0,28	suf	suf	suf
14b	0,29	0,27	0,28	suf	suf	suf
15a	0,39	0,39	0,38	boa	boa	boa
15b	0,24	0,24	0,25	suf	suf	suf
16	0,32	0,32	0,32	boa	boa	boa
17	0,18	0,18	0,18	suf	suf	suf
18a	0,28	0,28	0,27	suf	suf	suf
18b	0,27	0,27	0,27	suf	suf	suf
19a	0,13	0,13	0,12	suf	suf	suf
20	0,24	0,24	0,24	suf	suf	suf
21	0,44	0,43	0,43	boa	boa	boa
23a	0,55	0,55	0,56	boa	boa	boa
23b	0,85	0,85	0,85	boa	boa	boa

QUADRO 4.37 – REDUNDÂNCIAS PARCIAIS E CONTROLABILIDADE DAS OBSERVAÇÕES DOS AJUSTAMENTOS G114VO, G143VO e G372VO

Linhas	Redundâncias Parciais			Controlabilidade		
	G114VO	G143VO	G372VO	G114VO	G143VO	G372VO
01	0,03	0,69	0,72	ruim	boa	boa
02	0,36	0,05	0,03	boa	ruim	ruim
03	0,33	0,06	0,14	boa	ruim	suf
04	0,14	0,03	0,02	suf	ruim	ruim
05	0,09	0,52	0,62	ruim	boa	boa
06	0,14	0,74	0,10	suf	boa	suf
07	0,13	0,34	0,57	suf	boa	boa
09	0,62	0,06	0,15	boa	ruim	suf
10	0,08	0,43	0,56	ruim	boa	boa
11	0,66	0,17	0,26	boa	suf	suf
12	0,01	0,34	0,63	não há	boa	boa
13	0,03	0,41	0,77	ruim	boa	boa
14a	0,84	0,38	0,60	boa	boa	boa
14b	0,00009	0,14	0,04	não há	suf	ruim
15a	0,75	0,78	0,42	boa	boa	boa
15b	0,04	0,55	0,02	ruim	boa	ruim
16	0,15	0,03	0,10	suf	ruim	suf
17	0,49	0,17	0,01	boa	suf	ruim
18a	0,36	0,39	0,31	boa	boa	boa
18b	0,39	0,38	0,10	boa	boa	suf
19a	0,31	0,03	0,10	boa	ruim	suf
20	0,003	0,32	0,11	não há	boa	suf
21	0,75	0,004	0,42	boa	não há	boa
23a	0,37	0,99	0,41	boa	boa	boa
23b	0,91	0,005	0,77	boa	não há	boa

QUADRO 4.38 – REDUNDÂNCIAS PARCIAIS E CONTROLABILIDADE DAS OBSERVAÇÕES DOS AJUSTAMENTOS G114VPO, G143VPO e G372VPO

Linhas	Redundâncias Parciais			Controlabilidade		
	G114VPO	G143VPO	G372VPO	G114VPO	G143VPO	G372VPO
01	0,03	0,65	0,66	ruim	boa	boa
02	0,29	0,04	0,02	suf	ruim	ruim
03	0,30	0,06	0,13	boa	ruim	suf
04	0,13	0,03	0,02	suf	ruim	ruim
05	0,09	0,48	0,58	ruim	boa	boa
06	0,14	0,74	0,11	suf	boa	suf
07	0,14	0,35	0,58	suf	boa	boa
09	0,58	0,05	0,14	boa	ruim	suf
10	0,07	0,39	0,51	ruim	boa	boa
11	0,74	0,23	0,34	boa	suf	boa
12	0,01	0,29	0,55	ruim	suf	boa
13	0,02	0,34	0,69	ruim	boa	boa
14a	0,84	0,40	0,62	boa	boa	boa
14b	0,00009	0,14	0,04	não há	suf	ruim
15a	0,75	0,84	0,45	boa	boa	boa
15b	0,04	0,57	0,02	ruim	boa	ruim
16	0,15	0,03	0,11	suf	ruim	suf
17	0,52	0,19	0,01	boa	suf	ruim
18a	0,37	0,40	0,36	boa	boa	boa
18b	0,39	0,39	0,12	boa	boa	suf
19a	0,35	0,03	0,13	boa	ruim	suf
20	0,003	0,35	0,14	não há	boa	suf
21	0,75	0,004	0,44	boa	não há	boa
23a	0,37	0,99	0,44	boa	boa	boa
23b	0,91	0,005	0,78	boa	não há	boa

Percebe-se pelos resultados expostos nos quadros 4.36, 4.37 e 4.38, que as redundâncias parciais não sofrem mudanças significativas quando comparadas com as apresentadas nos quadros 4.8, 4.9 e 4.10. A mesma análise feita para os resultados apresentados nos quadros 4.8, 4.9 e 4.10, pode ser repetida aqui também.

QUADRO 4.39 – ESTIMATIVA DO ERRO MÍNIMO QUE PODE SER DETECTADO COM $\alpha_0 = 0,3\%$, $(1 - \beta_0) = 80\%$ e $\delta_0 = 3,87$

Linha	G114TO ∇I_{0_i} (mGal)	G143TO ∇I_{0_i} (mGal)	G372TO ∇I_{0_i} (mGal)
01	21,107	21,018	21,122
02	21,107	21,018	21,122
03	21,999	22,028	22,103
04	21,999	22,028	22,103
05	21,999	22,028	22,103
06	16,274	16,176	16,147
07	14,522	14,459	14,453
09	18,555	18,602	18,672
10	18,555	18,602	18,672
11	17,095	17,099	17,158
12	16,417	16,331	16,426
13	14,936	14,818	14,790
14a	16,660	16,583	16,682
14b	16,660	16,583	16,682
15a	13,647	13,578	13,512
15b	17,926	17,910	17,996
16	17,926	17,910	17,996
17	18,304	18,295	18,411
18a	17,440	17,477	17,535
18b	17,440	17,477	17,535
19a	20,593	20,594	20,618
20	20,593	20,594	20,618
21	16,274	16,176	16,147
23a	15,077	15,057	15,084
23b	21,254	21,235	21,158

QUADRO 4.40 – ESTIMATIVA DO ERRO MÍNIMO QUE PODE SER DETECTADO COM $\alpha_0 = 0,3\%$, $(1 - \beta_0) = 80\%$ e $\delta_0 = 3,87$

Linha	G114VO ∇I_{0_i} (mGal)	G143VO ∇I_{0_i} (mGal)	G372VO ∇I_{0_i} (mGal)
01	0,257	0,339	0,467
02	0,257	0,339	0,467
03	0,491	0,268	0,562
04	0,491	0,268	0,562
05	0,491	0,268	0,562
06	0,259	0,185	0,228
07	0,236	0,171	0,230
09	0,514	0,244	0,418
10	0,514	0,244	0,418
11	0,267	0,227	0,397
12	0,237	0,258	0,249
13	0,122	0,188	0,233
14a	0,345	0,249	0,150
14b	0,345	0,249	0,150
15a	0,143	0,225	0,137
15b	0,297	0,266	0,142
16	0,297	0,266	0,142
17	0,472	0,292	0,236
18a	0,538	0,346	0,227
18b	0,538	0,346	0,227
19a	0,499	0,296	0,380
20	0,499	0,296	0,380
21	0,259	0,185	0,228
23a	0,126	0,087	0,167
23b	0,214	0,079	0,193

QUADRO 4.41 – ESTIMATIVA DO ERRO MÍNIMO QUE PODE SER DETECTADO COM $\alpha_0 = 0,3\%$, $(1 - \beta_0) = 80\%$ e $\delta_0 = 3,87$

Linha	G114VPO ∇I_{0_i} (mGal)	G143VPO ∇I_{0_i} (mGal)	G372VPO ∇I_{0_i} (mGal)
01	0,165	0,201	0,282
02	0,165	0,201	0,282
03	0,296	0,161	0,336
04	0,296	0,161	0,336
05	0,296	0,161	0,336
06	0,183	0,130	0,159
07	0,165	0,120	0,161
09	0,306	0,148	0,254
10	0,306	0,148	0,254
11	0,178	0,137	0,247
12	0,155	0,161	0,154
13	0,084	0,120	0,142
14a	0,244	0,172	0,105
14b	0,244	0,172	0,105
15a	0,101	0,154	0,094
15b	0,209	0,184	0,098
16	0,209	0,184	0,098
17	0,326	0,196	0,149
18a	0,376	0,242	0,148
18b	0,376	0,242	0,148
19a	0,333	0,199	0,239
20	0,333	0,199	0,239
21	0,183	0,130	0,159
23a	0,089	0,061	0,113
23b	0,151	0,055	0,135

Comparando os resultados apresentados nos quadros 4.39, 4.40 e 4.41, respectivamente com os resultados dos quadros 4.11, 4.12 e 4.13, verifica-se que não há uma diferença significativa nos resultados. As mesmas implicações lá constatadas, repetem-se aqui. Neste caso, também se observa uma grande diferença na magnitude dos valores apresentados no quadro 4.39 em comparação com os apresentados nos quadros 4.40 e 4.41. Essa magnitude alta dos valores apresentados no quadro 4.39 é devido à ponderação dada às observações. Mais uma vez tem-se o indicativo que esta forma de ponderação não é a mais adequada para observações gravimétricas. Os resultados do quadro 4.39, confirmam que esta forma de ponderação das observações compromete a análise de confiabilidade.

Mesmo considerando todos esses aspectos relacionados com o erro mínimo que é sensível ao teste, aplicou-se o teste *data snooping* nas soluções analisadas nesta subseção. A conclusão também foi à mesma obtida anteriormente: nenhuma observação foi localizada com a presença de erro grosseiro.

4.1.2.2.3 Análise da confiabilidade externa

A seguir, nos quadros 4.42 ao 4.44, são apresentados os resultados quanto a estimativa do erro grosseiro presente em cada observação. E dos quadros 4.45 ao 4.47, são apresentadas as influências dos erros grosseiros estimados sobre os parâmetros.

QUADRO 4.42 – ESTIMATIVA DO ERRO GROSSEIRO PRESENTE EM CADA OBSERVAÇÃO

Linha	Ajustamentos		
	G114TO ∇_i (mGal)	G143TO ∇_i (mGal)	G372TO ∇_i (mGal)
01	-0,012	0,075	-0,069
02	-0,012	0,075	-0,069
03	-0,075	-0,057	0,123
04	-0,075	-0,057	0,123
05	0,075	0,057	-0,123
06	-0,045	0,042	0,006
07	0,129	0,006	-0,036
09	-0,216	0,086	-0,019
10	-0,216	0,086	-0,019
11	-0,037	-0,084	0,119
12	0,103	0,042	0,003
13	0,072	0,073	0,014
14a	-0,034	0,027	0,069
14b	-0,034	0,027	0,069
15a	0,012	0,014	-0,036
15b	0,092	0,028	0,135
16	-0,092	-0,028	-0,135
17	0,137	-0,003	0,056
18a	-0,114	0,037	0,111
18b	0,114	-0,037	-0,111
19a	0,333	-0,056	-0,083
20	0,333	-0,056	-0,083
21	0,045	-0,042	-0,006
23a	0,117	-0,054	-0,097
23b	0,390	-0,032	-0,093

QUADRO 4.43 – ESTIMATIVA DO ERRO GROSSEIRO PRESENTE EM CADA OBSERVAÇÃO

Linha	Ajustamentos		
	G114VO ∇_i (mGal)	G143VO ∇_i (mGal)	G372VO ∇_i (mGal)
01	0,051	0,099	-0,147
02	0,051	0,099	-0,147
03	-0,102	-0,071	0,122
04	-0,102	-0,071	0,122
05	0,102	0,071	-0,122
06	0,007	0,038	0,005
07	0,078	0,017	-0,022
09	-0,232	0,091	0,021
10	-0,232	0,091	0,021
11	-0,085	-0,095	0,167
12	0,099	0,040	0,079
13	0,042	0,037	0,050
14a	0,025	0,029	0,109
14b	0,025	0,029	0,109
15a	0,018	-0,001	-0,098
15b	0,105	0,015	0,136
16	-0,105	-0,015	-0,136
17	0,219	-0,022	0,109
18a	-0,092	0,034	0,127
18b	0,092	-0,034	-0,127
19a	0,324	-0,047	-0,073
20	0,324	-0,047	-0,073
21	-0,007	-0,038	-0,005
23a	0,105	-0,057	-0,125
23b	0,394	-0,046	-0,109

QUADRO 4.44 – ESTIMATIVA DO ERRO GROSSEIRO PRESENTE EM CADA OBSERVAÇÃO

Linha	Ajustamentos		
	G114VPO ∇_i (mGal)	G143VPO ∇_i (mGal)	G372VPO ∇_i (mGal)
01	0,052	0,097	-0,128
02	0,052	0,097	-0,128
03	-0,058	-0,073	0,105
04	-0,058	-0,073	0,105
05	0,058	0,073	-0,105
06	0,006	0,039	0,005
07	0,084	0,015	-0,022
09	-0,209	0,089	0,008
10	-0,209	0,089	0,008
11	-0,081	-0,099	0,155
12	0,098	0,046	0,074
13	0,043	0,041	0,050
14a	0,023	0,031	0,105
14b	0,023	0,031	0,105
15a	0,017	0,000	-0,090
15b	0,111	0,014	0,136
16	-0,111	-0,014	-0,136
17	0,230	-0,023	0,105
18a	-0,105	0,036	0,126
18b	0,105	-0,036	-0,126
19a	0,321	-0,048	-0,060
20	0,321	-0,048	-0,060
21	-0,006	-0,039	-0,005
23a	0,103	-0,057	-0,122
23b	0,394	-0,045	-0,102

QUADRO 4.45 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G114TO

Parâmetros	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	0,084	0,018
Bituruna	0,091	0,033
Clevelândia	0,114	0,039
Francisco Beltrão	0,118	0,018
Toledo	0,107	0,037
Laranjeiras do sul	0,101	-0,022
Guarapuava	0,085	0,028
Ponta Grossa	0,065	-0,022
Jaguariaíva	0,065	-0,058
Joaquim Távora	0,087	-0,043
Ortigueira	0,087	-0,037
Londrina	0,088	-0,057
Maringá	0,094	-0,020
Iretama	0,099	0,007
Paranavaí	0,105	0,131
Goio-erê	0,112	0,115
Guaira	0,121	0,062

QUADRO 4.46 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G143TO

Parâmetros	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	0,028	0,006
Bituruna	0,030	0,020
Clevelândia	0,037	0,017
Francisco Beltrão	0,039	-0,003
Toledo	0,035	0,006
Laranjeiras do sul	0,033	0,033
Guarapuava	0,028	0,016
Ponta Grossa	0,021	0,015
Jaguariaíva	0,022	0,004
Joaquim Távora	0,029	0,013
Ortigueira	0,029	0,016
Londrina	0,029	0,015
Maringá	0,031	0,018
Iretama	0,032	0,017
Paranavaí	0,035	-0,008
Goio-erê	0,037	-0,005
Guaira	0,040	0,008

QUADRO 4.47 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G372TO

Parâmetros	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	0,043	-0,001
Bituruna	0,046	-0,013
Clevelândia	0,058	-0,009
Francisco Beltrão	0,060	0,030
Toledo	0,055	0,008
Laranjeiras do sul	0,052	0,002
Guarapuava	0,043	0,005
Ponta Grossa	0,033	0,003
Jaguariaíva	0,033	-0,013
Joaquim Távora	0,045	0,009
Ortigueira	0,044	0,000
Londrina	0,045	-0,003
Maringá	0,048	0,020
Iretama	0,050	0,012
Paranavaí	0,054	-0,018
Goio-erê	0,057	-0,012
Guaira	0,061	0,000

De acordo com os resultados apresentados nos quadros 4.45, 4.46 e 4.47, a precisão média para as estações gravimétricas é respectivamente de 95, 31 e 49 μ Gal, enquanto que a influência média sofrida pelas estações gravimétricas pelos erros grosseiros não localizados é de 44, 13 e 9 μ Gal respectivamente. Novamente

tem-se como melhor situação em confiabilidade externa, a solução obtida com observações oriundas do gravímetro G143. A diferença entre os resultados apresentados nos quadros 4.45 ao 4.47 e 4.17 ao 4.19 é pequena, tanto em precisão como em confiabilidade externa, mas em favor a estratégia utilizada para obter os resultados apresentados nos quadros 4.18 e 4.19.

QUADRO 4.48 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G114VO

Parâmetros	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	0,033	0,044
Bituruna	0,088	0,026
Clevelândia	0,169	0,102
Francisco Beltrão	0,171	0,077
Toledo	0,166	0,025
Laranjeiras do sul	0,100	-0,293
Guarapuava	0,024	-0,132
Ponta Grossa	0,015	-0,038
Jaguariaíva	0,043	-0,068
Joaquim Távora	0,059	0,015
Ortigueira	0,088	0,071
Londrina	0,088	0,046
Maringá	0,164	-0,215
Iretama	0,184	-0,178
Paranavaí	0,169	-0,326
Goio-erê	0,168	-0,006
Guaira	0,176	0,025

QUADRO 4.49 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G143VO

Parâmetros	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	0,047	-0,128
Bituruna	0,045	-0,044
Clevelândia	0,048	-0,094
Francisco Beltrão	0,049	-0,155
Toledo	0,050	-0,041
Laranjeiras do sul	0,050	-0,109
Guarapuava	0,042	-0,017
Ponta Grossa	0,028	-0,008
Jaguariaíva	0,002	-0,046
Joaquim Távora	0,040	-0,033
Ortigueira	0,041	-0,001
Londrina	0,040	-0,018
Maringá	0,046	-0,018
Iretama	0,060	-0,018
Paranavaí	0,047	-0,061
Goio-erê	0,051	-0,048
Guaira	0,052	-0,085

QUADRO 4.50 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G372VO

Parâmetros	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	0,092	0,382
Bituruna	0,089	0,254
Clevelândia	0,114	0,310
Francisco Beltrão	0,117	0,422
Toledo	0,087	0,240
Laranjeiras do sul	0,098	0,238
Guarapuava	0,061	0,288
Ponta Grossa	0,043	0,101
Jaguariaíva	0,036	0,003
Joaquim Távora	0,037	0,125
Ortigueira	0,042	0,284
Londrina	0,041	0,195
Maringá	0,041	0,299
Iretama	0,059	0,228
Paranavaí	0,065	0,260
Goio-erê	0,079	0,223
Guaira	0,088	0,240

QUADRO 4.51 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G114VPO

Parâmetros	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	0,027	0,046
Bituruna	0,077	0,036
Clevelândia	0,143	0,055
Francisco Beltrão	0,148	0,031
Toledo	0,145	-0,005
Laranjeiras do sul	0,082	-0,282
Guarapuava	0,020	-0,135
Ponta Grossa	0,012	-0,041
Jaguariaíva	0,043	-0,069
Joaquim Távora	0,059	0,019
Ortigueira	0,089	0,076
Londrina	0,089	0,053
Maringá	0,160	-0,218
Iretama	0,184	-0,181
Paranavaí	0,151	-0,355
Goio-erê	0,150	-0,039
Guaira	0,157	-0,006

QUADRO 4.52 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G143VPO

Parâmetros	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	0,043	-0,108
Bituruna	0,042	-0,025
Clevelândia	0,044	-0,078
Francisco Beltrão	0,045	-0,141
Toledo	0,046	-0,033
Laranjeiras do sul	0,046	-0,101
Guarapuava	0,038	-0,023
Ponta Grossa	0,026	-0,011
Jaguariaíva	0,002	-0,045
Joaquim Távora	0,041	-0,032
Ortigueira	0,042	-0,001
Londrina	0,041	-0,018
Maringá	0,047	-0,017
Iretama	0,061	-0,021
Paranavaí	0,048	-0,060
Goio-erê	0,049	-0,040
Guaira	0,049	-0,078

QUADRO 4.53 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G372VPO

Parâmetros	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	0,085	0,276
Bituruna	0,083	0,163
Civelândia	0,102	0,223
Francisco Beltrão	0,104	0,322
Toledo	0,083	0,223
Laranjeiras do sul	0,089	0,220
Guarapuava	0,058	0,231
Ponta Grossa	0,042	0,089
Jaguariaíva	0,036	-0,012
Joaquim Távora	0,037	0,110
Ortigueira	0,042	0,263
Londrina	0,040	0,177
Maringá	0,041	0,276
Iretama	0,057	0,180
Paranavaí	0,065	0,243
Goio-erê	0,078	0,213
Guaira	0,085	0,224

Comparando os resultados apresentados nos quadros 4.21 ao 4.23 e do 4.25 ao 4.27 respectivamente com os resultados apresentados nos quadros 4.48 ao 4.53, utilizando a tabela original de calibração dos gravímetros, a confiabilidade externa fica melhor, em média, apenas para as soluções envolvendo o gravímetro G143. Para os outros dois gravímetros LaCoste & Romberg, se tem medida de confiabilidade externa em melhor situação quando se utilizou a tabela de calibração corrigida. Combinando a precisão e a confiabilidade externa, tem-se a mesma situação. Portanto, quando se utiliza a tabela de calibração corrigida e a ponderação das observações como o inverso da variância calculada em cada um dos micro-circuitos, tem-se no geral uma situação melhor em precisão e confiabilidade externa. Das análises dos ajustamentos individuais realizados com os gravímetros tipo LaCoste & Romberg, pode-se concluir ainda que o G143 é que melhor desempenho apresentou, tanto em precisão, quanto em confiabilidade. No geral, o gravímetro digital Scintrex obteve melhor desempenho, superando inclusive o G143.

4.2 AJUSTAMENTO UTILIZANDO OBSERVAÇÕES MÉDIAS

Com o objetivo de melhorar a precisão dos parâmetros obtidos nas soluções individuais, optou-se por uma solução global para rede gravimétrica. As observações

e a estratégia para obtenção da matriz dos pesos utilizadas nos ajustamentos G114V, G114VO, G143V, G143VO, G372V ou G372VO foram combinadas e tais combinações estão descritas a seguir.

Um primeiro ajustamento foi conduzido, com os desníveis gravimétricos corrigidos da maré e da deriva dinâmica, sendo a média aritmética dos desníveis obtidos com os gravímetros G-114, G-143 e G-372, em cada um dos micro-circuitos. Em cada um desses micro-circuitos, foi possível obter duas ou três observações da diferença da gravidade entre duas estações para cada um dos gravímetros, totalizando seis ou nove observações corrigidas apenas da maré. Com essas seis ou nove observações calculou-se uma variância. Então, entrou-se com o peso no ajustamento para cada observação como sendo o inverso dessa variância calculada. Para este ajustamento foi dado o nome de AGLOBAL1.

Em uma segunda concepção de ajustamento global, quase que se repetiu à concepção do ajustamento AGLOBAL1, A única diferença para o ajustamento anterior foi a ponderação dada à variância calculada. A variância calculada para o ajustamento AGLOBAL1, ora foi obtida com seis observações, ora com nove observações. Então neste novo ajustamento, também pelo método paramétrico, identificado por AGLOBAL2, nas linhas em que a variância foi obtida com seis observações, multiplica-se o peso por seis e nas linhas em a variância foi obtida com nove observações, multiplicando-se o peso por nove.

Em uma terceira concepção de ajustamento global da rede gravimétrica, efetuou-se em cada uma das 23 linhas de observação, um micro-ajustamento pelo método paramétrico. Em cada uma dessas linhas de observação ou micro-circuitos, tem-se uma ou duas observações do desnível gravimétrico relativa a cada um dos três gravímetros LaCoste & Romberg. Efetuou-se o micro-ajustamento em cada um dos micro-circuitos com essas três ou seis observações, atribuindo-se peso unitário a elas. Objetivou-se estimar o parâmetro, neste caso a média aritmética das três ou seis observações envolvidas, bem como estimar a variância desse parâmetro. De posse dos 23 parâmetros estimados, neste caso os desníveis gravimétricos entre duas estações, com suas variâncias estimadas dos micro-ajustamentos, efetuou-se um novo ajustamento global chamado agora de AGLOBAL3. Nessas três concepções de ajustamento global, trabalha-se com valores médios de diferença de gravidade para as respectivas linhas gravimétricas (micro-circuitos).

4.2.1 Ajustamento da Rede Utilizando a Tabela de Calibração Corrigida

4.2.1.1 Aplicação dos critérios de precisão para redes geodésicas e do teste para igualdade de valores próprios

Com a mesma metodologia utilizada nos ajustamentos individuais, aplicaram-se aqui os critérios de precisão e o teste para igualdade de valores próprios. No quadro 4.54 estão os resultados do teste de igualdade de valores próprios e no quadro 4.55 os resultados da aplicação dos critérios de precisão.

QUADRO 4.54 – TESTE DE IGUALDADE DE VALORES PRÓPRIOS

DADOS	AGLOBAL1	AGLOBAL2	AGLOBAL3
r	6	6	6
b	17	17	17
α	5%	5%	5%
Estatística Calculada	106,606	99,773	98,037
$\chi^2_{152;0,95}$	181,77	181,77	181,77

QUADRO 4.55 – APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PRECISÃO

Crítérios	AGLOBAL1	AGLOBAL2	AGLOBAL3
$\det(\sum_{xa})$	$1,3 \cdot 10^{-66}$	$9,0 \cdot 10^{-67}$	$1,4 \cdot 10^{-66}$
$\text{tr}(\sum_{xa})$	0,00644	0,00589	0,00594
$\lambda_{\text{máx}}$	0,00313	0,00259	0,00195
$\frac{\lambda_{\text{máx}}}{\lambda_{\text{mín}}}$	127,328	122,392	147,209

Essas três soluções globais apresentaram característica global de homogeneidade e isotropismo, nas mesmas condições em que as soluções individuais foram submetidas ao teste para igualdade de valores próprios. As soluções AGLOBAL1, AGLOBAL2 e AGLOBAL3, comparadas com as soluções individuais que envolvem os gravímetros tipo LaCoste & Romberg, apresentaram situações bem melhores que as soluções individuais quando aplicado os critérios de precisão. Analisando os resultados obtidos na análise de precisão, a solução AGLOBAL1 é a única que não supera as soluções individuais SCINTREXV e SCINTREXVP. Estas duas são soluções individuais oriundas de dados do gravímetro digital Scintrex, as quais mostraram melhores resultados em relação a todas soluções individuais. Mas acrescenta-se que a diferença em precisão da

solução AGLOBAL1 e essas duas envolvendo o gravímetro Scintrex são pequenas. Consta-se que as soluções AGLOBAL1, AGLOBAL2 e AGLOBAL3, de acordo com a análise dos critérios de precisão, apresentam situação de precisão muito próximas uma da outra.

4.2.1.2 Aplicação do critério de confiabilidade

Seguindo a mesma metodologia aplicada nos ajustamentos individuais, na seqüência são apresentados os resultados obtidos da aplicação do critério de confiabilidade para as soluções obtidas na estratégia de ajustamento global da rede gravimétrica.

Com a análise do quadro 4.56, verifica-se que das soluções globais propostas, a solução AGLOBAL1 foi à única a ser reprovada no teste global. A variância da unidade de peso *a posteriori* foi confrontada com a variância da unidade de peso *a priori* ao nível de significância de 5%.

QUADRO 4.56 – RESULTADOS DO TESTE GLOBAL

Ajustamento	σ_0^2	$\hat{\sigma}_0^2$	χ^{*2}	Intervalo de não rejeição
				$1,24 \leq \chi^{*2} \leq 14,45$
AGLOBAL1	1	0,09	0,54	hipótese nula rejeitada
AGLOBAL2	1	0,63	3,76	não rejeitada
AGLOBAL3	1	0,70	4,20	não rejeitada

Verifica-se no quadro 4.57 que as soluções AGLOBAL1, AGLOBAL2 e AGLOBAL3 apresentam, quase que na totalidade, observações com controlabilidade classificadas como suficiente ou boa. Mesmo assim, devido ao número de redundância do sistema (graus de liberdade), os números de redundâncias parciais continuam no geral baixos. Isto com certeza prejudicará na localização de possíveis observações afetadas com erros grosseiros. Existindo observações afetadas por erros, dificilmente tais erros serão localizados aplicando o teste *data snooping*, pois provavelmente tais erros são distribuídos nos parâmetros e não sobre os resíduos.

QUADRO 4.57 – REDUNDÂNCIAS PARCIAIS E CONTROLABILIDADE DAS OBSERVAÇÕES DOS AJUSTAMENTOS AGLOBAL1, AGLOBAL2 E AGLOBAL3

Linha	Redundâncias Parciais			Controlabilidade		
	AGLOBAL1	AGLOBAL2	AGLOBAL3	AGLOBAL1	AGLOBAL2	AGLOBAL3
01	0,64	0,60	0,17	boa	boa	suf
02	0,05	0,05	0,10	ruim	ruim	suf
03	0,18	0,17	0,16	suf	suf	suf
04	0,07	0,06	0,07	ruim	ruim	ruim
05	0,33	0,31	0,34	boa	boa	boa
06	0,28	0,28	0,32	suf	suf	boa
07	0,40	0,40	0,51	boa	boa	boa
09	0,24	0,22	0,18	suf	suf	suf
10	0,21	0,19	0,20	suf	suf	suf
11	0,23	0,31	0,47	suf	boa	boa
12	0,20	0,17	0,29	suf	suf	suf
13	0,08	0,07	0,12	ruim	ruim	suf
14a	0,22	0,22	0,03	suf	suf	ruim
14b	0,08	0,08	0,14	ruim	ruim	suf
15a	0,16	0,16	0,14	suf	suf	suf
15b	0,47	0,47	0,52	boa	boa	boa
16	0,25	0,25	0,30	suf	suf	boa
17	0,24	0,25	0,26	suf	suf	suf
18a	0,22	0,23	0,14	suf	suf	suf
18b	0,35	0,36	0,45	boa	boa	boa
19a	0,05	0,06	0,03	ruim	ruim	ruim
20	0,70	0,74	0,88	boa	boa	boa
21	0,35	0,35	0,19	boa	boa	suf

Verifica-se nos resultados apresentados no quadro 4.58, que as soluções AGLOBAL2 e AGLOBAL3 apresentam uma situação melhor, ou seja, nessas duas soluções as estimativas são menores que na solução AGLOBAL1. Comparando os resultados aqui obtidos para as soluções AGLOBAL2 e AGLOBAL3 com as soluções individuais SCINTREXV e SCINTREXVP, verifica-se uma melhor situação em favor das soluções AGLOBAL2 e AGLOBAL3.

QUADRO 4.58 – ESTIMATIVA DO ERRO MÍNIMO QUE PODE SER DETECTADO COM $\alpha_0 = 0,45\%$, $(1 - \beta_0) = 80\%$ e $\delta_0 = 3,70$

Linha	AGLOBAL1 ∇I_{0_i} (mGal)	AGLOBAL2 ∇I_{0_i} (mGal)	AGLOBAL3 ∇I_{0_i} (mGal)
01	0,435	0,150	0,099
02	0,435	0,150	0,099
03	0,513	0,176	0,164
04	0,513	0,176	0,164
05	0,513	0,176	0,164
06	0,248	0,101	0,112
07	0,244	0,100	0,112
09	0,485	0,168	0,161
10	0,485	0,168	0,161
11	0,357	0,126	0,097
12	0,325	0,119	0,092
13	0,435	0,150	0,099
14a	0,351	0,142	0,154
14b	0,351	0,142	0,154
15a	0,488	0,199	0,285
15b	0,488	0,199	0,285
16	0,488	0,199	0,285
17	0,425	0,170	0,175
18a	0,431	0,174	0,177
18b	0,431	0,174	0,177
19a	0,732	0,292	0,419
20	0,732	0,292	0,419
21	0,248	0,101	0,112

Mais uma vez, a expectativa em se localizar observações com erros grosseiros aplicando o teste *data snooping* foi em vão. Mas sabe-se então que o erro máximo que uma observação pode estar influenciada, uma vez que o teste *data snooping* não localizou nenhum erro nas respectivas observações, são os apresentados no quadro 4.58. Com o objetivo de realizar a análise de confiabilidade externa, no quadro 4.59 estão apresentadas as estimativas de possíveis erros grosseiros presentes nas respectivas observações. Nos quadros 4.60 ao 4.63 estão

apresentadas as influências dessas estimativas de erros grosseiros sobre os parâmetros envolvidos.

QUADRO 4.59 – ESTIMATIVA DO ERRO GROSSEIRO PRESENTE EM CADA OBSERVAÇÃO

Linhas	AGLOBAL1 ∇_i (mGal)	AGLOBAL2 ∇_i (mGal)	AGLOBAL3 ∇_i (mGal)
01	0,039	0,042	0,043
02	0,039	0,042	0,043
03	0,016	0,022	0,036
04	0,016	0,022	0,036
05	-0,016	-0,022	-0,036
06	0,011	0,011	0,012
07	0,017	0,017	0,015
09	-0,038	-0,038	-0,041
10	-0,038	-0,038	-0,041
11	-0,019	-0,018	-0,029
12	0,043	0,044	0,043
13	0,039	0,042	0,043
14a	0,008	0,007	0,002
14b	0,008	0,007	0,002
15a	-0,064	-0,065	-0,061
15b	0,064	0,065	0,061
16	-0,064	-0,065	-0,061
17	0,036	0,037	0,021
18a	0,019	0,019	0,014
18b	-0,019	-0,019	-0,014
19a	0,054	0,054	0,043
20	0,054	0,054	0,043
21	-0,011	-0,011	-0,012

QUADRO 4.60 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO AGLOBAL1

Parâmetros	Gravidade (mGal)	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	978777,472	0,017	-0,068
Bituruna	978779,415	0,016	-0,038
Civelândia	978785,897	0,022	-0,038
Francisco Beltrão	978807,848	0,023	-0,028
Toledo	978798,280	0,023	-0,043
Laranjeiras do sul	978704,744	0,020	-0,041
Guarapuava	978679,213	0,013	-0,035
Ponta Grossa	978718,604	0,009	-0,026
Jaguariaíva	978652,177	0,017	0,001
Joaquim Távora	978670,214	0,021	-0,041
Ortigueira	978678,787	0,015	-0,028
Londrina	978636,829	0,016	-0,034
Maringá	978666,819	0,019	-0,029
Iretama	978715,251	0,020	-0,027
Paranavaí	978677,862	0,023	0,017
Goio-erê	978744,602	0,024	-0,040
Guaíra	978800,517	0,024	-0,041

QUADRO 4.61 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO AGLOBAL2

Parâmetros	Gravidade (mGal)	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	978777,472	0,016	-0,072
Bituruna	978779,415	0,015	-0,039
Clevelândia	978785,896	0,020	-0,040
Francisco Beltrão	978807,847	0,020	-0,026
Toledo	978798,277	0,021	-0,046
Laranjeiras do sul	978704,742	0,018	-0,046
Guarapuava	978679,211	0,012	-0,041
Ponta Grossa	978718,604	0,008	-0,028
Jaguariaíva	978652,177	0,018	0,000
Joaquim Távora	978670,213	0,022	-0,042
Ortigueira	978678,787	0,015	-0,030
Londrina	978636,829	0,016	-0,035
Maringá	978666,818	0,020	-0,031
Iretama	978715,250	0,020	-0,031
Paranavaí	978677,861	0,024	0,015
Goio-erê	978744,599	0,023	-0,043
Guaíra	978800,514	0,023	-0,044

QUADRO 4.62 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO AGLOBAL3

Parâmetros	Gravidade (mGal)	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	978777,489	0,009	0,006
Bituruna	978779,430	0,010	0,028
Clevelândia	978785,910	0,016	0,027
Francisco Beltrão	978807,859	0,018	0,046
Toledo	978798,284	0,019	0,004
Laranjeiras do sul	978704,750	0,017	0,003
Guarapuava	978679,219	0,011	-0,002
Ponta Grossa	978718,606	0,007	-0,016
Jaguariaíva	978652,181	0,023	0,018
Joaquim Távora	978670,216	0,031	-0,021
Ortigueira	978678,787	0,009	-0,017
Londrina	978636,830	0,015	-0,016
Maringá	978666,822	0,020	-0,008
Iretama	978715,257	0,021	0,001
Paranavaí	978677,867	0,025	0,033
Goio-erê	978744,607	0,023	0,011
Guaíra	978800,520	0,022	0,005

Dos resultados da análise de confiabilidade externa das soluções globais, cujos resultados estão expostos nos quadros 4.60 ao 4.62, tem-se respectivamente

como precisão média para as estações gravimétricas 19, 18 e 17 μGal e influência média dos erros não localizados sobre os parâmetros 34, 36 e 15 μGal respectivamente para cada solução global. Verificou-se pela análise dos critérios de precisão que essas soluções globais superaram as soluções individuais. Levando em consideração os valores médios de precisão e os valores médios da influência dos erros grosseiros não localizados sobre os parâmetros, a rigor a solução AGLOBAL3 é a rigor, a única que realmente supera as soluções individuais obtidas com observações oriundas do gravímetro digital Scintrex.

Como verificado anteriormente, as soluções AGLOBAL1, AGLOBAL2, AGLOBAL3, SCINTREXV e SCINTREXVP, apresentam precisão muito próxima uma da outra e portanto a diferença entre elas está na confiabilidade. Recorda-se que as soluções AGLOBAL1, SCINTREXV e SCINTREXVP não passaram no teste global, a exemplo de outras soluções individuais analisadas. Portanto, a dúvida quanto à presença de erros grosseiros nas observações persiste.

4.2.2 Ajustamento da Rede Utilizando a Tabela de Calibração Original

4.2.2.1 Aplicação dos critérios de precisão para redes geodésicas e do teste para igualdade de valores próprios

Com a mesma metodologia utilizada nos ajustamentos com os quais se obtiveram as soluções AGLOBAL1, AGLOBAL2 e AGLOBAL3, aplicaram-se aqui os critérios de precisão e o teste para igualdade de valores próprios de acordo com o exposto na subseção 2.3.1.

Da análise dos quadros 4.63 e 4.64, apenas a solução AGLOBAL3O não apresentou característica global de homogeneidade e isotropismo. Comparando os resultados apresentados nesses dois quadros acima com os resultados apresentados nos quadros 4.54 e 4.55, fica muito mais clara a diferença de precisão entre se ajustar uma rede gravimétrica utilizando a estratégia (a) ou (b), ambas descritas na subseção 3.4. Percebe-se aí a diferença entre as soluções AGLOBAL1 e AGLOBAL1O, AGLOBAL2 e AGLOBAL2O, AGLOBAL3 e AGLOBAL3O. Portanto, fica mais fácil concluir com as análises das soluções globais propostas,

considerando o critério precisão, que é melhor ajustar uma rede gravimétrica utilizando a estratégia (b).

QUADRO 4.63 – TESTE DE IGUALDADE DE VALORES PRÓPRIOS

DADOS	AGLOBAL10	AGLOBAL20	AGLOBAL30
r	8	8	8
b	17	17	17
α	5%	5%	5%
Estatística Calculada	156,455	147,556	184,058
$\chi^2_{152;0,95}$	181,77	181,77	181,77

QUADRO 4.64 – APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PRECISÃO

Crítérios	AGLOBAL10	AGLOBAL20	AGLOBAL30
$\det(\sum_{xa})$	$3,6 \cdot 10^{-48}$	$3,5 \cdot 10^{-49}$	$3,4 \cdot 10^{-54}$
$\text{tr}(\sum_{xa})$	0,08697	0,07106	0,04712
$\lambda_{\text{máx}}$	0,044178	0,03347	0,02149
$\frac{\lambda_{\text{máx}}}{\lambda_{\text{mín}}}$	198,11178	216,28911	786,70299

4.2.2.2 Aplicação do critério de confiabilidade

Seguindo a mesma metodologia aplicada nos ajustamentos anteriores, na seqüência são apresentados os resultados obtidos da aplicação do critério de confiabilidade.

Com a análise do quadro 4.65, verifica-se que das soluções globais propostas, na aplicação do teste global, todas tiveram a hipótese nula aceita. Já a solução AGLOBAL10 apresenta melhor situação na aplicação do teste global quando comparada com as soluções AGLOBAL20 e AGLOBAL30. Esta oscilação nos resultados do teste global, quando comparados os quadros 4.56 e 4.65, realimenta ainda mais a suspeita da presença de erros grosseiros nas observações. Mas por enquanto, se continua sem poder afirmar nada a respeito.

QUADRO 4.65 – RESULTADOS DO TESTE GLOBAL

Ajustamento	σ_0^2	$\hat{\sigma}_0^2$	χ^{*2}	Intervalo de não rejeição
				$2,18 \leq \chi^{*2} \leq 17,53$ hipótese nula
AGLOBAL10	1	0,74	5,88	não rejeitada
AGLOBAL20	1	1,53	12,21	não rejeitada
AGLOBAL30	1	2,08	16,66	não rejeitada

QUADRO 4.66 – REDUNDÂNCIAS PARCIAIS E CONTROLABILIDADE DAS OBSERVAÇÕES DOS AJUSTAMENTOS AGLOBAL10, AGLOBAL20 E AGLOBAL30

Linha	Redundâncias Parciais			Controlabilidade		
	AGLOBAL10	AGLOBAL20	AGLOBAL30	AGLOBAL10	AGLOBAL20	AGLOBAL30
01	0,43	0,38	0,36	boa	boa	boa
02	0,02	0,02	0,01	ruim	ruim	ruim
03	0,09	0,08	0,05	ruim	ruim	ruim
04	0,07	0,06	0,06	ruim	ruim	ruim
05	0,21	0,19	0,14	suf	suf	suf
06	0,07	0,07	0,04	ruim	ruim	ruim
07	0,53	0,53	0,56	boa	boa	boa
09	0,42	0,39	0,42	boa	boa	boa
10	0,08	0,08	0,02	ruim	ruim	ruim
11	0,62	0,70	0,81	boa	boa	boa
12	0,15	0,12	0,08	suf	suf	ruim
13	0,39	0,32	0,27	boa	boa	suf
14a	0,41	0,42	0,43	boa	boa	boa
14b	0,15	0,15	0,20	suf	suf	suf
15a	0,61	0,63	0,67	boa	boa	boa
15b	0,30	0,31	0,34	boa	boa	boa
16	0,15	0,16	0,17	suf	suf	suf
17	0,15	0,15	0,09	suf	suf	ruim
18a	0,38	0,39	0,46	boa	boa	boa
18b	0,14	0,14	0,01	suf	suf	ruim
19a	0,03	0,04	0,02	ruim	ruim	ruim
20	0,75	0,78	0,85	boa	boa	boa
21	0,47	0,47	0,45	boa	boa	boa
22a	0,90	0,90	0,92	boa	boa	boa
22b	0,49	0,52	0,57	boa	boa	boa

Verifica-se que as soluções AGLOBAL10, AGLOBAL20 e AGLOBAL30 quando comparadas com as soluções AGLOBAL1, AGLOBAL2 e AGLOBAL3 apresentam observações com controlabilidade quase que no mesmo nível. Percebe-se uma pequena melhora em algumas observações em favor dos resultados apresentados no quadro 4.66. Esta pequena melhora é visualizada em virtude do aumento do número de redundância do sistema. Como a localização de erros grosseiros nas observações depende fundamentalmente do número de redundância parcial de cada observação, aqui se começa a se fazer necessária uma outra metodologia de ajustamento em que considerando o mesmo rol de observações, fosse possível trabalhar com um número de redundância de sistema (graus de liberdade) maior.

Os resultados apresentados no quadro 4.67 mostram que as soluções AGLOBAL10, AGLOBAL20 e AGLOBAL30 apresentam, respectivamente, valores menos favoráveis que as soluções AGLOBAL1, AGLOBAL2 e AGLOBAL3. Portanto,

nestas soluções a localização de possíveis observações afetadas por erros grosseiros é bem mais favorável e mesmo assim como foi visto anteriormente nenhuma observação foi localizada com erro grosseiro. Então, para as soluções AGLOBAL10, AGLOBAL20 e AGLOBAL30 torna-se ainda mais difícil à localização de erros grosseiros nas observações considerando o teste *data snooping*. Considerando os resultados apresentados nos quadros 4.58 e 4.67 com medidas de confiabilidade interna, as soluções AGLOBAL1, AGLOBAL2 e AGLOBAL3 mostraram-se mais confiáveis que as soluções AGLOBAL10, AGLOBAL20 e AGLOBAL30.

Cabe ser destacado, conforme esperado, nenhuma observação pertencente às soluções AGLOBAL10, AGLOBAL20 e AGLOBAL30 foi localizada com erro grosseiro com aplicação do teste *data snooping*.

QUADRO 4.67 – ESTIMATIVA DO ERRO MÍNIMO QUE PODE SER DETECTADO COM $\alpha_0 = 0,3\%$, $(1 - \beta_0) = 80\%$ e $\delta_0 = 3,87$

Linha	AGLOBAL10 ∇I_{0_i} (mGal)	AGLOBAL20 ∇I_{0_i} (mGal)	AGLOBAL30 ∇I_{0_i} (mGal)
01	0,639	0,390	0,273
02	0,639	0,390	0,273
03	0,716	0,430	0,286
04	0,716	0,430	0,286
05	0,716	0,430	0,286
06	0,532	0,376	0,318
07	0,532	0,376	0,320
09	0,705	0,422	0,283
10	0,705	0,422	0,283
11	0,642	0,426	0,351
12	0,420	0,274	0,185
13	0,432	0,275	0,208
14a	0,451	0,316	0,236
14b	0,451	0,316	0,236
15a	0,460	0,320	0,273
15b	0,497	0,348	0,284
16	0,497	0,348	0,284
17	0,491	0,341	0,230
18a	0,493	0,343	0,230
18b	0,493	0,343	0,230
19a	1,126	0,782	0,681
20	1,126	0,782	0,681
21	0,532	0,376	0,318
22a	0,758	0,534	0,484
22b	0,458	0,314	0,267

Os quadros 4.68, 4.69, 4.70 e 4.71 apresentam resultados relativos à confiabilidade externa.

QUADRO 4.68 – ESTIMATIVA DO ERRO GROSSEIRO PRESENTE EM CADA OBSERVAÇÃO

Linhas	AGLOBAL10 ∇_i (mGal)	AGLOBAL20 ∇_i (mGal)	AGLOBAL30 ∇_i (mGal)
01	-0,012	0,005	0,023
02	-0,012	0,005	0,023
03	-0,001	0,011	0,025
04	-0,001	0,011	0,025
05	0,001	-0,011	-0,025
06	0,005	0,005	0,005
07	0,022	0,022	0,020
09	-0,030	-0,033	-0,036
10	-0,030	-0,033	-0,036
11	0,012	0,004	0,000
12	0,048	0,051	0,055
13	0,128	0,121	0,115
14a	0,046	0,048	0,026
14b	0,046	0,048	0,026
15a	0,039	0,045	0,042
15b	0,132	0,136	0,144
16	-0,132	-0,136	-0,144
17	0,073	0,075	0,070
18a	0,059	0,061	0,062
18b	-0,059	-0,061	-0,062
19a	0,077	0,076	0,066
20	0,077	0,076	0,066
21	-0,005	-0,005	-0,005
22a	0,300	0,291	0,277
22b	0,259	0,255	0,252

QUADRO 4.69 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO AGLOBAL10

Parâmetros	Gravidade (mGal)	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	978777,508	0,070	0,004
Bituruna	978779,455	0,070	-0,007
Clevelândia	978785,942	0,079	-0,007
Francisco Beltrão	978807,902	0,083	-0,008
Toledo	978798,335	0,086	-0,008
Laranjeiras do sul	978704,763	0,067	-0,017
Guarapuava	978679,229	0,054	0,005
Ponta Grossa	978718,636	0,047	0,020
Jaguariaíva	978652,218	0,051	-0,017
Joaquim Távora	978670,253	0,063	-0,041
Ortigueira	978678,821	0,063	0,035
Londrina	978636,854	0,061	0,010
Maringá	978666,851	0,066	0,034
Iretama	978715,282	0,063	-0,014
Paranavaí	978677,898	0,079	0,103
Goio-erê	978744,642	0,101	0,000
Guaíra	978800,575	0,091	-0,004

QUADRO 4.70 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO AGLOBAL20

Parâmetros	Gravidade (mGal)	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	978777,501	0,061	-0,023
Bituruna	978779,447	0,061	-0,019
Civelândia	978785,933	0,067	-0,015
Francisco Beltrão	978807,892	0,071	-0,010
Toledo	978798,323	0,074	-0,016
Laranjeiras do sul	978704,751	0,057	-0,042
Guarapuava	978679,217	0,047	-0,021
Ponta Grossa	978718,625	0,041	0,001
Jaguariaíva	978652,212	0,050	-0,033
Joaquim Távora	978670,245	0,061	-0,060
Ortigueira	978678,811	0,060	0,017
Londrina	978636,844	0,059	-0,008
Maringá	978666,841	0,064	0,015
Iretama	978715,271	0,058	-0,039
Paranavaí	978677,888	0,077	0,083
Goio-erê	978744,631	0,092	-0,009
Guaíra	978800,564	0,079	-0,012

QUADRO 4.71 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO AGLOBAL30

Parâmetros	Gravidade (mGal)	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	978777,495	0,049	-0,049
Bituruna	978779,440	0,049	-0,029
Civelândia	978785,926	0,052	-0,013
Francisco Beltrão	978807,885	0,054	-0,002
Toledo	978798,314	0,056	-0,008
Laranjeiras do sul	978704,740	0,040	-0,070
Guarapuava	978679,207	0,037	-0,039
Ponta Grossa	978718,617	0,034	-0,007
Jaguariaíva	978652,204	0,049	-0,057
Joaquim Távora	978670,229	0,057	-0,099
Ortigueira	978678,794	0,053	-0,026
Londrina	978636,825	0,051	-0,049
Maringá	978666,827	0,052	-0,011
Iretama	978715,252	0,038	-0,097
Paranavaí	978677,875	0,064	0,052
Goio-erê	978744,621	0,080	-0,003
Guaíra	978800,555	0,061	-0,003

Das soluções globais expostas nos quadros 4.69, 4.70 e 4.71, tem-se, respectivamente, como precisão média para as estações gravimétricas 70, 64 e 52 μGal e influência média dos erros não localizados sobre os parâmetros de 20, 25 e 36 μGal . Comparando estes valores médios com os apresentados referentes às

soluções AGLOBAL1, AGLOBAL2 e AGLOBAL3 (análise dos quadros 4.60 ao 4.62), verifica-se que realmente quanto à precisão, as soluções AGLOBAL1, AGLOBAL2 e AGLOBAL3 são respectivamente melhores que as soluções AGLOBAL10, AGLOBAL20 e AGLOBAL30. Considerando a confiabilidade externa, essa ordem se altera, ou seja, as soluções AGLOBAL10, AGLOBAL20 e AGLOBAL30 apresentam uma situação mais favorável. Mas considerando precisão e confiabilidade externa, juntamente, percebe-se que as soluções AGLOBAL1, AGLOBAL2 e AGLOBAL3 apresentam uma situação melhor quando comparadas com as soluções AGLOBAL10, AGLOBAL20 e AGLOBAL30.

4.3 AJUSTAMENTO UTILIZANDO OBSERVAÇÕES INDEPENDENTES

Na subseção anterior a esta, as soluções propostas à rede foram soluções geradas com observações médias. Este procedimento utilizando observações médias pode ser a causa de possíveis observações afetadas por erros grosseiros terem permanecido não reveladas quando da aplicação do teste *data snooping*. A suposta causa é atribuída à magnitude do número de redundância parcial obtido para cada observação. A maioria das observações obteve controlabilidade classificada como boa ou suficiente, mas com número de redundância parcial baixo relativamente ao valor um. Sabe-se que um é o valor máximo possível. Esses aspectos relacionados ao número de redundância parcial estão relacionados com o número de redundância do sistema (número de graus de liberdade). Por exemplo, utilizando observações médias, as 96 observações LaCoste & Romberg obtidas no levantamento utilizando a estratégia (b) explicada na subseção 3.4, foram resumidas em 23 observações distribuídas uma para cada micro-circuito pertencente à rede, ou seja, 23 equações de observação. Quer dizer, foram obtidas 96 observações, mas os ajustamentos discutidos na subseção 4.2 foram efetuados com 23 observações médias. Este fato leva ter uma situação de redundância do sistema (número de graus de liberdade) igual a 6. Conseqüentemente para cada uma das 23 observações médias, um número de redundância parcial média de aproximadamente 0,26. Este valor de 0,26 pode ser considerado baixo quando comparado com o máximo de um que se pode obter e também pode estar aí o problema da não localização de observações afetadas com erro grosseiro.

Para se tentar resolver esse problema tenta-se então uma mudança na concepção de ajustamento de uma rede gravimétrica. Sugere-se considerar observações independentes ao considerar observações médias. Por exemplo, com as possíveis 96 observações LaCoste & Romberg utilizando a estratégia (b) explicada na subseção 3.4, tornam-se possíveis 96 equações de observação (equações 4.27 a 4.122). Conseqüentemente a redundância do sistema passa a ser 79. Esta simples mudança de concepção de entrada das observações no ajustamento eleva o número de redundância parcial médio de 0,26 (quando consideradas observações médias) para aproximadamente 0,82. Essas diferenças entre os números de redundância do sistema e redundâncias parciais, utilizando o mesmo rol de observações em ambos os casos, refletem no poder que cada solução apresenta para localizar observações com possíveis erros grosseiros. Percebe-se que a solução gerada com observações independentes passa a ser mais consistente quanto à localização de possíveis observações contendo erros grosseiros.

Quando se ajusta a rede, mais especificamente nos cálculos do vetor solução X , do sistema de equações normais da matriz variância-covariância das observações ajustadas, da matriz variância-covariância dos parâmetros ajustados e da matriz variância-covariância dos resíduos, o fator

$$N^{-1} = (A^T P A)^{-1}, \quad (4.26)$$

está presente. Utilizando observações independentes, a matriz N acaba sendo uma matriz singular, ou seja, não admite inversa ordinária. Portanto, é necessário utilizar a pseudo-inversa em lugar da inversa ordinária.

Nas equações de observação, descritas na seqüência, os parâmetros incógnitos também são representados pelos nomes das cidades onde estão localizadas as estações gravimétricas. As estações de Curitiba e de Valinhos são as absolutas pertencentes a RENEGA. Estas equações estão de acordo com o quadro 3.1.

$$I1_{114} + Curitiba = São Mateus do Sul \quad (4.27)$$

$$I1_{143} + Curitiba = São Mateus do Sul \quad (4.28)$$

$$I1_{372} + Curitiba = São Mateus do Sul \quad (4.29)$$

$$I1_{114k} + Curitiba = São Mateus do Sul \quad (4.30)$$

I1_143k + Curitiba = São Mateus do Sul	(4.31)
I1_372k + Curitiba = São Mateus do Sul	(4.32)
I2_114 = Bituruna – São Mateus do Sul	(4.33)
I2_143 = Bituruna – São Mateus do Sul	(4.34)
I2_372 = Bituruna – São Mateus do Sul	(4.35)
I2_114k = Bituruna – São Mateus do Sul	(4.36)
I2_143k = Bituruna – São Mateus do Sul	(4.37)
I2_372k = Bituruna – São Mateus do Sul	(4.38)
I3_114 = Clevelândia – Bituruna	(4.39)
I3_143 = Clevelândia – Bituruna	(4.40)
I3_372 = Clevelândia – Bituruna	(4.41)
I3_114k = Clevelândia – Bituruna	(4.42)
I3_143k = Clevelândia – Bituruna	(4.43)
I3_372k = Clevelândia – Bituruna	(4.44)
I4_114 = Francisco Beltrão – Clevelândia;	(4.45)
I4_143 = Francisco Beltrão – Clevelândia;	(4.46)
I4_372 = Francisco Beltrão – Clevelândia;	(4.47)
I4_114k = Francisco Beltrão – Clevelândia;	(4.48)
I4_143k = Francisco Beltrão – Clevelândia;	(4.49)
I4_372k = Francisco Beltrão – Clevelândia;	(4.50)
I5_114 = Francisco Beltrão – Toledo;	(4.51)
I5_143 = Francisco Beltrão – Toledo;	(4.52)
I5_372 = Francisco Beltrão – Toledo;	(4.53)
I5_114k = Francisco Beltrão – Toledo;	(4.54)
I5_143k = Francisco Beltrão – Toledo;	(4.55)
I5_372k = Francisco Beltrão – Toledo;	(4.56)
I6_114 = Guaíra – Toledo;	(4.57)
I6_143 = Guaíra – Toledo;	(4.58)
I6_372 = Guaíra – Toledo;	(4.59)
I7_114 = Toledo – Goio-erê;	(4.60)
I7_143 = Toledo – Goio-erê;	(4.61)
I7_372 = Toledo – Goio-erê;	(4.62)
I9_114 = Toledo – Laranjeiras do Sul;	(4.63)

I9_143 = Toledo – Laranjeiras do Sul;	(4.64)
I9_372 = Toledo – Laranjeiras do Sul;	(4.65)
I9_114k = Toledo – Laranjeiras do Sul;	(4.66)
I9_143k = Toledo – Laranjeiras do Sul;	(4.67)
I9_372k = Toledo – Laranjeiras do Sul;	(4.68)
I10_114 = Laranjeiras do Sul – Guarapuava;	(4.69)
I10_143 = Laranjeiras do Sul – Guarapuava;	(4.70)
I10_372 = Laranjeiras do Sul – Guarapuava;	(4.71)
I10_114k = Laranjeiras do Sul – Guarapuava;	(4.72)
I10_143k = Laranjeiras do Sul – Guarapuava;	(4.73)
I10_372k = Laranjeiras do Sul – Guarapuava;	(4.74)
I11_114 = Bituruna – Guarapuava;	(4.75)
I11_143 = Bituruna – Guarapuava;	(4.76)
I11_372 = Bituruna – Guarapuava;	(4.77)
I12_114 = Ponta Grossa – Guarapuava;	(4.78)
I12_143 = Ponta Grossa – Guarapuava;	(4.79)
I12_372 = Ponta Grossa – Guarapuava;	(4.80)
I12_114k = Ponta Grossa – Guarapuava;	(4.81)
I12_143k = Ponta Grossa – Guarapuava;	(4.82)
I12_372k = Ponta Grossa – Guarapuava;	(4.83)
I13_114 – Curitiba = – Ponta Grossa;	(4.84)
I13_143 – Curitiba = – Ponta Grossa;	(4.85)
I13_372 – Curitiba = – Ponta Grossa;	(4.86)
I13_114k – Curitiba = – Ponta Grossa;	(4.87)
I13_143k – Curitiba = – Ponta Grossa;	(4.88)
I13_372k – Curitiba = – Ponta Grossa;	(4.89)
I14a_114 = Ponta Grossa – Ortigueira;	(4.90)
I14a_143 = Ponta Grossa – Ortigueira;	(4.91)
I14a_372 = Ponta Grossa – Ortigueira;	(4.92)
I14b_114 = Ortigueira – Londrina;	(4.93)
I14b_143 = Ortigueira – Londrina;	(4.94)
I14b_372 = Ortigueira – Londrina;	(4.95)
I15a_114 = Ponta Grossa – Jaguariaíva;	(4.96)

I15a_143 = Ponta Grossa – Jaguariaíva;	(4.97)
I15a_372 = Ponta Grossa – Jaguariaíva;	(4.98)
I15b_114 = Joaquim Távora – Jaguariaíva;	(4.99)
I15b_143 = Joaquim Távora – Jaguariaíva;	(4.100)
I15b_372 = Joaquim Távora – Jaguariaíva;	(4.101)
I16_114 = Joaquim Távora – Londrina;	(4.102)
I16_143 = Joaquim Távora – Londrina;	(4.103)
I16_372 = Joaquim Távora – Londrina;	(4.104)
I17_114 = Maringá – Londrina;	(4.105)
I17_143 = Maringá – Londrina;	(4.106)
I17_372 = Maringá – Londrina;	(4.107)
I18a_114 = Iretama – Maringá;	(4.108)
I18a_143 = Iretama – Maringá;	(4.109)
I18a_372 = Iretama – Maringá;	(4.110)
I18b_114 = Iretama – Guarapuava;	(4.111)
I18b_143 = Iretama – Guarapuava;	(4.112)
I18b_372 = Iretama – Guarapuava;	(4.113)
I19a_114 = Paranavaí – Maringá;	(4.114)
I19a_143 = Paranavaí – Maringá;	(4.115)
I19a_372 = Paranavaí – Maringá;	(4.116)
I20_114 = Goio-erê – Paranavaí;	(4.117)
I20_143 = Goio-erê – Paranavaí;	(4.118)
I20_372 = Goio-erê – Paranavaí;	(4.119)
I21_114 = Guaíra – Goio-erê;	(4.120)
I21_143 = Guaíra – Goio-erê;	(4.121)
I21_372 = Guaíra – Goio-erê;	(4.122)
I23a_114 – Curitiba = – Jaguariaíva;	(4.123)
I23a_143 – Curitiba = – Jaguariaíva;	(4.124)
I23a_372 – Curitiba = – Jaguariaíva;	(4.125)
I23b_114 + Valinhos = Jaguariaíva;	(4.126)
I23b_143 + Valinhos = Jaguariaíva;	(4.127)
I23b_372 + Valinhos = Jaguariaíva;	(4.128)

Utilizando a estratégia (a), explicada na subseção 3.4, tornam-se possíveis 102 observações obtidas com os gravímetros tipo LaCoste & Romberg e portanto 102 equações de observação (equações 4.27 a 4.128). Com isso torna-se possível obter redundância do sistema igual a 85 elevando o número de redundância parcial média para aproximadamente 0,83.

Na seqüência são apresentadas as análises referentes às soluções geradas com observações independentes, comparando as soluções obtidas quando utilizada a tabela de calibração corrigida e quando utilizada a tabela de calibração original (estratégias a e b descritas na subseção 3.4).

A ponderação das observações, em todas as soluções geradas com observações independentes, seguiu o mesmo critério adotado para obtenção das soluções G114V, G114VO, G143V, G143VO, G372V e G372VO, descrito na subseção 4.1.

Para análise das soluções geradas para a rede com observações independentes, os critérios utilizados são os mesmos utilizados nas soluções obtidas anteriormente. Para melhor entendimento, os resultados obtidos das análises de precisão e confiabilidade são descritos a seguir.

Iniciou-se o ajustamento da rede com observações independentes e obtiveram-se as soluções AJUSTAMENTOTOTAL1 e AJUSTAMENTOTOTAL10. A solução AJUSTAMENTOTOTAL1 foi obtida utilizando a tabela de calibração corrigida e a solução AJUSTAMENTOTOTAL10 foi obtida utilizando a tabela de calibração original. Para obtenção da solução AJUSTAMENTOTOTAL1 foi considerado o total de 96 observações e para a solução AJUSTAMENTOTOTAL10 considerou-se o total de 102 observações. Em primeiro lugar compararam-se os resultados obtidos da aplicação dos critérios de precisão e do teste para igualdade de valores próprios.

QUADRO 4.72 – TESTE DE IGUALDADE DE VALORES PRÓPRIOS

DADOS	AJUSTAMENTOTOTAL1	AJUSTAMENTOTOTAL10
r	79	85
b	17	17
α	5%	5%
Estatística Calculada	1936,90	1936,50
$\chi^2_{152;0,95}$	181,77	181,77

QUADRO 4.73 – APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PRECISÃO

Crítérios	AJUSTAMENTOTOTAL1	AJUSTAMENTOTOTAL10
$\det(\Sigma_{xa})$	$1,2 \cdot 10^{-63}$	$8,0 \cdot 10^{-57}$
$\text{tr}(\Sigma_{xa})$	0,01429	0,03256
$\lambda_{\text{máx}}$	0,00697	0,01347
$\frac{\lambda_{\text{máx}}}{\lambda_{\text{mín}}}$	5301,484	2317,396

Pelos resultados apresentados no quadro 4.72, verifica-se que nessa estratégia de ajustamento se perdeu as características de homogeneidade e isotropismo, isso quando comparada essa estratégia com a apresentada na subseção 4.2, que trata da estratégia de ajustamento utilizando observações médias. Esta situação de não apresentar características globais de homogeneidade e isotropismo não traz nenhum prejuízo quanto à precisão e confiabilidade. Mas de qualquer forma, é uma característica importante que deixa de ser contemplada.

Analisando os resultados quanto à precisão, apresentados no quadro 4.73, percebe-se inicialmente que se obteve neste caso precisão inferior quando comparada à solução AJUSTAMENTOTOTAL1 com as soluções em que se utilizaram observações médias (quadro 4.55). Quando comparada à solução AJUSTAMENTOTOTAL10 com as soluções, cujos resultados referentes à precisão estão apresentados no quadro 4.63, percebe-se uma melhora em precisão em favor a solução AJUSTAMENTOTOTAL10.

De qualquer forma, de acordo com os resultados apresentados no quadro 4.73, comparando a solução AJUSTAMENTOTOTAL1 com a AJUSTAMENTOTOTAL10, percebe-se, embora que ainda preliminarmente, a tendência em se ter uma situação melhor em precisão quando se considera a tabela de calibração corrigida (estratégia b apresentada na subseção 3.4).

Na seqüência, são apresentados os resultados da aplicação do critério de confiabilidade.

De acordo com os resultados da aplicação do teste global apresentado no quadro 4.74, a hipótese nula foi rejeitada em ambas as soluções. Este resultado continua realimentando a idéia de que existem observações afetadas por erros grosseiros.

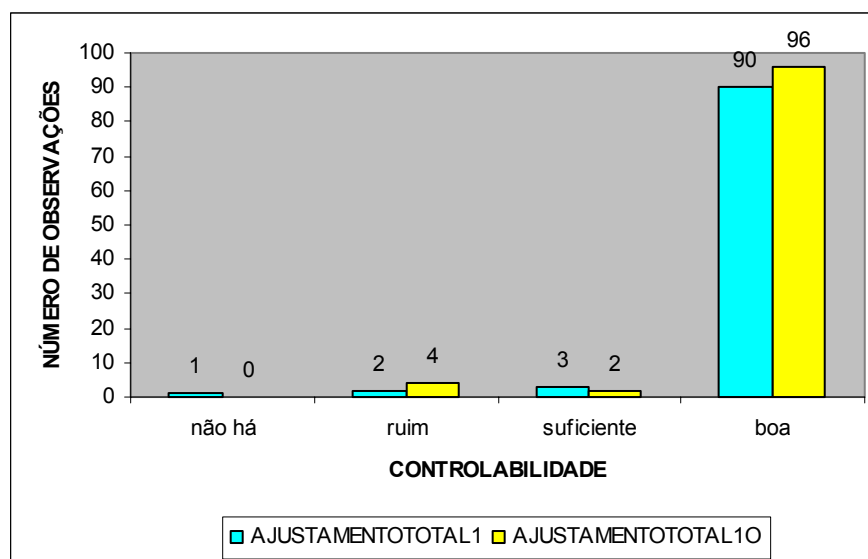
QUADRO 4.74 – RESULTADOS DO TESTE GLOBAL

Ajustamento	σ_0^2	$\hat{\sigma}_0^2$	χ^{*2}	Intervalo de não rejeição	Hipótese nula
AJUSTAMENTOTOTAL1	1	5,34	421,82	$56,31 \leq \chi^{*2} \leq 105,47$	Rejeitada
AJUSTAMENTOTOTAL10	1	16,97	1442,61	$61,39 \leq \chi^{*2} \leq 112,39$	Rejeitada

Para as soluções oriundas de ajustamento individual ou ajustamento com observações médias, respectivamente subseções 4.1 e 4.2, as redundâncias parciais foram apresentadas em tabelas e foram discriminadas por observação. Devido à estratégia de ajustamento utilizada nesta subseção, a apresentação das redundâncias parciais por observação, em tabelas, tornou-se inviável devido ao número de observações consideradas. Portanto, nesta subseção, os números de redundâncias parciais são apresentados em forma de figura, considerando é claro o critério apresentado no quadro 2.1.

Como se pode observar na figura 4.1, como mencionado anteriormente, devido à estratégia de entrada das observações no ajustamento, o número de observações consideradas aumenta significativamente. Quanto a controlabilidade das observações, percebe-se uma ótima situação tanto para a solução AJUSTAMENTOTOTAL1 como para a solução AJUSTAMENTOTOTAL10, pois a maioria das observações apresenta controlabilidade classificada como boa.

FIGURA 4.1 – CONTROLABILIDADE DAS OBSERVAÇÕES REFERENTE ÀS SOLUÇÕES AJUSTAMENTOTOTAL 1 E AJUSTAMENTOTOTAL10



Para a solução AJUSTAMENTOTOTAL1, as observações com controlabilidade classificada como boa, um apresenta redundância parcial 0,36 e as demais observações apresentam redundância parcial maior ou igual a 0,53. Para a solução AJUSTAMENTOTOTAL10, mais de 92% das observações apresentam redundâncias parciais maiores ou iguais a 0,56. Comparando os resultados apresentados na figura 4.1 com os resultados obtidos para as soluções anteriormente analisadas, seja com ajustamento individual ou ajustamento com observações médias, percebe-se uma grande diferença existente no que diz respeito à controlabilidade das observações. Com a situação ilustrada pela figura 4.1, aumentam as expectativas em localizar possíveis observações afetadas por erros grosseiros, tanto para a solução AJUSTAMENTOTOTAL1 como para a solução AJUSTAMENTOTOTAL10. Nas figuras a seguir, é ilustrada a estimativa do erro mínimo que pode ser localizado com aplicação do teste *data snooping*.

As figuras 4.2 e 4.3 apresentam as estimativas do erro mínimo que se pode localizar aplicando o teste *data snooping*. Percebe-se pelas figuras que a situação apresentada pela solução AJUSTAMENTOTOTAL1 é quase a mesma apresentada pela solução AJUSTAMENTOTOTAL10. Para solução AJUSTAMENTOTOTAL1 tem-se como estimativa média para o erro mínimo 0,179 mGal enquanto para a solução AJUSTAMENTOTOTAL10 tem-se 0,175 como estimativa média para o erro mínimo. Tanto para a figura 4.2 como para a 4.3, o eixo das abscissas se refere às observações. As observações analisadas na figura 4.2 estão na ordem das utilizadas nas equações 4.27 a 4.122. Para a figura 4.3 acrescenta-se a essas observações, as apresentadas nas equações 4.123 a 4.128, nesta ordem.

FIGURA 4.2 – ESTIMATIVA DO ERRO MÍNIMO QUE PODE SER LOCALIZADO COM $\alpha_0 = 0,1\%$, $(1-\beta_0) = 80\%$ e $\delta_0 = 4,10$ PARA A SOLUÇÃO AJUSTAMENTOTOTAL1

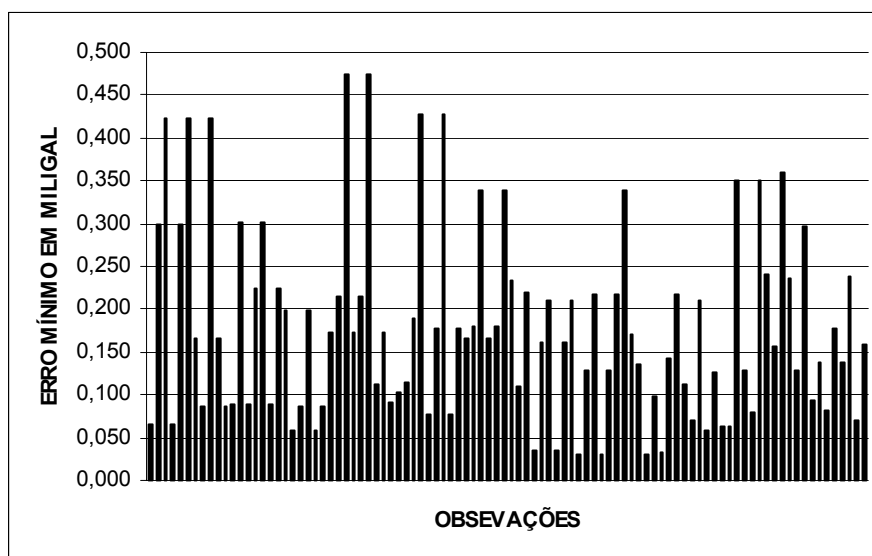
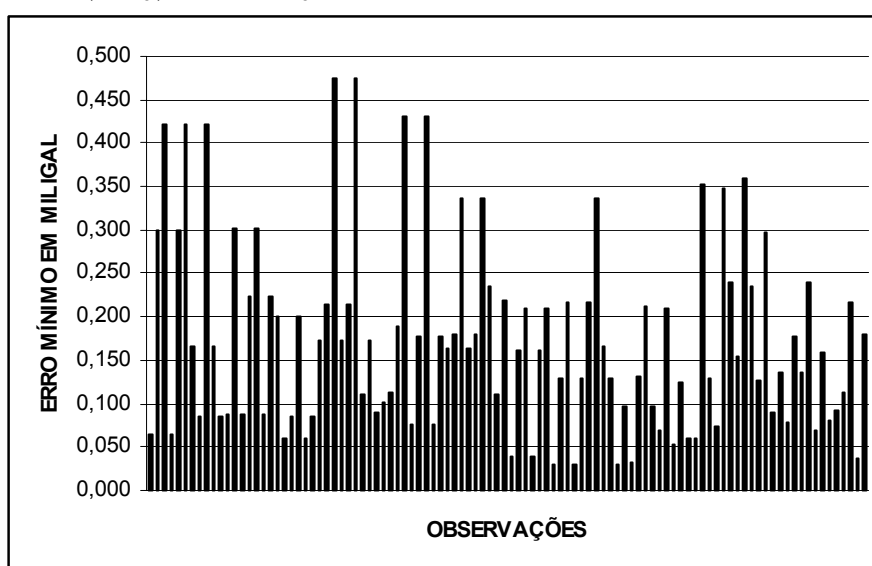


FIGURA 4.3 – ESTIMATIVA DO ERRO MÍNIMO QUE PODE SER LOCALIZADO COM $\alpha_0 = 0,1\%$, $(1-\beta_0) = 80\%$ e $\delta_0 = 4,10$ PARA A SOLUÇÃO AJUSTAMENTOTOTAL10



Aplicou-se o teste *data snooping*, na tentativa de localizar possíveis observações afetadas por erros grosseiros, tanto na solução AJUSTAMENTOTOTAL1 como também na solução AJUSTAMENTOTOTAL10. O que antes não estava sendo possível, agora parece que realmente as expectativas quanto à localização de possíveis observações afetadas por erros grosseiros são concretizadas.

Na análise da solução AJUSTAMENTOTOTAL1, três observações foram localizadas com erro grosseiro. Uma dessas observações pertence à linha 15b, obtida pelo gravímetro G372 e as outras duas pertencem à linha 20, uma obtida com o gravímetro G114 e a outra com o gravímetro G372. O erro mínimo que pode ser localizado aplicando o teste *data snooping*, calculado e ilustrado pela figura 4.2, para as observações localizadas com erros grosseiros são respectivamente 0,058, 0,082 e 0,138 mGal.

Na análise da solução AJUSTAMENTOTOTAL10, uma observação foi localizada com erro grosseiro. Esta observação pertence à linha 20 e foi obtida com o gravímetro G114. O erro mínimo que pode ser localizado aplicando o teste *data snooping* referente a esta observação é 0,079 mGal.

Mesmo localizando observações afetadas com a presença de erros grosseiros, tanto para a solução AJUSTAMENTOTOTAL1 como para a solução AJUSTAMENTOTOTAL10, calcularam-se as estimativas de possíveis erros grosseiros não localizados e presentes nas respectivas observações. Calculou-se também a influência destas estimativas sobre os valores estimados para a gravidade referente às estações gravimétricas.

As observações analisadas nas figuras 4.4 e 4.5 estão na mesma ordem, respectivamente, das figuras 4.2 e 4.3.

FIGURA 4.4 – ESTIMATIVA DO ERRO GROSSEIRO PRESENTE EM CADA OBSERVAÇÃO REFERENTE À SOLUÇÃO AJUSTAMENTOTOTAL1

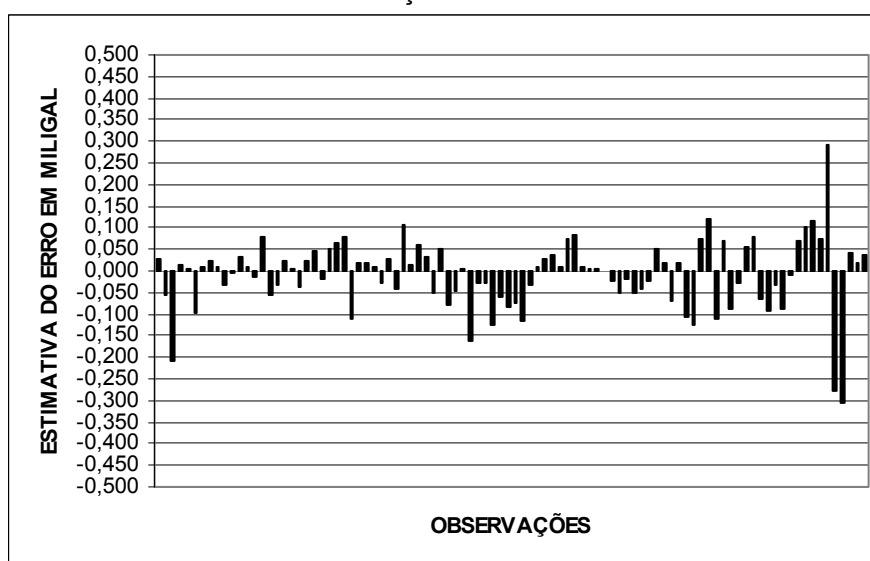
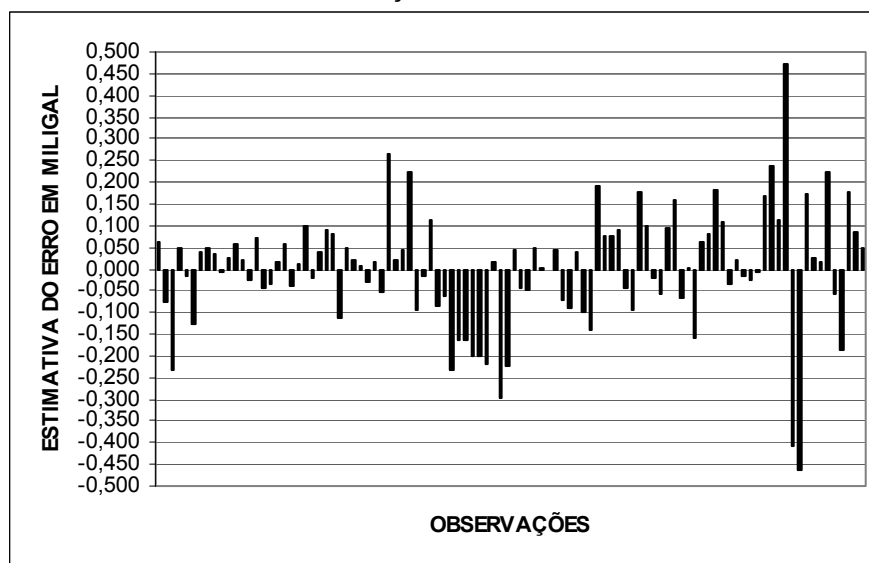


FIGURA 4.5 – ESTIMATIVA DO ERRO GROSSEIRO PRESENTE EM CADA OBSERVAÇÃO REFERENTE À SOLUÇÃO AJUSTAMENTOTOTAL10



Percebe-se pelas figuras 4.4 e 4.5, que as estimativas dos erros grosseiros presentes nas observações referentes à solução AJUSTAMENTOTOTAL10 se apresentam em magnitude maior quando comparadas com as estimativas referentes à solução AJUSTAMENTOTOTAL1. Este fato implica na influência que as mesmas causam sobre os parâmetros estimados.

Recordando, tem-se das análises de todas as soluções obtidas para rede até este momento, considerando precisão e confiabilidade, as que melhores resultados apresentaram foram as soluções obtidas com observações médias (análises discutidas na subseção 4.2). Foi visto que as soluções em que se utilizou como estratégia a aplicação de tabelas de calibração corrigidas, apresentaram resultados ligeiramente melhores. Destas soluções, a solução AGLOBAL3 foi à escolhida até então como a melhor solução para a rede gravimétrica. Para esta solução obteve-se uma estimativa para as estações gravimétricas de uma precisão média de 17 μ Gal e influência média dos erros grosseiros não localizados sobre os parâmetros de 15 μ Gal. Lembra-se que até então nenhuma das observações havia sido considerada como afetada por erro grosseiro.

Com a análise das soluções apresentadas na presente subseção, a tendência em se obter melhores resultados quando se utiliza a estratégia b, apresentada na subseção 3.4 e que utiliza a tabela de calibração corrigida, persiste. De acordo com os resultados apresentados nos quadros 4.75 e 4.76 a solução

AJUSTAMENTOTOTAL1 apresenta precisão média de 28 μGal e 68 μGal de influência média dos erros não localizados sobre os parâmetros e a solução AJUSTAMENTOTOTAL10 apresenta precisão média de 41 μGal e 163 μGal de influência média dos erros não localizados sobre os parâmetros. Portanto, estas duas soluções apresentam uma situação menos favorável a solução AGLOBAL3. Mas tem-se um diferencial a favor das soluções AJUSTAMENTOTOTAL1 e AJUSTAMENTOTOTAL10, pois apesar destas duas soluções apresentarem uma situação menos favorável em relação à solução AGLOBAL3, lembra-se que o teste *data snooping* localizou observações afetadas por erros grosseiros nestas duas soluções analisadas na presente subseção. Tem-se então a esperança de que à medida que tais observações localizadas com erros grosseiros vão sendo eliminadas do rol de observações, as soluções posteriores apresentem melhores resultados, tanto em precisão como em confiabilidade.

QUADRO 4.75 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTOTOTAL1

Parâmetros	Gravidade (mGal)	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	978777,552	0,018	0,016
Bituruna	978779,492	0,023	0,028
Civelândia	978785,973	0,031	0,049
Francisco Beltrão	978807,912	0,033	0,055
Toledo	978798,359	0,032	0,148
Laranjeiras do sul	978704,823	0,033	0,126
Guarapuava	978679,228	0,013	0,001
Ponta Grossa	978718,590	0,009	-0,004
Jaguariaíva	978652,136	0,030	-0,110
Joaquim Távora	978670,210	0,030	-0,032
Ortigueira	978678,738	0,029	-0,081
Londrina	978636,803	0,029	-0,057
Maringá	978666,790	0,030	-0,003
Iretama	978715,283	0,037	0,024
Paranavaí	978677,770	0,033	-0,010
Goio-erê	978744,723	0,033	0,200
Guaíra	978800,608	0,033	0,214

QUADRO 4.76 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTOTOTAL10

Parâmetros	Gravidade (mGal)	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	978777,567	0,032	0,039
Bituruna	978779,485	0,042	0,068
Civelândia	978785,969	0,055	0,119
Francisco Beltrão	978807,903	0,059	0,136
Toledo	978798,353	0,053	0,340
Laranjeiras do sul	978704,819	0,056	0,289
Guarapuava	978679,107	0,024	0,017
Ponta Grossa	978718,527	0,015	0,008
Jaguariaíva	978652,170	0,006	0,079
Joaquim Távora	978670,221	0,021	0,146
Ortigueira	978678,805	0,034	0,148
Londrina	978636,786	0,033	0,061
Maringá	978666,743	0,038	0,177
Iretama	978715,167	0,064	0,063
Paranavaí	978677,680	0,051	0,147
Goio-erê	978744,742	0,053	0,463
Guaíra	978800,611	0,054	0,478

Seguindo essa linha de raciocínio e de acordo com as análises das soluções AJUSTAMENTOTOTAL1 e AJUSTAMENTOTOTAL10, as observações localizadas com erros grosseiros foram eliminadas e duas novas soluções foram obtidas, AJUSTAMENTOTOTAL2 e AJUSTAMENTOTOTAL20. Continuando com a mesma linha de raciocínio, outras observações foram localizadas com a presença de erro grosseiro e novas soluções foram geradas. Foram necessários mais quatro ajustamentos para que se obtivesse uma solução considerada isenta de observações contendo erros grosseiros. Para tanto, foram obtidas considerando a tabela de calibração corrigida, as soluções AJUSTAMENTOTOTAL3, AJUSTAMENTOTOTAL4, AJUSTAMENTOTOTAL5, AJUSTAMENTOTOTAL6, e considerando a tabela de calibração original, as soluções AJUSTAMENTOTOTAL30, AJUSTAMENTOTOTAL40, AJUSTAMENTOTOTAL50, AJUSTAMENTOTOTAL60. O resultado completo das análises de precisão e confiabilidade das soluções AJUSTAMENTOTOTAL2, AJUSTAMENTOTOTAL20, AJUSTAMENTOTOTAL3, AJUSTAMENTOTOTAL30, AJUSTAMENTOTOTAL4, AJUSTAMENTOTOTAL40, AJUSTAMENTOTOTAL5, AJUSTAMENTOTOTAL50, são apresentadas no apêndice deste trabalho. Na seqüência é apresentado um resumo da aplicação do teste global e do teste *data snooping* referentes às soluções

AJUSTAMENTOTOTAL2 a AJUSTAMENTOTOTAL5 e AJUSTAMENTOTOTAL20 a AJUSTAMENTOTOTAL50.

Os resultados apresentados no quadro 4.77 mostram que o teste global detectou observação afetada por erro grosseiro em todas as soluções analisadas. Aplicou-se o teste *data snooping* em todas as soluções apresentadas no quadro 4.77 e foi possível localizar observações afetadas por erro grosseiro em todas elas. As observações localizadas com a presença de erro grosseiro foram eliminadas. Percebem-se claramente nos resultados apresentados no quadro 4.77 que, à medida que as observações localizadas com a presença de erro grosseiro vão sendo eliminadas, a solução gerada posteriormente apresenta melhor qualidade. Nota-se em ambas as estratégias de ajustamento, a tendência do valor calculado para a variância da unidade de peso *a posteriori* se aproximar do valor da variância da unidade de peso *a priori*. Isto é um ótimo indicativo que a eliminação das observações afetadas por erro grosseiro, localizadas com o teste *data snooping*, melhora a solução final da rede.

QUADRO 4.77 – RESUMO DE RESULTADOS DO TESTE GLOBAL

Ajustamentos	σ_0^2	$\hat{\sigma}_0^2$	χ^{*2}	Intervalo de não rejeição	Hipótese nula
AJUSTAMENTOTOTAL2	1	2,12	161,33	$53,78 \leq \chi^{*2} \leq 102,00$	Rejeitada
AJUSTAMENTOTOTAL3	1	1,94	145,84	$52,94 \leq \chi^{*2} \leq 100,84$	Rejeitada
AJUSTAMENTOTOTAL4	1	1,54	113,84	$52,10 \leq \chi^{*2} \leq 99,68$	Rejeitada
AJUSTAMENTOTOTAL5	1	1,36	99,42	$51,26 \leq \chi^{*2} \leq 98,52$	Rejeitada
AJUSTAMENTOTOTAL20	1	10,14	852,01	$60,54 \leq \chi^{*2} \leq 111,24$	Rejeitada
AJUSTAMENTOTOTAL30	1	6,78	549,25	$58,00 \leq \chi^{*2} \leq 107,78$	Rejeitada
AJUSTAMENTOTOTAL40	1	5,56	444,97	$57,15 \leq \chi^{*2} \leq 106,63$	Rejeitada
AJUSTAMENTOTOTAL50	1	4,99	394,45	$56,31 \leq \chi^{*2} \leq 105,47$	Rejeitada

De acordo com as soluções que constam no quadro 4.77, no quadro 4.78 são apresentadas as observações que foram localizadas com a presença de erro grosseiro, bem como o respectivo gravímetro utilizado para obtenção de tais observações.

QUADRO 4.78 – OBSERVAÇÕES LOCALIZADAS COM A PRESENÇA DE ERRO GROSSEIRO

Ajustamentos	Observações com o respectivo gravímetro
AJUSTAMENTOTOTAL2	I16 – G372
AJUSTAMENTOTOTAL3	I16 – G143
AJUSTAMENTOTOTAL4	I11 – G143
AJUSTAMENTOTOTAL5	I15b – G143
AJUSTAMENTOTOTAL20	I14b – G114 I14b – G372 I22a – G114
AJUSTAMENTOTOTAL30	I11 – G143
AJUSTAMENTOTOTAL40	I7 – G114
AJUSTAMENTOTOTAL50	I16 – G372

Destaca-se: a medida que se avançou da solução AJUSTAMENTOTOTAL1 para a solução AJUSTAMENTOTOTAL5 e da solução AJUSTAMENTOTOTAL10 para a solução AJUSTAMENTOTOTAL50, a precisão melhorou, assim como a medida de confiabilidade externa.

A observação localizada com a presença de erro grosseiro referente a solução AJUSTAMENTOTOTAL5 foi eliminada. O mesmo procedimento foi tomado em relação à solução AJUSTAMENTOTOTAL50. Duas novas soluções, AJUSTAMENTOTOTAL6 e AJUSTAMENTOTOTAL60, para a rede foram geradas e são analisadas na seqüência.

As análises de precisão e confiabilidade referente às soluções AJUSTAMENTOTOTAL6 AJUSTAMENTOTOTAL60 são apresentadas.

Os resultados das análises das novas soluções, AJUSTAMENTOTOTAL6 e AJUSTAMENTOTOTAL60, são apresentadas na seqüência.

Pelos resultados apresentados no quadro 4.79, não se tem característica global de homogeneidade e isotropismo em nenhuma das duas soluções. Os resultados apresentados no quadro 4.80 mostram melhoria na precisão em ambas as estratégias de ajustamento. Percebem-se nos últimos três reajustamentos, incluindo este, uma tendência da precisão se estabilizar. Isto pode ser um indicativo que a solução (valores da gravidade ajustados para as respectivas estações implantadas) para a rede também esteja tendendo a se estabilizar.

QUADRO 4.79 – TESTE DE IGUALDADE DE VALORES PRÓPRIOS

DADOS	AJUSTAMENTOTOTAL6	AJUSTAMENTOTOTAL6O
r	72	78
b	17	17
α	5%	5%
Estatística Calculada	1771,50	1547,31
$\chi^2_{152;0,95}$	181,77	181,77

QUADRO 4.80 – APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PRECISÃO

Crítérios	AJUSTAMENTOTOTAL6	AJUSTAMENTOTOTAL6O
$\det(\Sigma_{xa})$	$1,0 \cdot 10^{-71}$	$9,5 \cdot 10^{-63}$
$\text{tr}(\Sigma_{xa})$	0,00482	0,01227
$\lambda_{\text{máx}}$	0,00173	0,00472
$\frac{\lambda_{\text{máx}}}{\lambda_{\text{mín}}}$	5805,62	578,08

Os resultados apresentados no quadro 4.81, confirmam a tendência na melhoria da qualidade das soluções à medida que se avançou do primeiro ajustamento até este último.

QUADRO 4.81 – RESULTADOS DO TESTE GLOBAL

Ajustamento	σ_0^2	$\hat{\sigma}_0^2$	χ^{*2}	Intervalo de não rejeição	Hipótese nula
AJUSTAMENTOTOTAL6	1	1,21	86,84	$50,43 \leq \chi^{*2} \leq 97,35$	Não rejeitada
AJUSTAMENTOTOTAL6O	1	4,47	348,85	$55,47 \leq \chi^{*2} \leq 104,32$	Rejeitada

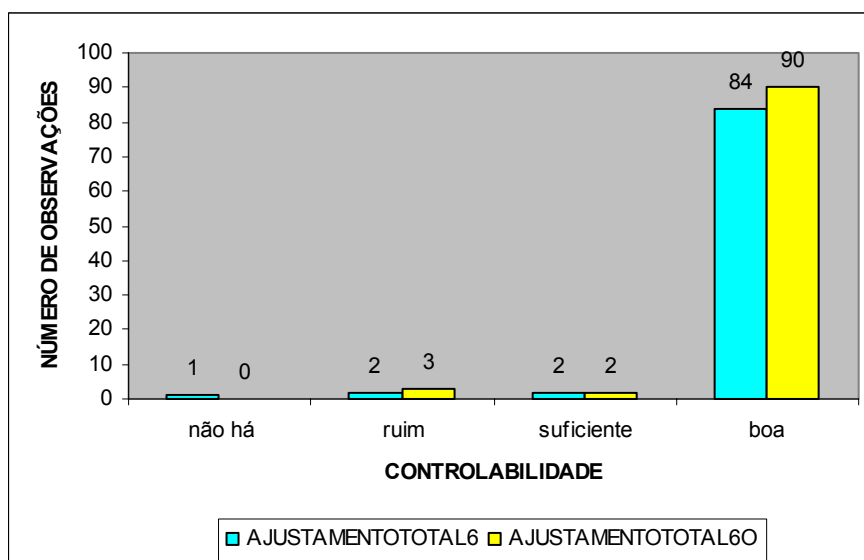
Para a solução AJUSTAMENTOTOTAL6 a convergência da variância da unidade de peso *a posteriori* para o valor da variância da unidade de peso *a priori* apresentou-se mais consistente. Para esta solução, de acordo com o resultado apresentado no quadro 4.81, a hipótese nula não é rejeitada. Portanto, o teste global não está detectando observação afetada por erro grosseiro. Isto indica que para a utilização da estratégia b, descrita na subseção 3.4 (utilização da tabela de calibração corrigida), atingiu-se o ideal na análise de detecção de erros nas observações.

O mesmo não se pode dizer para a outra estratégia (utilização da tabela de calibração original) descrita também na subseção 3.4. Neste caso, pelo resultado

apresentado no quadro 4.81, a hipótese nula continua sendo rejeitada e, portanto, o teste global continua detectando observação afetada por erro grosseiro.

Mesmo o teste global não detectando observação afetada por erro grosseiro na solução AJUSTAMENTOTOTAL6, a análise quanto à localização de possíveis observações afetadas por erro grosseiro é realizada tanto para a solução AJUSTAMENTOTOTAL6, quanto para a solução AJUSTAMENTOTOTAL6O. A figura 4.6, ilustra a situação de controlabilidade das observações quanto à localização de erros grosseiros para as soluções AJUSTAMENTOTOTAL6 e AJUSTAMENTOTOTAL6O.

FIGURA 4.6 – CONTROLABILIDADE DAS OBSERVAÇÕES REFERENTE ÀS SOLUÇÕES AJUSTAMENTOTOTAL6 E AJUSTAMENTOTOTAL6O



A controlabilidade das observações quanto à localização de possíveis observações afetadas por erros grosseiros, continua sendo ótima, tanto para a solução AJUSTAMENTOTOTAL6 quanto para a solução AJUSTAMENTOTOTAL6O. Portanto, havendo ainda observações afetadas por erro grosseiro, é grande a probabilidade em localizar essas observações com aplicação do teste *data snooping*. Devido ao resultado obtido da análise do teste global, quadro 4.81, na análise da solução AJUSTAMENTOTOTAL6 não se espera localização de observação afetada por erro grosseiro. As figuras 4.7 e 4.8, ilustram as magnitudes das estimativas do erro mínimo que se pode localizar aplicando o teste *data snooping*.

FIGURA 4.7 – ESTIMATIVA DO ERRO MÍNIMO QUE PODE SER LOCALIZADO COM $\alpha_0 = 0,1\%$, $(1-\beta_0) = 80\%$ e $\delta_0 = 4,10$ PARA A SOLUÇÃO AJUSTAMENTOTOTAL6

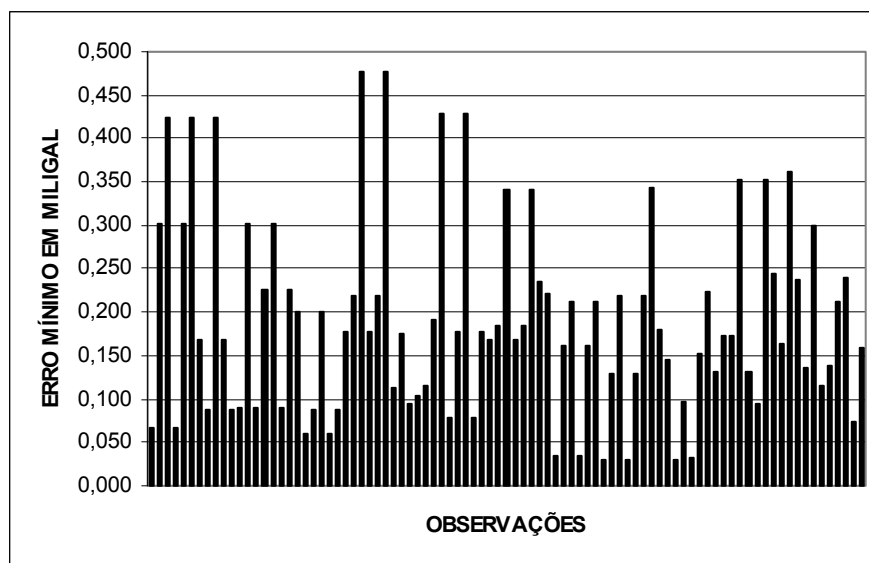
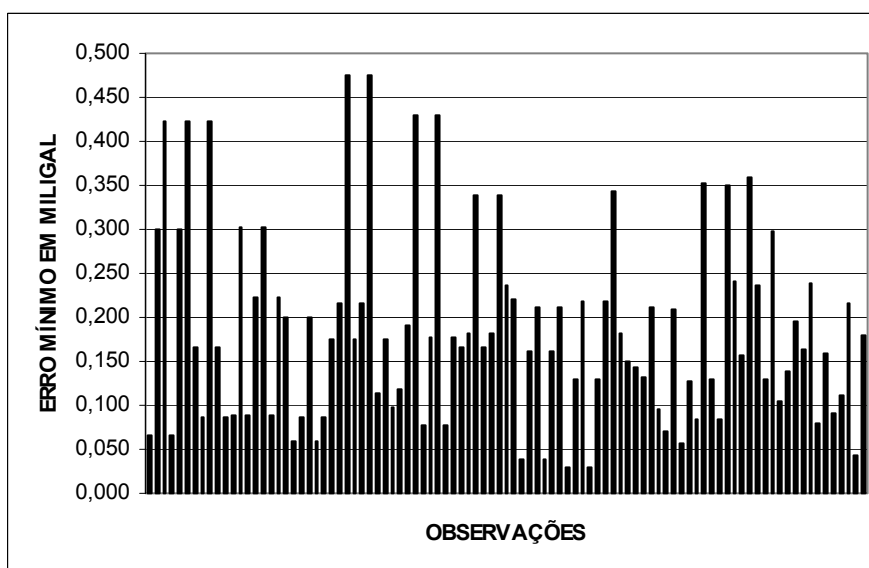


FIGURA 4.8 – ESTIMATIVA DO ERRO MÍNIMO QUE PODE SER LOCALIZADO COM $\alpha_0 = 0,1\%$, $(1-\beta_0) = 80\%$ e $\delta_0 = 4,10$ PARA A SOLUÇÃO AJUSTAMENTOTOTAL60



No eixo das abscissas, da figura 4.7, representa observações que se apresentam na mesma ordem das equações 4.27 a 4.122. O mesmo acontece para a figura 4.8 se acrescentado às equações 4.123 a 4.128. Deve lembrar que nas figuras 4.7 e 4.8, as observações eliminadas por terem sido localizadas com a presença de erro grosseiro, não estão representadas.

A solução AJUSTAMENTOTOTAL6 apresenta 0,189 mGal como estimativa média para o erro mínimo e para a solução AJUSTAMENTOTOTAL6O, tem-se 0,185 mGal. Portanto, não há diferença significativa entre as soluções AJUSTAMENTOTOTAL6 e AJUSTAMENTOTOTAL6O. Percebe-se, que em média, o erro mínimo que se pode localizar com a aplicação do teste *data snooping* não se alterou significativamente quando se comparam estas duas últimas soluções obtidas respectivamente com as soluções AJUSTAMENTOTOTAL1 e AJUSTAMENTOTOTAL1O.

Aplicando o teste *data snooping*, este não localizou observação afetada por erro grosseiro nem no rol de observações pertencentes à solução AJUSTAMENTOTOTAL6, nem no rol de observações pertencentes à solução AJUSTAMENTOTOTAL6O.

Para a solução AJUSTAMENTOTOTAL6 não se esperava que o teste *data snooping* localizasse alguma observação afetada por erro grosseiro, pois o teste global não detectou observação afetada por erro grosseiro. Para a solução AJUSTAMENTOTOTAL6O, devido ao resultado obtido do teste global e pela controlabilidade das observações, ilustrada pela figura 4.6, esperava-se que o teste *data snooping* localizasse observação afetada por erro grosseiro. Portanto, não se tem subsídio suficiente para explicar a detecção de erro grosseiro pelo teste global quando analisada a solução AJUSTAMENTOTOTAL6O.

Para as soluções AJUSTAMENTOTOTAL6 e AJUSTAMENTOTOTAL6O, as estimativas de possíveis erros grosseiros não localizados e presentes nas respectivas observações foram calculadas, bem como a influência destas estimativas sobre os parâmetros ajustados.

A ordem das observações representadas no eixo das abscissas das figuras 4.9 e 4.10, é a mesma, respectivamente, que das representadas nas figuras 4.7 e 4.8.

Comparando os resultados apresentados nas figuras 4.4 e 4.9, verifica-se uma melhora significativa. O mesmo verifica-se quando se comparam os resultados apresentados nas figuras 4.5 e 4.10.

FIGURA 4.9 – ESTIMATIVA DO ERRO GROSSEIRO PRESENTE EM CADA OBSERVAÇÃO REFERENTE À SOLUÇÃO AJUSTAMENTOTOTAL6

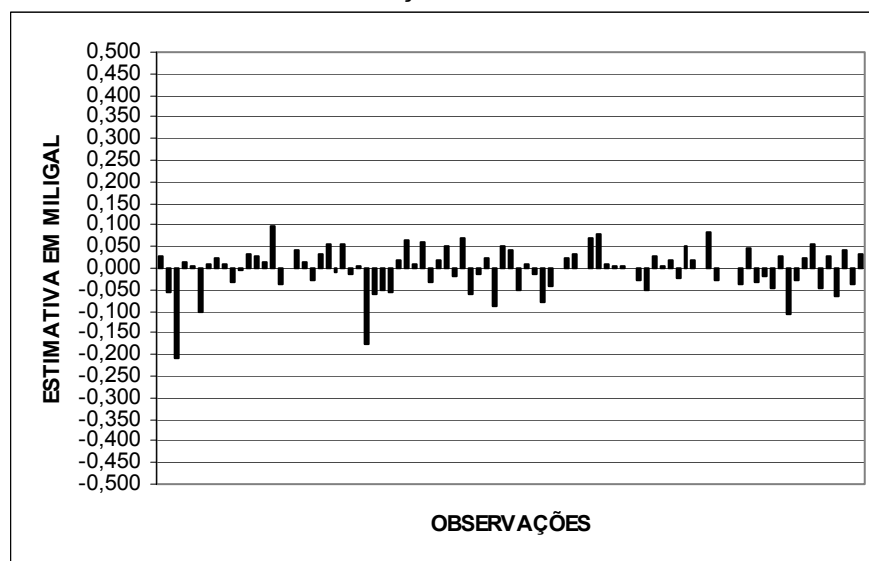
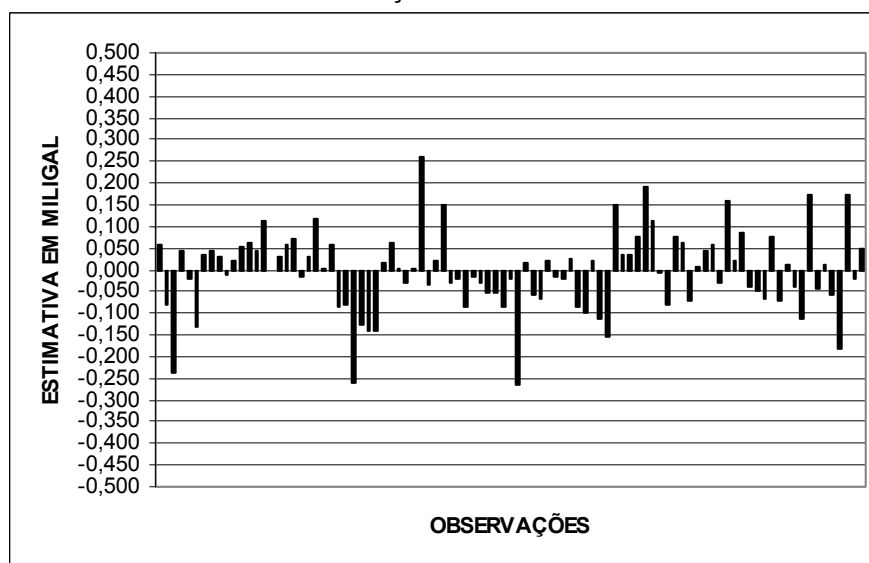


FIGURA 4.10 – ESTIMATIVA DO ERRO GROSSEIRO PRESENTE EM CADA OBSERVAÇÃO REFERENTE À SOLUÇÃO AJUSTAMENTOTOTAL60



Os resultados apresentados nas figuras 4.9 e 4.10, confirmam a tendência das soluções em que se utilizou a estratégia b descrita na subseção 3.4 (tabela de calibração corrigida) em apresentarem uma melhor situação. Como consequência, se espera confirmar também a tendência em se ter situação melhor para a análise de confiabilidade externa, em favor da mesma estratégia.

Comparando os resultados apresentados nos quadros 4.75 e 4.76, respectivamente, com os resultados apresentados nos quadros 4.82 e 4.83, mostra-

se uma melhora significativa tanto na precisão como na confiabilidade dos valores da gravidade estimados para as estações gravimétricas.

QUADRO 4.82 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTOTOTAL6

Parâmetros	Gravidade (mGal)	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	978777,553	0,009	0,006
Bituruna	978779,494	0,012	0,005
Civelândia	978785,956	0,016	0,003
Francisco Beltrão	978807,887	0,017	-0,001
Toledo	978798,269	0,018	-0,010
Laranjeiras do sul	978704,752	0,017	-0,004
Guarapuava	978679,223	0,006	-0,001
Ponta Grossa	978718,590	0,004	-0,001
Jaguariaíva	978652,193	0,018	0,010
Joaquim Távora	978670,154	0,022	0,014
Ortigueira	978678,785	0,018	0,007
Londrina	978636,851	0,018	0,027
Maringá	978666,846	0,018	-0,002
Iretama	978715,296	0,018	0,008
Paranavaí	978677,868	0,021	-0,029
Goio-erê	978744,595	0,021	0,005
Guaíra	978800,482	0,021	-0,028

QUADRO 4.83 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTOTOTAL60

Parâmetros	Gravidade (mGal)	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	978777,571	0,017	0,012
Bituruna	978779,494	0,023	0,008
Civelândia	978785,936	0,030	0,008
Francisco Beltrão	978807,853	0,032	0,003
Toledo	978798,158	0,032	-0,026
Laranjeiras do sul	978704,660	0,032	-0,017
Guarapuava	978679,080	0,012	-0,014
Ponta Grossa	978718,517	0,008	-0,008
Jaguariaíva	978652,172	0,003	-0,019
Joaquim Távora	978670,243	0,011	0,024
Ortigueira	978678,748	0,037	0,020
Londrina	978636,809	0,022	0,018
Maringá	978666,784	0,023	-0,007
Iretama	978715,160	0,033	-0,032
Paranavaí	978677,812	0,031	-0,043
Goio-erê	978744,506	0,037	-0,008
Guaíra	978800,376	0,037	-0,048

A solução AJUSTAMENTOTOTAL6 apresenta uma precisão média de 16 μGal e influência média sobre os parâmetros igual a 10 μGal . A solução AJUSTAMENTOTOTAL6O apresenta precisão média de 25 μGal e 19 μGal de influência média sobre os parâmetros.

Os resultados apresentados nos quadros 4.82 e 4.83, confirmam a tendência de se obter melhores resultados em precisão e confiabilidade quando se utiliza a estratégia b descrita na subseção 3.4 (utilização da tabela de calibração corrigida).

Como não foi localizada nenhuma observação afetada por erro grosseiro na análise das soluções AJUSTAMENTOTOTAL6 e AJUSTAMENTOTOTAL6O, não se tem outro argumento que possa ser utilizado para tentar obter outras soluções ainda melhores. A solução AJUSTAMENTOTOTAL6 supera, tanto em precisão quanto em confiabilidade, todas as outras soluções apresentadas, até então, para a Rede Gravimétrica Científica do Estado Paraná.

4.4 INFLUÊNCIA EM UMA REDE AJUSTADA COM OBSERVAÇÕES LACOSTE & ROMBERG DA INJUNÇÃO DE OBSERVAÇÕES SCINTREX CLASSIFICADAS POR UMA REDE NEURAL ARTIFICIAL PROBABILÍSTICA

Neste estudo, utilizou-se a solução AJUSTAMENTOTOTAL6 como referência para Rede Gravimétrica Científica do Estado do Paraná. Para análise desta nova solução tem-se adicionalmente às 89 observações LaCoste & Romberg utilizadas para gerar a solução AJUSTAMENTOTOTAL6, 31 observações oriundas do gravímetro Scintrex. Estas 31 observações Scintrex correspondem às mesmas utilizadas para gerar as soluções individuais SCINTREXT, SCINTREXV e SCINTREXVP, descritas na subseção 4.1. Cada uma dessas 31 observações Scintrex, antes da integração com as observações LaCoste & Romberg, foram submetidas a uma classificação por uma rede neural probabilística, a qual é um tipo de rede neural função de base radial.

Uma rede neural probabilística possui três camadas: camada de entrada (onde temos os vetores de entrada), camada escondida e camada de saída. O número de neurônios na camada escondida é definido de acordo com o número de vetores utilizados para o treinamento. Na Camada de saída a quantidade de neurônios é a mesma do número de classes a serem reconhecidas. A rede neural

probabilística consiste no seguinte: Um vetor de entrada é apresentado à rede na primeira camada. Na segunda camada é calculada a distância “d” existente entre este vetor de entrada e o somatório dado pela equação (2.58), e com a função de base radial

$$f(n) = e^{-n^2}, \quad (4.129)$$

onde “e” é a constante número de Nepper e n é a distância “d” calculada, produz um vetor cujos elementos variam de 0 a 1 indicando o quão perto está de um elemento de treinamento. A terceira camada, soma essas contribuições para cada classe de entradas e produz uma saída como vetor de probabilidades. Finalmente, a função de transferência competitiva, na saída da terceira camada, escolhe o máximo destas probabilidades, produzindo o número 1 para esta classe e zeros em outros casos.

Em cada uma das 23 linhas utilizadas no ajustamento da rede gravimétrica utilizou-se uma rede neural artificial probabilística, com a qual foi testada a possibilidade de uma determinada observação oriunda do gravímetro Scintrex poder ou não fazer parte do rol de observações LaCoste & Romberg. Para ser possível fazer essa classificação, duas classes foram criadas: classe 1 e classe 2. A classe 1 é composta por observações oriundas exclusivamente do gravímetro LaCoste & Romberg, utilizadas para obtenção da solução de referência (AJUSTAMENTOTOTAL6) para a Rede Gravimétrica Científica do Estado do Paraná. Para obtenção da classe 2, os seguintes procedimentos foram seguidos em todas as 23 linhas utilizadas no ajustamento para obtenção da solução AJUSTAMENTOTOTAL6:

- a) com o conjunto de observações LaCoste & Romberg, calculou-se a média aritmética (\bar{x}) juntamente com o respectivo desvio-padrão s;
- b) considerou-se que aproximadamente 99,7% dos elementos de uma amostra estão dentro de três desvios-padrão a contar da média: $[\bar{x} - 3S; \bar{x} + 3S]$ (TRIOLA, 1999, p. 43). Criou-se a classe 2, esta composta de dois elementos, sendo estes $\bar{x} - 3S$ e $\bar{x} + 3S$.

Efetuada a classificação utilizando a rede neural artificial probabilística, tem como resultado que se uma observação Scintrex é classificada como classe 1, significa que ela pode fazer parte do rol de observações LaCoste & Romberg. Caso

contrário, classificada como classe 2, ela não deve ser adicionada ao rol de observações LaCoste & Romberg.

Para o entendimento do treinamento das redes neurais, cita-se como exemplo o treinamento da rede neural utilizada para classificação das observações scintrex referente à linha 1. Para esta linha dispõe-se de seis observações LaCoste & Romberg, das quais cinco foram utilizadas para o treinamento. Uma observação ficou de fora do treinamento para avaliação da rede neural estabelecida. Em seguida essa observação que ficou para avaliação voltou para o conjunto de observações utilizadas no treinamento e uma outra observação foi retirada deste conjunto para servir como opção para nova avaliação da rede neural. Este procedimento foi seguido, até que todas as observações LaCoste & Romberg pertencentes a esta linha 1, uma a uma, serviram como observação teste para avaliação da rede neural. Obtendo resultado satisfatório para todas as observações, a rede foi treinada com o conjunto completo de observações LaCoste & Romberg. Este critério para treinamento foi igualmente utilizado para as demais linhas gravimétricas. Com as redes neurais devidamente treinadas, as observações Scintrex foram classificadas, obtendo-se o seguinte resultado apresentado no quadro 4.84.

QUADRO 4.84 – CLASSIFICAÇÃO DAS OBSERVAÇÕES SCINTREX

observações testadas	classe 1	classe 2
I1	X	
I1k	X	
I2	X	
I2k	X	
I3	X	
I3k	X	
I4	X	
I4k	X	
I5	X	
I5k	X	
I6	X	
I7	X	
I9	X	
I9k		X
I10	X	
I10k	X	
I11		X
I12	X	
I12k	X	
I13	X	
I14a	X	
I14b		X
I15a	X	
I15b		X
I16		X
I17	X	
I18a		X
I18b	X	
I19a	X	
I20		X
I21		X

Portanto, adicionando as observações Scintrex classificadas na classe 1 às observações pertencentes ao rol de observações que geraram a solução AJUSTAMENTOTOTAL6, gerou-se uma nova solução para a rede, identificada neste trabalho por AJUSTAMENTOINTEGRADO. Este novo ajustamento, inicia-se com um total de 112 observações e conseqüentemente 95 graus de liberdade, pois se repete a mesma estratégia de ajustamento utilizada para gerar a solução AJUSTAMENTOTOTAL6.

A solução AJUSTAMENTOINTEGRADO foi submetida à análise de precisão e confiabilidade, tal qual a solução AJUSTAMENTOTOTAL6 foi submetida.

Pelos resultados apresentados no quadro 4.85, da mesma forma que acontece para a solução AJUSTAMENTOTOTAL6, não se tem característica global de homogeneidade e isotropismo para a solução AJUSTAMENTOINTEGRADO. Os resultados apresentados no quadro 4.86 mostram que não houve prejuízo em precisão quando se considera a solução AJUSTAMENTOINTEGRADO. Integrando as observações Scintrex, além de não haver prejuízo em precisão, esta ainda apresenta uma pequena melhora.

QUADRO 4.85 – TESTE DE IGUALDADE DE VALORES PRÓPRIOS

DADOS	AJUSTAMENTOTOTAL6	AJUSTAMENTOINTEGRADO
r	72	95
b	17	17
α	5%	5%
Estatística Calculada	1771,50	2292,01
$\chi^2_{152;0,95}$	181,77	181,77

QUADRO 4.86 – APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PRECISÃO

Critérios	AJUSTAMENTOTOTAL6	AJUSTAMENTOINTEGRADO
$\det(\Sigma_{xa})$	$1,0 \cdot 10^{-71}$	$8,0 \cdot 10^{-73}$
$\text{tr}(\Sigma_{xa})$	0,00482	0,00404
$\lambda_{\text{máx}}$	0,00173	0,00144
$\frac{\lambda_{\text{máx}}}{\lambda_{\text{mín}}}$	5805,62	5300,01

Os resultados apresentados no quadro 4.87, mostram que não se está tendo prejuízo na qualidade do ajustamento quando se compara a solução AJUSTAMENTOTOTAL6 com a solução AJUSTAMENTOINTEGRADO. Para a solução AJUSTAMENTOINTEGRADO, a hipótese nula não é rejeitada. Portanto, o teste global não está detectando observação afetada por erro grosseiro. Mesmo o teste global não detectando observação afetada por erro grosseiro na solução AJUSTAMENTOINTEGRADO, a análise quanto à localização de possíveis observações afetadas por erro grosseiro é realizada. A figura 4.11 ilustra a situação de controlabilidade das observações quanto à localização de erros grosseiros para as soluções AJUSTAMENTOTOTAL6 e AJUSTAMENTOINTEGRADO1.

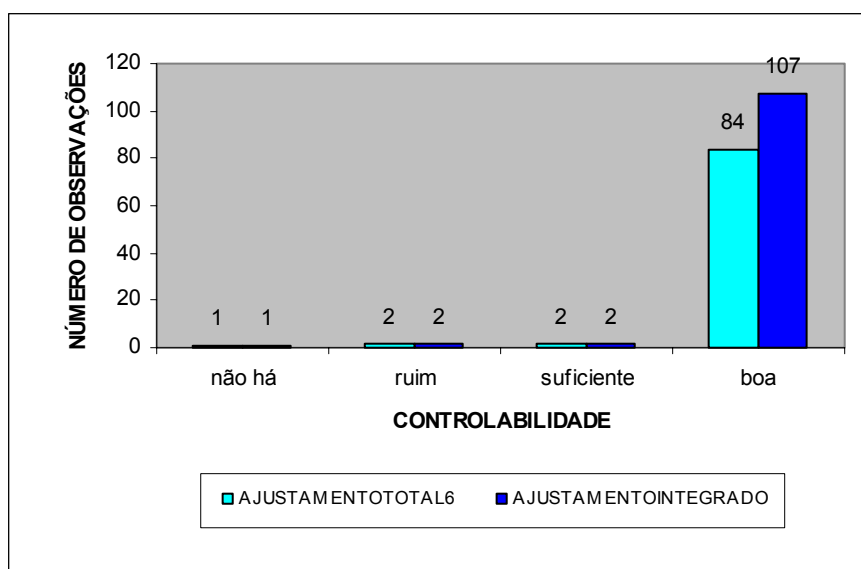
QUADRO 4.87 – RESULTADOS DO TESTE GLOBAL

Ajustamento	σ_0^2	$\hat{\sigma}_0^2$	χ^{*2}	Intervalo de não rejeição	Hipótese nula
AJUSTAMENTOTOTAL6	1	1,21	86,84	$50,43 \leq \chi^{*2} \leq 97,35$	Não rejeitada
AJUSTAMENTOINTEGRADO	1	1,10	104,37	$69,92 \leq \chi^{*2} \leq 123,86$	Não rejeitada

Verifica-se pela figura 4.11 que a situação quanto a controlabilidade das observações quanto à localização de possíveis observações afetadas por erros grosseiros não é prejudicada quando se integram as observações Scintrex no rol de observações LaCoste & Romberg. Todas as observações Scintrex incluídas no rol de observações LaCoste & Romberg apresentam controlabilidade classificada como boa.

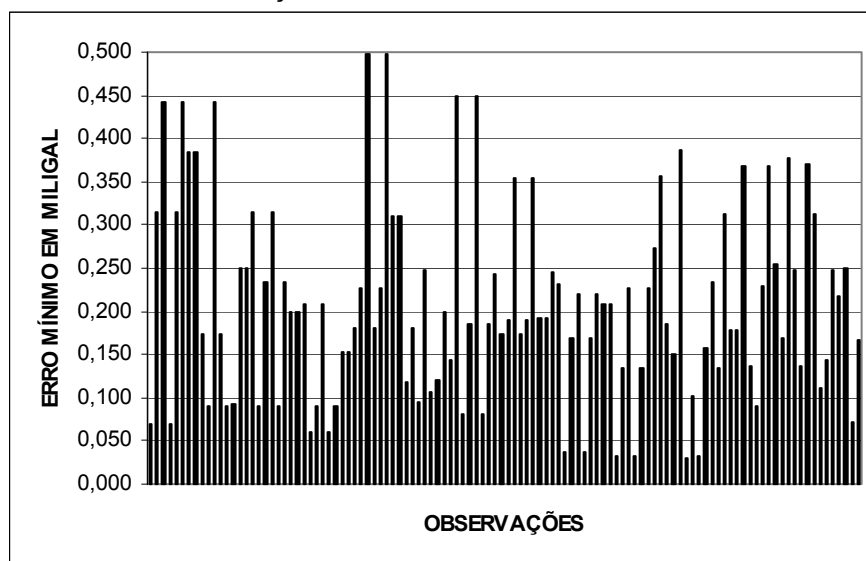
Devido ao resultado obtido da análise do teste global, quadro 4.87, na análise da solução AJUSTAMENTOINTEGRADO, não se espera localização de observação afetada por erro grosseiro.

FIGURA 4.11 – CONTROLABILIDADE DAS OBSERVAÇÕES REFERENTE ÀS SOLUÇÕES AJUSTAMENTOTOTAL6 E AJUSTAMENTOINTEGRADO



A figura 4.12 ilustra as magnitudes das estimativas do erro mínimo que se pode localizar aplicando o teste *data snooping* na análise da solução AJUSTAMENTOINTEGRADO, utilizando $\alpha_0 = 0,05\%$, $(1 - \beta_0) = 80\%$ e $\delta_0 = 4,30$.

FIGURA 4.12 – ESTIMATIVA DO ERRO MÍNIMO QUE PODE SER LOCALIZADO PARA A SOLUÇÃO AJUSTAMENTOINTEGRADO

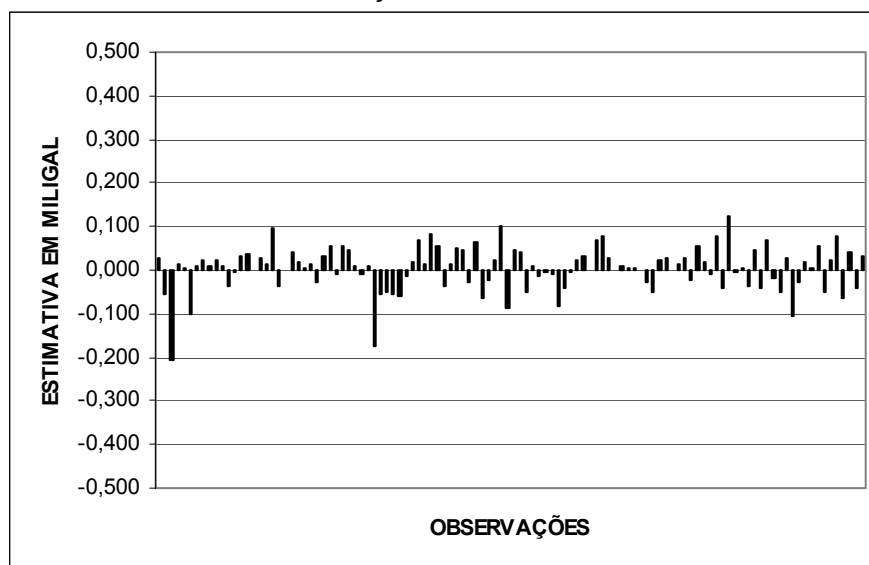


A solução AJUSTAMENTOINTEGRADO apresenta 0,208 mGal como estimativa média para o erro mínimo contra 0,189 mGal para a solução AJUSTAMENTOTOTAL6. Percebe-se que, em média, o erro mínimo que se pode localizar com a aplicação do teste *data snooping* não se alterou significativamente.

Aplicando o teste *data snooping* para a solução AJUSTAMENTOINTEGRADO, este não localizou observação afetada por erro grosseiro. Este resultado da aplicação do teste *data snooping* já era esperado, pois o teste global não detectou observação afetada por erro grosseiro. Isto é mais um indicativo da qualidade das observações Scintrex e que as mesmas podem ser utilizadas juntamente com observações LaCoste & Romberg.

Para a solução AJUSTAMENTOINTEGRADO, as estimativas de possíveis erros grosseiros não localizados e presentes nas respectivas observações foram calculadas, bem como a influência destas estimativas sobre os parâmetros ajustados.

FIGURA 4.13 – ESTIMATIVA DO ERRO GROSSEIRO PRESENTE EM CADA OBSERVAÇÃO REFERENTE À SOLUÇÃO AJUSTAMENTOINTEGRADO



A figura 4.13 mostra que a solução AJUSTAMENTOINTEGRADO apresenta uma situação próxima da solução AJUSTAMENTOTOTAL6 quanto às magnitudes das estimativas dos erros grosseiros não localizados. Esta situação apresentada pela solução AJUSTAMENTOINTEGRADO é refletida na análise da influência dessas estimativas sobre os parâmetros ajustados. Na seqüência, no quadro 4.88, é exposta a influência dos erros grosseiros estimados sobre os parâmetros ajustados, bem como as respectivas precisões obtidas com respeito às soluções AJUSTAMENTOTOTAL6 e AJUSTAMENTOINTEGRADO.

Pelos resultados apresentados no quadro 4.88, mostram que a integração das observações Scintrex com as observações Lacoste & Romberg proporcionou uma solução com a mesma qualidade da solução obtida apenas com observações LaCoste & Romberg. Tanto em precisão como em confiabilidade não houve prejuízo quando se incluíram as observações Scintrex no rol de observações LaCoste & Romberg. Para a solução AJUSTAMENTOTOTAL6 tem-se precisão média para os parâmetros de 16 μGal contra 15 μGal da solução AJUSTAMENTOINTEGRADO, e percebe-se a coerência na medida de confiabilidade externa, pois as estações que estão apresentando pior situação em confiabilidade externa são as mesmas e com valores muito próximos um do outro.

QUADRO 4.88 – COMPARAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS SOBRE OS PARÂMETROS COM AS RESPECTIVAS PRECISÕES OBTIDAS

parâmetros	ajustamentos					
	AJUSTAMENTOTOTAL6			AJUSTAMENTOINTEGRADO		
	gravidade mGal	precisão mGal	influência mGal	gravidade mGal	precisão mGal	Influência mGal
São Mateus do Sul	978777,553	0,009	0,006	978777,552	0,008	0,005
Bituruna	978779,494	0,012	0,005	978779,494	0,011	0,004
Clevelândia	978785,956	0,016	0,003	978785,956	0,014	0,003
Francisco Beltrão	978807,887	0,017	-0,001	978807,889	0,015	-0,002
Toledo	978798,269	0,018	-0,010	978798,274	0,016	-0,011
Laranjeiras do Sul	978704,752	0,017	-0,004	978704,752	0,015	-0,003
Guarapuava	978679,223	0,006	-0,001	978679,223	0,006	-0,001
Ponta Grossa	978718,590	0,004	-0,001	978718,590	0,004	-0,001
Jaguariaíva	978652,193	0,018	0,010	978652,187	0,017	0,014
Joaquim Távora	978670,154	0,022	0,014	978670,149	0,021	0,014
Ortigueira	978678,785	0,018	0,007	978678,783	0,017	0,008
Londrina	978636,851	0,018	0,027	978636,848	0,017	0,028
Maringá	978666,846	0,018	-0,002	978666,844	0,017	-0,006
Iretama	978715,296	0,018	0,008	978715,295	0,017	0,006
Paranavaí	978677,868	0,021	-0,029	978677,870	0,020	-0,034
Goio-erê	978744,595	0,021	0,005	978744,597	0,018	0,007
Guaíra	978800,482	0,021	-0,028	978800,484	0,018	-0,033

Para a estação de Londrina esperava-se uma situação pior que as demais devido a grande instabilidade observada no ponto. Já para as estações de Paranavaí e de Guaíra este resultado um pouco inferior das demais na confiabilidade externa traz surpresa, pois não se observou nenhum inconveniente no levantamento envolvendo essas duas estações.

Portanto, de todas as soluções analisadas neste trabalho, considerando as análises de precisão e confiabilidade, a solução que melhor concebe a Rede Gravimétrica Científica do Estado do Paraná é a solução AJUSTAMENTOINTEGRADO.

Deve-se ter atenção para a interpretação da medida de confiabilidade externa (influência de erros não localizados sobre os parâmetros ajustados) apresentada no quadro 4.88. A estação de Ponta Grossa tem valor estimado para a gravidade igual a 978718,590 mGal, com precisão de 0,004 mGal e com uma medida de confiabilidade externa igual a -0,001 mGal. Já para a estação de Londrina tem-se 978636,848 mGal para a estimativa do valor da gravidade, com precisão

igual a 0,017 mGal e medida de confiabilidade externa igual a 0,028 mGal. Logo, se deve considerar que além das precisões estabelecidas, a estação de Ponta Grossa está apresentando, de acordo com as análises realizadas, um erro de -0,001 mGal e a estação de Londrina um erro de 0,028 mGal. Portanto, a confiabilidade no valor estimado para a gravidade da estação de Ponta Grossa é maior que para a estação de Londrina.

5 CONCLUSÃO

Sabe-se da importância existente na definição do projeto de uma rede gravimétrica, principalmente na obtenção da melhor geometria para a rede e escolha dos pesos das observações. Dentre outros, um ponto fundamental neste trabalho está relacionado com o comportamento da rede quando as estações absolutas são introduzidas no ajustamento ou quando elas são apenas utilizadas para normalizar os gravímetros. Conclui-se que é melhor utilizar as estações absolutas selecionadas na região do levantamento tal que seja possível gerar um fator de escala para os instrumentos na época dos levantamentos. Neste caso, a influência das estações absolutas sobre a rede, é distribuída de forma homogênea para toda a rede. Caso contrário, a influência das estações absolutas se propaga pela rede de forma menos homogênea e podendo contribuir menos para as estações mais distantes das estações absolutas ou que passam a ter suas determinações dependentes da geometria da rede.

Enfatiza-se que o processamento dos dados também é muito importante. Em muitos estudos sobre redes gravimétricas, como neste caso, diversas soluções para a rede são propostas, com diferentes precisões. Dentre essas soluções, qual a mais confiável? Com a teoria e as análises apresentadas neste trabalho, mostra-se que não se deve julgar a qualidade de uma rede gravimétrica apenas pela precisão dos parâmetros. Critérios adicionais devem ser utilizados. Além dos critérios de precisão, os critérios de confiabilidade devem ser aplicados. Daí a importância de se utilizar o critério de confiabilidade. Nem sempre, a solução mais precisa é também a mais confiável. Uma análise de detecção e localização de erros grosseiros nas observações deve ser efetivada. Assim como para a precisão, deseja-se obter também a menor magnitude possível para a medida de confiabilidade externa, procurando minimizar o máximo possível os erros existentes nos valores calculados para os parâmetros. Deve-se desejar uma rede precisa e confiável seguindo os critérios estabelecidos neste trabalho. Pode-se apresentar como exemplo, uma solução para a rede que foi obtida via ajustamento de observações médias. Neste caso, se pode até obter precisão satisfatória, mas a confiabilidade no resultado obtido gera dúvidas. Neste caso, provavelmente os erros são distribuídos nos parâmetros. Portanto verificou-se que é muito mais confiável ajustar uma rede

gravimétrica com observações independentes a considerar observações médias. Foi visto que, considerando observações independentes, a análise de detecção e localização de erros nas observações realmente é operacional e efetiva, não causando prejuízo na análise de confiabilidade das soluções analisadas. Desta forma se pode de fato dar credibilidade à precisão obtida.

Outra contribuição deste trabalho está relacionada com o critério utilizado para integração de observações LaCoste & Romberg e Scintrex. Verificou-se através dos resultados obtidos, que é possível integrar observações oriundas do gravímetro Scintrex com as oriundas de gravímetros LaCoste & Romberg para o estabelecimento, por exemplo, de uma rede gravimétrica de alta precisão. Os resultados mostram que, fazendo uma classificação à priori das observações Scintrex, estas não afetaram as condições da rede pré-estabelecida com observações LaCoste & Romberg. As observações Scintrex mostraram-se compatíveis com observações LaCoste & Romberg no estabelecimento da rede, tanto em precisão como em confiabilidade, o que é muito importante. Um indicativo para se obter essa conclusão partiu-se da análise das soluções individuais, onde as soluções obtidas com observações Scintrex mostraram-se se mais precisas e confiáveis que as soluções obtidas com observações LaCoste & Romberg.

Portanto, enfatiza-se a importância na integração dos critérios de precisão e de confiabilidade na análise da qualidade de uma rede gravimétrica de alta precisão.

Solução que se deve considerar como ótima para a Rede Gravimétrica Científica do Estado do Paraná é a solução AJUSTAMENTOINTEGRADO.

REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, F. M. de (2000). **Redes Neurais com Aplicações em Controle e em Sistemas Especialistas**. Florianópolis: Bookstore.
- BAARDA, W. (1968). **A Testing Procedure for Use in Geodetic Networks**, New Series, Vol.2, nº 5, Delft.
- BENNING, W. (1983). **Tunneldurchschlagsprognosen mittels Pseudostrecken**. Zeitschrift für Vermessungswesen, Stuttgart, v. 108, n. 6, p. 220-226.
- BRONSON, R. (1993). **Matrizes**. Lisboa: McGraw-Hill.
- CRIOLLO, A. R. T. (2003). **Metodologia para a Geração da Malha de Anomalias Gravimétricas para Obtenção de Geóide Gravimétrico Local a partir de Dados Esparsos**. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- CROSSILA, F.; MARCHESI, C. (1983). Geodetic network optimization for the detection of crustal movements using a mekometer. **Bolletino di Geodesia e Science Affini**, Firenze, v. 42, n. 3, p.301-315.
- DUPRAZ, H.; NIEMEIER, W. (1981). Beurteilungskriterien für Geodätischer Netze. In: **Beiträgezum II. Internationalen Symposium über Deformationsmessungen mit Geodätischen Methoden**. Bonn 25-28. September 1978. Herausgegeben von Ludger Hallermann, Bonn. Stuttgart: Wittwer, S., 386-400,.
- 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 UFPR**. In: Simpósio Brasileiro de Geomática: 25 Anos do Curso de Engenharia Cartográfica da UNESP, Presidente Prudente. Anais.
- FALLER, J.F., GUO, Y.G., GSCHWIND, J.,NIEBAUER, T.M., RINKER, R.L., XUE,J. (1983). **The JILAG portable absolute gravity apparatus**. Bur. Grav. Int., Bull. D'Inf., nº 53, 87-97.
- FAUSSET, L. **Fundamentals of Neural Networks**. Prentice Hal, Englewood, New Jersey. 1994, 461p.
- FÖRSTNER, W. (1979). Das Programm TRINA zur Ausgleichung und Güntebewertung geodätischer Lagenetze. **Zeitschrift für Vermessungswesen**, Stuttgart, v. 104, n. 2, p. 61-72.
- FREITAS, S. R. C. (1993). **Marés Gravimétricas: Implicações para a Placa Sul Americana**. Tese de doutorado. IAG/USP, 264p.

FREITAS, S. R. C.; SANTOS JUNIOR, G.; FAGGION, P. L.; GEMAEL, C.; SILVA JR, J. S.; SIMÕES, K. (2002(a)). Concepção dos Levantamentos Gravimétricos para o Estabelecimento de Rede Gravimétrica de Alta Precisão no Estado do Paraná. **Série em Ciências Geodésicas**, Curitiba, Vol.2, 41 - 56.

FREITAS, S. R. C.; FAGGION, P. L.; GEMAEL, C.; SANTOS JUNIOR, G.; SILVA JR, J. S. (2002(b)). **Realization of a High Precision Gravity Network: Methodology and Results**. In: VII Congreso Internacional de Ciencias de La Tierra, Chile. Anais.

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

GEMAEL, C.; CORREIA, S. R. C.; FAGGION, P. L.; SIMÕES, K.; SILVA JUNIOR, J. (2002). **Rede Gravimétrica Científica para o Estado do Paraná**. In: Simpósio Brasileiro de Geomática: 25 Anos do Curso de Engenharia Cartográfica da UNESP, Presidente Prudente. Anais.

GRIMM-PITZINGER, A.; HANKE, K. (1988). **Zur äußeren Zuverlässigkeit in ingenieurgeodätischen Netzen**. Zeitschrift für Vermessungswesen, Stuttgart, v. 113, n. 3, p. 134-137.

HAYKIN, S. (2001). **Redes Neurais: Princípios e Prática**. Tradução de : Paulo Martins Engel. Porto Alegre: Bookman.

JACKSON, J.E. (1991). **A user's guide to principal componentes**. New York: J. Wiley.

JÄGER, R. (1988). Analyse und Optimierung geodätischer Netze nach spektralen Kriterien und mechanische Analogien. **Deutsche Geodätische Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften**, München, série C, n. 342.

KAVOURAS M., (1982). **On the Detection of Outliers and the Determination of Reliability in Geodetic Networks**. Canadá: Fredericton. University of New Brunswick, Department of Surveying Engineering. Technical Report, n° 87.

KALTENBACH, H. (1992). Optimierung geodätischer Netze mit spektralen Zielfunktionen. **Deutsche Geodätische Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften**, München, série C, n. 393.

KUANG, S. (1996). **Geodetic Network Analysis and Optimal Design: concepts and applications**. Chelsea: Ann Arbor Press.

LACOST & ROMBERG (2003). **Model "G" Gravity Meter**. Disponível em: <<http://www.lacosteromberg.com/gmeter.html>> acesso em: 31 out 2003.

- LEICK, A. (1995). **GPS Satellite Surveying**. New York.: Wiley.
- LOESCH, C.; SARI, S. (1996). **Redes Neurais Artificiais: Fundamentos e Modelos**. Blumenau: FURB.
- MARQUES, J. M. (1994). **O Método da Análise de Componentes Principais na Detecção e Identificação de Outliers Múltiplos em Fototriangulação**. Curitiba, 1994. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Departamento de Geociências, Universidade Federal do Paraná.
- MORAES, C. V. (1998). Análise de Erros Grosseiros e Confiabilidade de Redes Geodésicas. **Cartografia e Cadastro**, nº 8, p. 77-85.
- MORAES, C. V. (2001). **Aprimoramento da Concepção do Modelo Geodésico para a Caracterização de Estremas no Espaço Geométrico**. 277p. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- MÜRLE, M.; BILL, R. (1984). **Zuverlässigkeits - und Genauigkeits - untersuchung ebener geodätischer Netze**. Allgemeine Vermessungs - Nachrichten, Karlsruhe, v. 91, n. 2, p. 45 – 62.
- OLIVEIRA, R. (2003). **Otimização dos Pesos das Observações Geodésicas pelo Problema de Valor Próprio Inverso**. Curitiba, 95f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná.
- TORGE, W.; TIMMEN, L; RÖDER, R. H; SCHNÜLL, M. (1994). **The IFE Absolute Gravity Program “ South America” 1988 –1991**. 44pp.
- TRIOLA, M. F. (1999). **Introdução à Estatística**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC.
- WANDRESEN, R. (2004). **Integração entre Redes Neurais e Correlação para Identificar Pontos de Apoio Pré-Sinalizados**. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade do Paraná, Curitiba.
- WELSH, W.; HEUNECCKE, O. ;KUHLMANN, H. (2000). **Auswertung geodätischer Überwachungsmessungen**. Heidelberg: Wichmann. (Handbuch Ingenieurgeodäsie).

DOCUMENTOS CONSULTADOS

- COSTA NETO, P. L. O. (1977). **Estatística**. 17. reimpressão. São Paulo: E. Blücher.
- DALMOLIN, Q. (2002). **Ajustamento por Mínimos Quadrados**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná. CPCG, 176 pp.
- JOHNSON, R. A. ; WICHERN, D. W. (1998). **Applied Multivariate Statistical Analysis**. 4th ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
- MIKHAIL, E. M. (1976). **Observations and Least Squares**. New York: IEP.
- OLIVEIRA, R. (2003). Critérios para a Análise da Geometria de Redes Geodésicas por Componentes Principais. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 9, n^o 1, p. 25-37.
- RIBEIRO, S. R. A. (2003). **Integração de Imagens Landsat TM e Dados Auxiliares Para a Delimitação Automática de Unidades Fisionômicas Usando Redes Neurais Artificiais**. Tese de Doutorado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- SANTOS JUNIOR G.; FREITAS, S. R. C.; FAGGION P. L.; SILVA JR, J. S.; SIMÕES, K.; GEMAE, C. (2003). Estratégias de Processamento da Rede Gravimétrica Científica do Paraná. **Série em Ciências Geodésicas**, Curitiba, Vol.3, 133 - 144.
- SILVA JUNIOR, J. S., FREITAS S. R. C., FAGGION P. L., SANTOS JUNIOR, G. (2003). **O Gravímetro Digital Scintrex e sua Aplicação em Levantamentos Gravimétricos de Alta Precisão**. In: COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 3, Anais.
- SIMÕES, K., FAGGION, P. L., FREITAS S. R. C., DALAZOANA, R., SILVA JUNIOR, J. S. (2003). **Otimização do Processo de Calibração de Gravímetros a Mola: Métodos e Resultados Obtidos no LAIG**. In: COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 3, Anais.
- TAFNER, M. A.; XEREZ, M. de; RODRIGUES FILHO, I. W. (1995). **REDES NEURAIS ARTIFICIAIS: INTRODUÇÃO E PRINCÍPIOS DE NEUROCOMPUTAÇÃO**. Blumenau: EKO, ed. Da FURB.
- TORGE, W. (1989). **Gravimetry**. Berlin; New York: de Gruyter.
- XAVIER, J. H. (2000). **Análise de Estabilidade de uma Rede Local GPS Situada no Litoral Paranaense**. Dissertação de mestrado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 112 p.

APÊNDICES

APÊNDICE 1	- ROL DE OBSERVAÇÕES LACOSTE & ROMBERG (DESNÍVEIS GRAVIMÉTRICOS) CONSIDERANDO A TABELA DE CALIBRAÇÃO ORIGINAL.....	131
APÊNDICE 2	- ROL DE OBSERVAÇÕES LACOSTE & ROMBERG (DESNÍVEIS GRAVIMÉTRICOS) CONSIDERANDO A TABELA DE CALIBRAÇÃO CORRIGIDA.....	133
APÊNDICE 3	- ROL DE OBSERVAÇÕES SCINTREX.....	135
APÊNDICE 4	- PESOS ATRIBUIDOS AS OBSERVAÇÕES REFERENTES ÀS SOLUÇÕES ANALISADAS.....	137
APÊNDICE 5	- ANÁLISE DAS SOLUÇÕES OBTIDAS COM OBSERVAÇÕES INDEPENDENTES.....	145

**APÊNDICE 1 – ROL DE OBSERVAÇÕES LACOSTE & ROMBERG
(DESNÍVEIS GRAVIMÉTRICOS) CONSIDERANDO A
TABELADE CALIBRAÇÃO ORIGINAL**

APÊNDICE 1 – ROL DE OBSERVAÇÕES LACOSTE & ROMBERG (DESNÍVEIS GRAVIMÉTRICOS) CONSIDERANDO A TABELA DE CALIBRAÇÃO ORIGINAL

I1_114=17,216	I5_114=9,626	I11_114=100,396	I15b_114=17,997	I23a_114=108,438
I1_143=17,105	I5_143=9,621	I11_143=100,140	I15b_143=18,145	I23a_143=108,158
I1_372=16,947	I5_372=9,438	I11_372=100,162	I15b_372=18,080	I23a_372=108,033
I1_114k=17,208	I5_114k=9,590	I12_114=39,446	I16_114=33,370	I23b_114=88,568
I1_143k=17,165	I5_143k=9,569	I12_143=39,379	I16_143=33,436	I23b_143=88,394
I1_372k=17,054	I5_372k=9,555	I12_372=39,372	I16_372=33,332	I23b_372=88,442
I2_114=1,954	I6_114=2,231	I12_114k=39,448	I17_114=30,019	I8_114=88,370
I2_143=1,958	I6_143=2,273	I12_143k=39,423	I17_143=30,033	I8_143=88,210
I2_372=1,946	I6_372=2,218	I12_372k=39,418	I17_372=29,973	I8_372=88,186
I2_114k=1,911	I7_114=53,827	I13_114=41,885	I18a_114=48,530	I19b_114=21,357
I2_143k=1,938	I7_143=53,630	I13_143=41,788	I18a_143=48,394	I19b_143=21,295
I2_372k=1,966	I7_372=53,654	I13_372=41,772	I18a_372=48,438	I19b_372=21,260
I3_114=6,503	I9_114=93,755	I13_114k=41,882	I18b_114=36,044	I22_114=211,274
I3_143=6,469	I9_143=93,477	I13_143k=41,760	I18b_143=36,036	I22_143=210,731
I3_372=6,552	I9_372=93,519	I13_372k=41,718	I18b_372=36,056	I22_372=210,722
I3_114k=6,441	I9_114k=93,647	I14a_114=39,912	I19a_114=11,100	
I3_143k=6,461	I9_143k=93,481	I14a_143=39,796	I19a_143=11,011	
I3_372k=6,498	I9_372k=93,477	I14a_372=39,790	I19a_372=11,038	
I4_114=21,989	I10_114=25,507	I14b_114=42,020	I20_114=67,125	
I4_143=21,907	I10_143=25,565	I14b_143=41,975	I20_143=66,664	
I4_372=21,945	I10_372=25,552	I14b_372=41,926	I20_372=66,617	
I4_114k=22,031	I10_114k=25,536	I15a_114=66,531	I21_114=56,041	
I4_143k=21,920	I10_143k=25,532	I15a_143=66,455	I21_143=55,869	
I4_372k=21,967	I10_372k=25,498	I15a_372=66,336	I21_372=55,882	

Em cada uma das observações acima se pode identificar o gravímetro utilizado, bem como a linha levantada. A unidade utilizada nas observações é mGal.

**APÊNDICE 2 – ROL DE OBSERVAÇÕES LACOSTE & ROMBERG
(DESNÍVEIS GRAVIMÉTRICOS) CONSIDERANDO A
TABELA DE CALIBRAÇÃO CORRIGIDA**

APÊNDICE 2 – ROL DE OBSERVAÇÕES LACOSTE & ROMBERG (DESNÍVEIS GRAVIMÉTRICOS) CONSIDERANDO A TABELA DE CALIBRAÇÃO CORRIGIDA

I1_114=17,181	I5_114=9,607	I11_114=100,194	I15b_114=17,961	I8_114=88,192
I1_143=17,110	I5_143=9,624	I11_143=100,169	I15b_143=18,149	I8_143=88,236
I1_372=16,958	I5_372=9,444	I11_372=100,231	I15b_372=18,092	I8_372=88,246
I1_114k=17,173	I5_114k=9,570	I12_114=39,366	I16_114=33,303	I19b_114=21,309
I1_143k=17,170	I5_143k=9,572	I12_143=39,390	I16_143=33,446	I19b_143=21,302
I1_372k=17,066	I5_372k=9,562	I12_372=39,399	I16_372=33,354	I19b_372=21,274
I2_114=1,950	I6_114=2,226	I12_114k=39,368	I17_114=29,958	I22_114=210,849
I2_143=1,958	I6_143=2,274	I12_143k=39,434	I17_143=30,042	I22_143=210,793
I2_372=1,948	I6_372=2,220	I12_372k=39,445	I17_372=29,993	I22_372=210,866
I2_114k=1,908	I7_114=53,719	I13_114=41,801	I18a_114=48,432	
I2_143k=1,938	I7_143=53,645	I13_143=41,800	I18a_143=48,408	
I2_372k=1,968	I7_372=53,691	I13_372=41,801	I18a_372=48,470	
I3_114=6,490	I9_114=93,566	I13_114k=41,798	I18b_114=35,971	
I3_143=6,471	I9_143=93,505	I13_143k=41,772	I18b_143=36,046	
I3_372=6,556	I9_372=93,583	I13_372k=41,746	I18b_372=36,080	
I3_114k=6,428	I9_114k=93,459	I14a_114=39,832	I19a_114=11,078	
I3_143k=6,462	I9_143k=93,508	I14a_143=39,808	I19a_143=11,014	
I3_372k=6,503	I9_372k=93,541	I14a_372=39,818	I19a_372=11,046	
I4_114=21,945	I10_114=25,455	I14b_114=41,934	I20_114=66,990	
I4_143=21,914	I10_143=25,572	I14b_143=41,987	I20_143=66,683	
I4_372=21,960	I10_372=25,570	I14b_372=41,954	I20_372=66,662	
I4_114k=21,986	I10_114k=25,485	I15a_114=66,397	I21_114=55,928	
I4_143k=21,926	I10_143k=25,539	I15a_143=66,474	I21_143=55,885	
I4_372k=21,982	I10_372k=25,515	I15a_372=66,381	I21_372=55,920	

Em cada uma das observações acima se pode identificar o gravímetro utilizado, bem como a linha levantada. A unidade utilizada nas observações é mGal.

APÊNDICE 3 – ROL DE OBSERVAÇÕES SCINTREX

APÊNDICE 3 – ROL DE OBSERVAÇÕES SCINTREX

l1_sci=17,174	l7_sci=53,723	l15a_sci=66,519	l8_sci=88,283
l1_scik=17,189	l9_sci=93,618	l15b_sci=18,103	l19b_sci=21,315
l2_sci=1,977	l9_scik=93,642	l16_sci=33,512	l22_sci=211,010
l2_scik=1,942	l10_sci=25,526	l17_sci=30,063	
l3_sci=6,478	l10_scik=25,523	l18a_sci=48,542	
l3_scik=6,469	l11_sci=100,289	l18b_sci=36,078	
l4_sci=21,979	l12_sci=39,395	l19a_sci=11,099	
l4_scik=21,944	l12_scik=39,366	l20_sci=66,793	
l5_sci=9,557	l13_sci=41,821	l21_sci=56,030	
l5_scik=9,604	l14a_sci=39,836	l23a_sci=108,267	
l6_sci=2,291	l14b_sci=42,021	l23b_sci=88,623	

Em cada uma das observações acima se pode identificar o gravímetro utilizado, bem como a linha levantada. A unidade utilizada nas observações é mGal.

**APÊNDICE 4 – PESOS ATRIBUIDOS AS OBSERVAÇÕES
REFERENTES ÀS SOLUÇÕES ANALISADAS**

APÊNDICE 4 – PESOS ATRIBUIDOS AS OBSERVAÇÕES REFERENTES ÀS SOLUÇÕES ANALISADAS

Abaixo são listadas as variações do tempo, em horas, utilizados para a ponderação das respectivas observações.

Observações	G114T	G143T	G372T	G114TO	G143TO	G372TO	SCINTREXT
I1	8,8	8,75	9,03	8,8	8,75	9,03	8,42
I2	7,8	7,67	7,62	7,8	7,67	7,62	7,73
I3	7,33	7,13	7,17	7,33	7,13	7,17	7
I4	4,87	4,92	5,02	4,87	4,92	5,02	4,9
I5	8,57	8,72	8,73	8,57	8,72	8,73	8,65
I6	5,48	5,42	5,5	5,48	5,42	5,5	5,52
I7	5,52	5,47	5,48	5,52	5,47	5,48	5,3
I9	7,02	7,07	7,12	7,02	7,07	7,12	7,08
I10	4,25	4,32	4,42	4,25	4,32	4,42	4,27
I11	5,63	5,72	5,72	5,63	5,72	5,72	5,72
I12	6,95	6,77	6,88	6,95	6,77	6,88	7,13
I13	7,37	7,17	7,12	7,37	7,17	7,12	7,1
I14a	4,97	5,19	5,15	4,97	5,19	5,15	5,07
I14b	5,35	4,96	5,15	5,35	4,96	5,15	5,2
I15a	4,88	4,81	4,63	4,88	4,81	4,63	4,95
I15b	5,05	5,12	5,32	5,05	5,12	5,32	4,98
I16	6,92	6,9	6,9	6,92	6,9	6,9	6,88
I17	3,92	4,02	4,13	3,92	4,02	4,13	3,98
I18a	5,66	5,63	5,61	5,66	5,63	5,61	5,48
I18b	5,41	5,55	5,61	5,41	5,55	5,61	5,7
I19a	3,61	3,58	3,52	3,61	3,58	3,52	3,4
I20	6,93	6,92	6,9	6,93	6,92	6,9	6,92
I21	7,7	7,58	7,43	7,7	7,58	7,43	7,6
I23a	-----	-----	-----	8,32	8,37	8,5	-----
I23b	-----	-----	-----	25,76	25,73	25,5	-----

Abaixo são listadas as variâncias calculadas, em mGal^2 , utilizados para a ponderação das respectivas observações.

Observações	G114V	G143V	G372V	G114VO	G143VO	G372VO	SCINTREXV
I1	0,00015	0,00528	0,01053	0,00015	0,00528	0,01052	0,00791
I2	0,00157	0,00036	0,00038	0,00158	0,00036	0,00038	0,00331
I3	0,00529	0,00029	0,00287	0,00532	0,00029	0,00286	0,00206
I4	0,00232	0,00014	0,00039	0,00233	0,00014	0,00039	0,00122
I5	0,0015	0,0025	0,01319	0,0015	0,0025	0,01317	0,00498
I6	0,00063	0,00168	0,00036	0,00062	0,00168	0,00036	0,0032
I7	0,0005	0,00066	0,00203	0,0005	0,00066	0,00203	0,00101
I9	0,01079	0,00022	0,00178	0,01092	0,00022	0,00177	0,0031
I10	0,00141	0,00173	0,00661	0,0014	0,00172	0,00659	0,00181
I11	0,00312	0,00058	0,00274	0,00315	0,00058	0,00275	0,00281
I12	0,00004	0,00152	0,00262	0,00005	0,00152	0,00261	0,00231
I13	0,00003	0,00097	0,00278	0,00003	0,00098	0,00279	0,00405
I14a	0,00665	0,00158	0,0009	0,00669	0,00158	0,0009	0,00781
I14b	0,0000005	0,00056	0,00006	0,0000007	0,00056	0,00006	0,00605
I15a	0,00102	0,00267	0,00053	0,00102	0,00266	0,00053	0,005
I15b	0,00026	0,00259	0,00003	0,00026	0,00259	0,00003	0,00845
I16	0,00087	0,00013	0,00014	0,00087	0,00013	0,00014	0,01201
I17	0,00732	0,00097	0,00003	0,00735	0,00096	0,00003	0,00281
I18a	0,00696	0,00314	0,00106	0,00697	0,00314	0,00106	0,0098
I18b	0,00742	0,00305	0,00036	0,00746	0,00305	0,00036	0,0072
I19a	0,00517	0,00015	0,001	0,00519	0,00015	0,001	0,0032
I20	0,00005	0,00184	0,00107	0,00005	0,00185	0,00107	0,01805
I21	0,00338	0,00001	0,00148	0,00338	0,00005	0,00148	0,01531
I23a	-----	-----	-----	0,00039	0,0005	0,00075	-----
I23b	-----	-----	-----	0,00278	0,000006	0,00191	-----

Observações	G114VP	G143VP	G372VP	G114VPO	G143VPO	G372VPO	SCINTREXVP
I1	0,00005	0,00176	0,00351	0,00005	0,00176	0,00351	0,00264
I2	0,00052	0,00012	0,00013	0,00053	0,00012	0,00013	0,00110
I3	0,00176	0,0001	0,00096	0,00177	0,0001	0,00095	0,00069
I4	0,00077	0,00005	0,00013	0,00078	0,00005	0,00013	0,00041
I5	0,0005	0,00083	0,00440	0,00050	0,00083	0,00439	0,00166
I6	0,00032	0,00084	0,00018	0,00031	0,00084	0,00018	0,00160
I7	0,00025	0,00033	0,00102	0,00025	0,00033	0,00102	0,00051
I9	0,00360	0,00005	0,00059	0,00364	0,00007	0,00059	0,00103
I10	0,00047	0,00058	0,00220	0,00047	0,00057	0,00220	0,00060
I11	0,00156	0,00029	0,00137	0,00158	0,00029	0,00138	0,00141
I12	0,00001	0,00051	0,00087	0,00002	0,00051	0,00087	0,00077
I13	0,00001	0,00032	0,00093	0,00001	0,00033	0,00093	0,00135
I14a	0,00333	0,00079	0,00045	0,00335	0,00079	0,00045	0,00391
I14b	3.10^{-7}	0,00028	0,00003	4.10^{-7}	0,00028	0,00005	0,00303
I15a	0,0005	0,00134	0,00027	0,00051	0,00133	0,00027	0,00250
I15b	0,0001	0,00130	0,00002	0,00013	0,00130	0,00002	0,00423
I16	0,0004	0,00007	0,00007	0,00044	0,00007	0,00007	0,00601
I17	0,0037	0,00049	0,00002	0,00368	0,00048	0,00002	0,00141
I18a	0,0035	0,00157	0,00053	0,00349	0,00157	0,00053	0,00490
I18b	0,0037	0,00153	0,00018	0,00373	0,00153	0,00018	0,00360
I19a	0,0026	0,00008	0,00050	0,00260	0,00008	0,00050	0,00160
I20	0,00003	0,00092	0,00054	0,00005	0,00093	0,00054	0,00903
I21	0,00169	5.10^{-6}	0,00074	0,00169	5.10^{-6}	0,00074	0,00766
I23a	-----	-----	-----	0,00020	0,00025	0,00038	-----
I23b	-----	-----	-----	0,00139	1.10^{-6}	0,00096	-----

Abaixo são listadas as variâncias calculadas, em mGal^2 , utilizados para a ponderação das respectivas observações.

Observações	AGLOBAL1	AGLOBAL2	AGLOBAL3	AGLOBAL10	AGLOBAL20	AGLOBAL30
I1	0,00881	0,00098	0,00013	0,01173	0,00391	0,00178
I2	0,00070	0,00008	0,00007	0,00066	0,00022	0,00006
I3	0,00347	0,00039	0,00031	0,00306	0,00102	0,00026
I4	0,00126	0,00014	0,00014	0,00224	0,00075	0,00035
I5	0,00637	0,00071	0,00066	0,00706	0,00235	0,00079
I6	0,00127	0,00021	0,00029	0,00124	0,00062	0,00028
I7	0,00174	0,00029	0,00047	0,00994	0,00497	0,00386
I9	0,00415	0,00046	0,00034	0,01384	0,00461	0,00224
I10	0,00358	0,00040	0,00037	0,0027	0,00090	0,00011
I11	0,00216	0,00036	0,00032	0,01706	0,00853	0,00671
I12	0,00158	0,00018	0,00018	0,00175	0,00058	0,00018
I13	0,00104	0,00012	0,00009	0,00486	0,00162	0,00077
I14a	0,00194	0,00032	0,00005	0,00558	0,00279	0,00158
I14b	0,00068	0,00011	0,00024	0,00198	0,00099	0,00074
I15a	0,00277	0,00046	0,00082	0,00862	0,00431	0,00332
I15b	0,00809	0,00135	0,00310	0,00496	0,00248	0,00183
I16	0,00441	0,00073	0,00175	0,00254	0,00127	0,00092
I17	0,00319	0,00053	0,00059	0,0024	0,00120	0,00033
I18a	0,00305	0,00051	0,00033	0,00609	0,00305	0,00161
I18b	0,00480	0,00080	0,00104	0,00228	0,00114	0,00003
I19a	0,00208	0,00035	0,00034	0,00294	0,00147	0,00069
I20	0,02755	0,00459	0,01124	0,06378	0,03189	0,02627
I21	0,00155	0,00026	0,00017	0,00882	0,00441	0,00306
I23a	-----	-----	-----	0,03452	0,01726	0,01434
I23b	-----	-----	-----	0,00689	0,00345	0,00269

Abaixo são listadas as variâncias calculadas, em mGal^2 , utilizados para a ponderação das respectivas observações listadas no apêndice 1. Os valores listados a seguir são referentes à solução AJUSTAMENTOTOTAL10. Recorda-se que para esta solução não foram utilizadas as observações referentes às linhas I8, I19b e I22.

0,00015	0,0015	0,00315	0,00026	0,00039
0,00528	0,0025	0,00058	0,00259	0,0005
0,01052	0,01317	0,00275	0,00003	0,00075
0,00015	0,0015	0,00005	0,00087	0,00278
0,00528	0,0025	0,00152	0,00013	$2 \cdot 10^{-6}$
0,01052	0,01317	0,00261	0,00014	0,00191
0,00158	0,00062	0,00005	0,00735	
0,00036	0,00168	0,00152	0,00096	
0,00038	0,00036	0,00261	0,00003	
0,00158	0,0005	0,00003	0,00697	
0,00036	0,00066	0,00098	0,00314	
0,00038	0,00203	0,00279	0,00106	
0,00532	0,01092	0,00003	0,00746	
0,00029	0,00022	0,00098	0,00305	
0,00286	0,00177	0,00279	0,00036	
0,00532	0,01092	0,00669	0,00519	
0,00029	0,00022	0,00158	0,00015	
0,00286	0,00177	0,0009	0,001	
0,00233	0,0014	$7 \cdot 10^{-7}$	0,00005	
0,00014	0,00172	0,00056	0,00185	
0,00039	0,00659	0,00006	0,00107	
0,00233	0,0014	0,00102	0,00338	
0,00014	0,00172	0,00266	0,00001	
0,00039	0,00659	0,00053	0,00148	

Abaixo são listadas as variâncias calculadas, em mGal^2 , utilizados para a ponderação das respectivas observações listadas no apêndice 2. Os valores listados a seguir são referentes à solução AJUSTAMENTOTOTAL1. Recorda-se que para esta solução não foram utilizadas as observações referentes às linhas I8, I19b e I22.

0,00015	0,0015	0,00312	0,00026
0,00528	0,0025	0,00058	0,00259
0,01053	0,01319	0,00274	0,00003
0,00015	0,0015	0,00004	0,00087
0,00528	0,0025	0,00152	0,00013
0,01053	0,01319	0,00262	0,00014
0,00157	0,00063	0,00004	0,00732
0,00036	0,00168	0,00152	0,00097
0,00038	0,00036	0,00262	0,00003
0,00157	0,0005	0,00003	0,00696
0,00036	0,00066	0,00097	0,00314
0,00038	0,00203	0,00278	0,00106
0,00529	0,01079	0,00003	0,00742
0,00029	0,00022	0,00097	0,00305
0,00287	0,00178	0,00278	0,00036
0,00529	0,01079	0,00665	0,00517
0,00029	0,00022	0,00158	0,00015
0,00287	0,00178	0,0009	0,001
0,00232	0,00141	$5 \cdot 10^{-7}$	0,00005
0,00014	0,00173	0,00056	0,00184
0,00039	0,00661	0,00006	0,00107
0,00232	0,00141	0,00102	0,00338
0,00014	0,00173	0,00267	0,00001
0,00039	0,00661	0,00053	0,00148

Abaixo são listadas as variâncias calculadas, em mGal^2 , utilizados para a ponderação das respectivas observações listadas no apêndice 3, com exceção das observações I9k, I11, I14b, I15b, I16, I18a, I20 e I21. Os valores listados a seguir são referentes à solução AJUSTAMENTOINTEGRADO. Recorda-se que para esta solução também não foram utilizadas as observações referentes às linhas I8, I19b, I22, I23a e I23b.

0,00791	0,00101	0,00320
0,00791	0,00310	
0,00331	0,00181	
0,00331	0,00181	
0,00206	0,00231	
0,00206	0,00231	
0,00122	0,00405	
0,00122	0,00781	
0,00498	0,00500	
0,00498	0,00281	
0,00320	0,00720	

**APÊNDICE 5 – ANÁLISE DAS SOLUÇÕES OBTIDAS COM
OBSERVAÇÕES INDEPENDENTES**

APÊNDICE 5 – ANÁLISE DAS SOLUÇÕES OBTIDAS COM OBSERVAÇÕES INDEPENDENTES

De acordo com as análises das soluções AJUSTAMENTOTOTAL1 e AJUSTAMENTOTOTAL10, as observações localizadas com erros grosseiros foram eliminadas e duas novas soluções foram obtidas, AJUSTAMENTOTOTAL2 e AJUSTAMENTOTOTAL20. Os resultados das análises de precisão e confiabilidade das soluções AJUSTAMENTOTOTAL2 e AJUSTAMENTOTOTAL20 são apresentados na seqüência.

QUADRO 1 – TESTE DE IGUALDADE DE VALORES PRÓPRIOS

DADOS	AJUSTAMENTOTOTAL2	AJUSTAMENTOTOTAL20
r	76	84
b	17	17
α	5%	5%
Estatística Calculada	1885,84	2013,92
$\chi^2_{152;0,95}$	181,77	181,77

QUADRO 2 – APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PRECISÃO

Critérios	AJUSTAMENTOTOTAL2	AJUSTAMENTOTOTAL20
$\det(\sum_{xa})$	$1,5 \cdot 10^{-68}$	$9,5 \cdot 10^{-60}$
$\text{tr}(\sum_{xa})$	0,00749	0,02350
$\lambda_{\text{máx}}$	0,00294	0,01018
$\frac{\lambda_{\text{máx}}}{\lambda_{\text{mín}}}$	5630,25	2930,14

Observando os resultados apresentados no quadro 1, verifica-se a mesma situação anterior, ou seja, as soluções AJUSTAMENTOTOTAL2 e AJUSTAMENTOTOTAL20 não apresentam característica global de homogeneidade e isotropismo. Os resultados quanto à precisão, apresentados no quadro 2, mostram uma melhora em favor das soluções AJUSTAMENTOTOTAL2 e AJUSTAMENTOTOTAL20 quando comparadas respectivamente com as soluções AJUSTAMENTOTOTAL1 e AJUSTAMENTOTOTAL10. Comparando os resultados apresentados no quadro 2, percebe-se uma melhor situação em favor da solução AJUSTAMENTOTOTAL2.

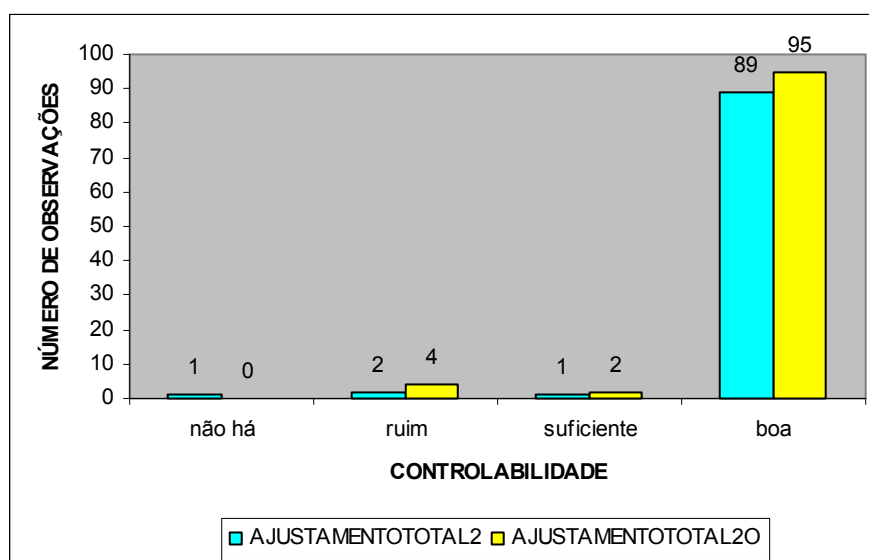
Na seqüência, são apresentados os resultados da aplicação do critério de confiabilidade.

QUADRO 3 – RESULTADOS DO TESTE GLOBAL

Ajustamento	σ_0^2	$\hat{\sigma}_0^2$	χ^{*2}	Intervalo de não rejeição	Hipótese nula
AJUSTAMENTOTOTAL2	1	2,12	161,33	$53,78 \leq \chi^{*2} \leq 102,00$	Rejeitada
AJUSTAMENTOTOTAL20	1	10,14	852,01	$60,54 \leq \chi^{*2} \leq 111,24$	Rejeitada

Considerando os resultados da aplicação do teste global apresentado no quadro 3, a hipótese nula foi rejeitada em ambas as soluções. Este resultado aponta para detecção de novas observações afetadas com erros grosseiros. Analisando ainda os resultados presentes neste quadro, percebe-se que houve uma melhora na qualidade dessas soluções quando comparadas respectivamente com as soluções AJUSTAMENTOTOTAL1 e AJUSTAMENTOTOTAL10. Ainda com essa mesma comparação, percebe-se no quadro 3, que apesar da hipótese nula continuar sendo rejeitada, os valores apresentados para a variância da unidade de peso *a posteriori* de ambas as soluções se aproximaram mais do valor atribuído ao variância da unidade de peso *a priori*. Isto é um indicativo que a eliminação das observações localizadas com erros grosseiros, na análise das soluções AJUSTAMENTOTOTAL1 e AJUSTAMENTOTOTAL10, trouxe benefícios também em confiabilidade.

FIGURA 1 – CONTROLABILIDADE DAS OBSERVAÇÕES REFERENTE ÀS SOLUÇÕES AJUSTAMENTOTOTAL2 E AJUSTAMENTOTOTAL20



Como se pode observar na figura 1, a grande maioria das observações apresenta controlabilidade classificada como boa, tanto para a solução AJUSTAMENTOTOTAL2 como para solução AJUSTAMENTOTOTAL20. Somando-se as observações sem controlabilidade com as observações que apresentam controlabilidade ruim, obtém-se 3 para a solução AJUSTAMENTOTOTAL2 e 4 para a solução AJUSTAMENTOTOTAL20. Como, para ambas as soluções, a grande maioria das observações com controlabilidade classificada como boa, apresentam número de redundância parcial maior que 0,50, havendo observações afetadas por erros grosseiros, a probabilidade de se localizar tais observações com a aplicação do teste *data snooping* continua grande. Portanto, cresce a expectativa de se poder melhorar ainda mais a solução para a rede.

FIGURA 2 – ESTIMATIVA DO ERRO MÍNIMO QUE PODE SER LOCALIZADO COM $\alpha_0 = 0,1\%$, $(1-\beta_0) = 80\%$ e $\delta_0 = 4,10$ PARA A SOLUÇÃO AJUSTAMENTOTOTAL2

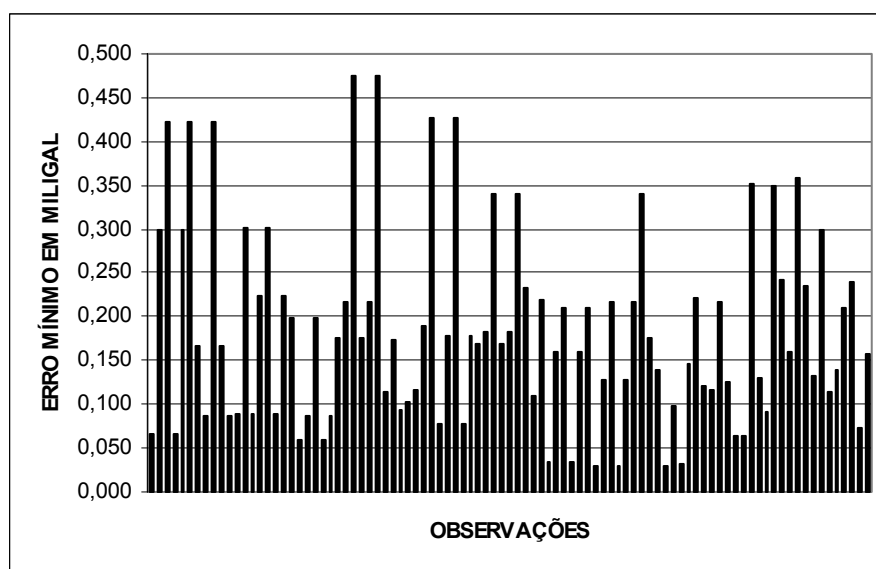
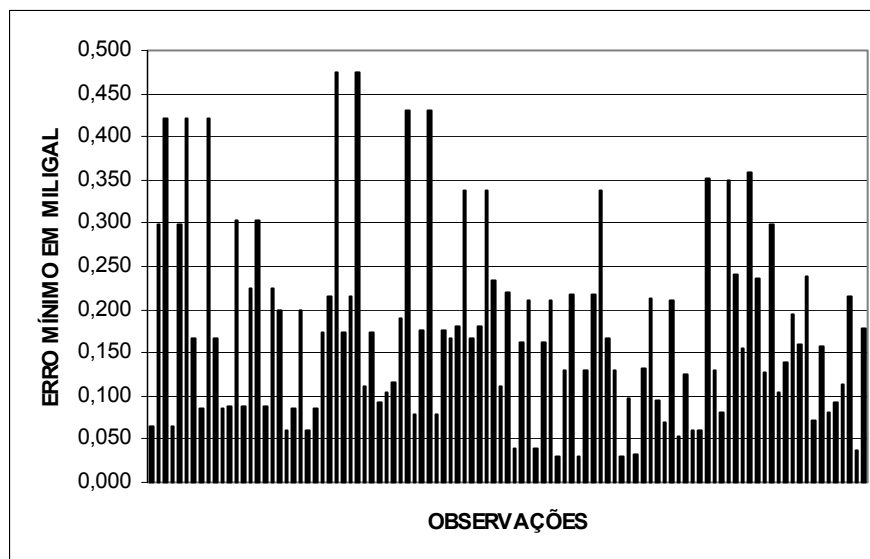


FIGURA 3 – ESTIMATIVA DO ERRO MÍNIMO QUE PODE SER LOCALIZADO COM $\alpha_0 = 0,1\%$, $(1 - \beta_0) = 80\%$ e $\delta_0 = 4,10$ PARA A SOLUÇÃO AJUSTAMENTOTOTAL20



As estimativas do erro mínimo que se pode localizar aplicando o teste *data snooping*, ilustrados pelas figuras 2 e 3, apresentam quase que a mesma situação das soluções AJUSTAMENTOTOTAL1 e AJUSTAMENTOTOTAL10. Deve ser destacado que a estimativa média para o erro mínimo, obtida para as soluções AJUSTAMENTOTOTAL2 e AJUSTAMENTOTOTAL20, é quase que a mesma obtida respectivamente para as soluções AJUSTAMENTOTOTAL1 e AJUSTAMENTOTOTAL10. Para a solução AJUSTAMENTOTOTAL2, tem-se 0,184 mGal como estimativa média para o erro mínimo e para a solução AJUSTAMENTOTOTAL20, tem-se 0,176 mGal.

Para as soluções AJUSTAMENTOTOTAL2 e AJUSTAMENTOTOTAL20, também se aplicou o teste *data snooping*, na tentativa de localizar outras observações afetadas por erros grosseiros. Na análise da solução AJUSTAMENTOTOTAL2, apenas a observação referente à linha 16, levantada com o gravímetro G372, foi localizada com erro grosseiro através do teste *data snooping*. Considerando a solução AJUSTAMENTOTOTAL20, o teste *data snooping* localizou três observações afetadas por erros grosseiros. Duas destas, pertencem à linha 14b e foram levantadas utilizando os gravímetros G114 e G372. A terceira, pertence à linha 22a e foi levantada com o gravímetro G114. Para a observação pertencente à solução AJUSTAMENTOTOTAL2, a qual foi localizada com a presença de erro grosseiro, apresenta 0,064 mGal como estimativa para o erro mínimo que pode ser

localizado aplicando o teste *data snooping*. As três observações, pertencentes à solução AJUSTAMENTOTOTAL20, localizadas com a presença de erro grosseiro, descritas neste parágrafo, apresentam respectivamente 0,029, 0,032 e 0,081 mGal como estimativa para o erro mínimo que pode ser localizada com a aplicação do teste *data snooping*.

Mesmo sabendo que as soluções AJUSTAMENTOTOTAL2 e AJUSTAMENTOTOTAL20 contêm observações afetadas com a presença de erros grosseiros, calcularam-se as estimativas de possíveis erros grosseiros não localizados e presentes nas respectivas observações. A influência destas estimativas sobre os parâmetros ajustados também foi calculada.

FIGURA 4 – ESTIMATIVA DO ERRO GROSSEIRO PRESENTE EM CADA OBSERVAÇÃO REFERENTE À SOLUÇÃO AJUSTAMENTOTOTAL2

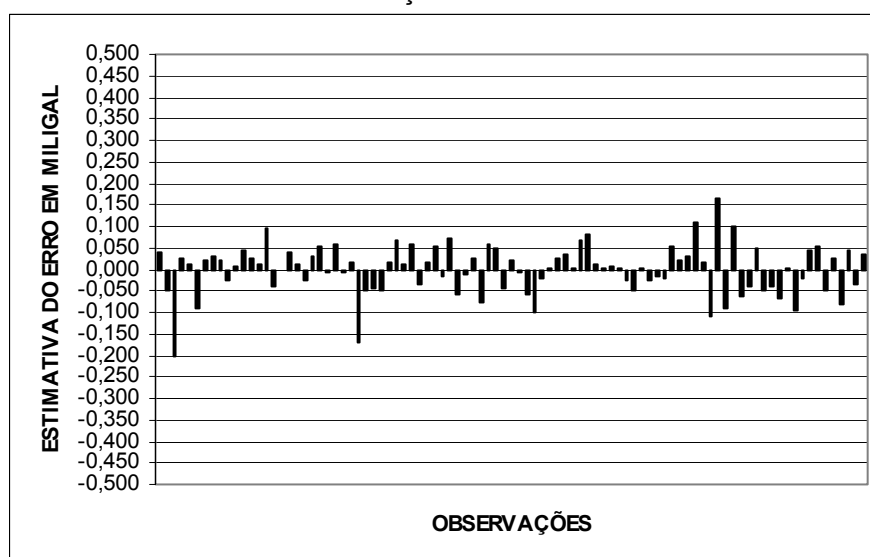
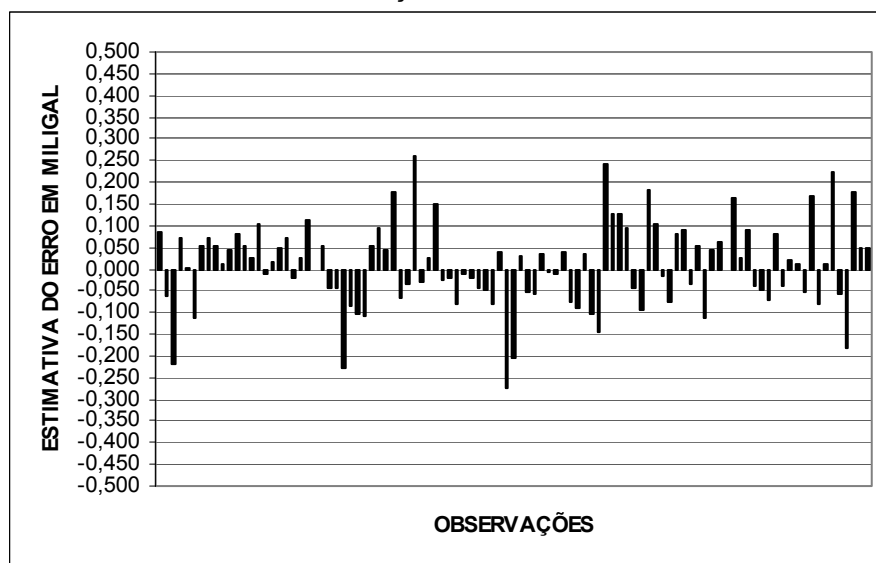


FIGURA 5 – ESTIMATIVA DO ERRO GROSSEIRO PRESENTE EM CADA OBSERVAÇÃO REFERENTE À SOLUÇÃO AJUSTAMENTOTOTAL20



Da análise dos valores ilustrados pelas figuras 4 e 5, tem-se que em média, a solução AJUSTAMENTOTOTAL2 apresenta uma melhor situação quando comparada com a solução AJUSTAMENTOTOTAL20, pois as estimativas ilustradas pela figura 4, em valor absoluto, são menores que as ilustradas pela figura 5. Isto com certeza reflete na influência que as mesmas causam sobre os parâmetros estimados, apontando para uma situação menos favorável para a solução AJUSTAMENTOTOTAL20.

QUADRO 4 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTOTOTAL2

Parâmetros	Gravidade (mGal)	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	978777,545	0,011	0,006
Bituruna	978779,477	0,015	0,003
Civelândia	978785,941	0,020	0,000
Francisco Beltrão	978807,873	0,022	-0,004
Toledo	978798,262	0,024	-0,016
Laranjeiras do sul	978704,747	0,023	-0,010
Guarapuava	978679,226	0,008	-0,003
Ponta Grossa	978718,591	0,005	-0,002
Jaguariaíva	978652,220	0,022	0,037
Joaquim Távora	978670,217	0,022	0,004
Ortigueira	978678,761	0,022	-0,020
Londrina	978636,827	0,022	0,003
Maringá	978666,823	0,022	-0,037
Iretama	978715,291	0,023	0,003
Paranavaí	978677,847	0,026	-0,065
Goio-erê	978744,587	0,027	-0,002
Guaíra	978800,473	0,027	-0,037

QUADRO 5 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTOTOTAL2O

Parâmetros	Gravidade (mGal)	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	978777,552	0,025	0,017
Bituruna	978779,453	0,032	0,012
Civelândia	978785,905	0,044	0,013
Francisco Beltrão	978807,826	0,046	0,009
Toledo	978798,165	0,048	-0,003
Laranjeiras do sul	978704,668	0,048	0,002
Guarapuava	978679,094	0,018	-0,008
Ponta Grossa	978718,524	0,011	-0,003
Jaguariaíva	978652,171	0,004	0,047
Joaquim Távora	978670,235	0,016	0,101
Ortigueira	978678,850	0,027	0,171
Londrina	978636,831	0,027	0,080
Maringá	978666,804	0,030	0,074
Iretama	978715,176	0,050	-0,005
Paranavaí	978677,825	0,044	0,048
Goio-erê	978744,479	0,053	0,039
Guaíra	978800,351	0,054	-0,037

De acordo com os resultados apresentados nos quadros 4 e 5, a tendência em se obter melhores resultados quando se utiliza a estratégia b, apresentada na subseção 3.4 e que utiliza a tabela de calibração corrigida, persiste. Mesmo sabendo que a solução AJUSTAMENTOTOTAL2 pode ser melhorada, pois foi localizada na

mesma uma observação afetada por erro grosseiro. Esta solução já apresenta nível precisão quase que compatível com a solução de referência até então, AGLOBAL3, quando considerado o critério de precisão.

De acordo com os resultados apresentados nos quadros 4 e 5 a solução AJUSTAMENTOTOTAL2 apresenta precisão média de 20 μ Gal e 15 μ Gal de influência média dos erros não localizados sobre os parâmetros. Esta situação mostra que eliminando a observação localizada com erro grosseiro desta solução e reajustando a rede, provavelmente será possível obter uma situação ainda melhor, tanto em precisão como em confiabilidade.

A solução AJUSTAMENTOTOTAL2O apresenta precisão média de 34 μ Gal e 39 μ Gal de influência média dos erros não localizados sobre os parâmetros. Apesar da solução AJUSTAMENTOTOTAL2O apresentar situação menos favorável em precisão e confiabilidade, quando comparada com a solução AJUSTAMENTOTOTAL2, podem ainda ser eliminadas as observações localizadas com erro grosseiro.

As observações localizadas com erro grosseiro nas soluções AJUSTAMENTOTOTAL2 e AJUSTAMENTOTOTAL2O, foram eliminadas do rol de observações e a rede foi reajustada. Outras duas soluções foram obtidas, a solução AJUSTAMENTOTOTAL3 e a solução AJUSTAMENTOTOTAL3O.

Para essas duas novas soluções, também se aplicaram os mesmos critérios para análise utilizados até então e os resultados são apresentados na seqüência.

QUADRO 6 – TESTE DE IGUALDADE DE VALORES PRÓPRIOS

DADOS	AJUSTAMENTOTOTAL3	AJUSTAMENTOTOTAL3O
r	75	81
b	17	17
α	5%	5%
Estatística Calculada	1836,37	1585,71
$\chi^2_{152;0,95}$	181,77	181,77

QUADRO 7 – APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PRECISÃO

Cr�terios	AJUSTAMENTOTOTAL3	AJUSTAMENTOTOTAL30
$\det(\Sigma_{xa})$	$5,8 \cdot 10^{-69}$	$4,3 \cdot 10^{-60}$
$\text{tr}(\Sigma_{xa})$	0,00695	0,01732
$\lambda_{\text{m�x}}$	0,00270	0,00680
$\frac{\lambda_{\text{m�x}}}{\lambda_{\text{m�n}}}$	5638,07	549,82

A situa o, quanto   caracter stica global de homogeneidade e isotropismo, n o se alterou. Os resultados apresentados no quadro 6 mostram que as solu es AJUSTAMENTOTOTAL3 e AJUSTAMENTOTOTAL30 n o apresentam caracter sticas global de homogeneidade e isotropismo.

Os resultados apresentados no quadro 7 mostram que ap s a elimina o das observa es localizadas com erro grosseiro do rol de observa es (an lise das solu es AJUSTAMENTOTOTAL2 e AJUSTAMENTOTOTAL20), a tend ncia de se obter melhoras nos resultados posteriores continua. Percebe-se uma melhora em precis o a favor das solu es AJUSTAMENTOTOTAL3 e AJUSTAMENTOTOTAL30 quando comparadas, respectivamente, com as solu es AJUSTAMENTOTOTAL2 e AJUSTAMENTOTOTAL20. Os resultados apresentados no quadro 4.83 confirmam a tend ncia de que se tem uma situa o melhor em precis o quando se utiliza a estrat gia b, descrita na subse o 3.4 (utiliza o da tabela de calibra o corrigida).

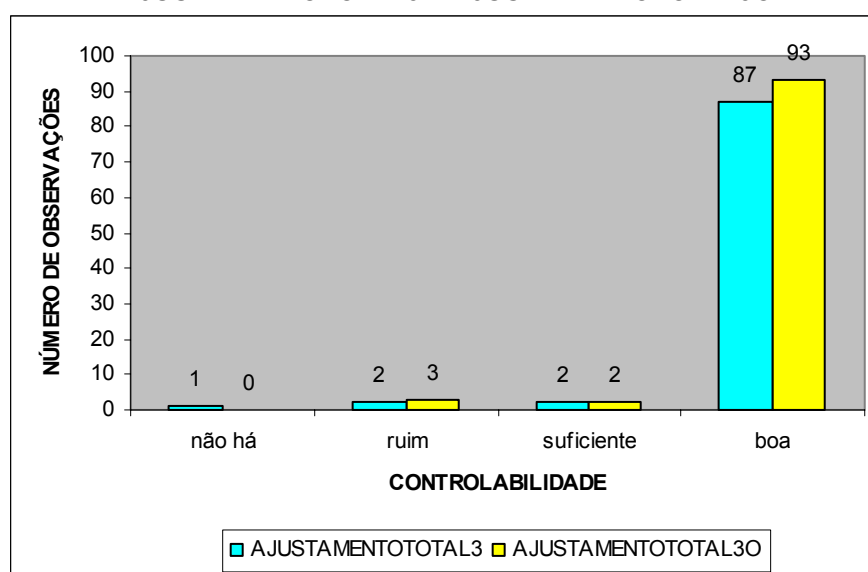
QUADRO 8 – RESULTADOS DO TESTE GLOBAL

Ajustamento	σ_0^2	$\hat{\sigma}_0^2$	χ^{*2}	Intervalo de n�o rejei�o	Hip�tese nula
AJUSTAMENTOTOTAL3	1	1,94	145,84	$52,94 \leq \chi^{*2} \leq 100,84$	Rejeitada
AJUSTAMENTOTOTAL30	1	6,78	549,25	$58,00 \leq \chi^{*2} \leq 107,78$	Rejeitada

Nos resultados apresentados no quadro 8, apesar da hip tese nula ter sido rejeitada na aplica o do teste global em ambas as solu es, percebe-se claramente uma tend ncia na melhora da qualidade das solu es   medida que observa es localizadas com erro grosseiro v o sendo eliminadas do rol de observa es. Com essa estrat gia de refinamento das solu es, eliminando as observa es localizadas

com erro grosseiro do rol de observações e reajustando a rede, a *a posteriori* continua tendendo para o valor da variância da unidade de peso *a priori*, mostrando que a confiabilidade nas soluções tem tendência de progressiva melhora. De qualquer forma, a rejeição da hipótese nula na aplicação do teste global para as soluções AJUSTAMENTOTOTAL3 e AJUSTAMENTOTOTAL30, indica detecção de observações afetadas por erros grosseiros. A figura 6, ilustra a atual situação de controlabilidade das observações quanto à localização de erros grosseiros.

FIGURA 6 – CONTROLABILIDADE DAS OBSERVAÇÕES REFERENTE ÀS SOLUÇÕES AJUSTAMENTOTOTAL3 E AJUSTAMENTOTOTAL30



Observando a figura 6, verifica-se que a ótima situação de controlabilidade de observações quanto à localização de erros grosseiros continua. A grande maioria das observações continua sendo classificada como boa. Portanto, continua sendo grande a probabilidade de se localizar observações afetadas por erro grosseiro utilizando o teste *data snooping*. Nas figuras 7 e 8, tem-se a ilustração das magnitudes das estimativas do erro mínimo que se pode localizar aplicando o teste *data snooping*.

FIGURA 7 – ESTIMATIVA DO ERRO MÍNIMO QUE PODE SER LOCALIZADO COM $\alpha_0 = 0,1\%$, $(1-\beta_0) = 80\%$ e $\delta_0 = 4,10$ PARA A SOLUÇÃO AJUSTAMENTOTOTAL3

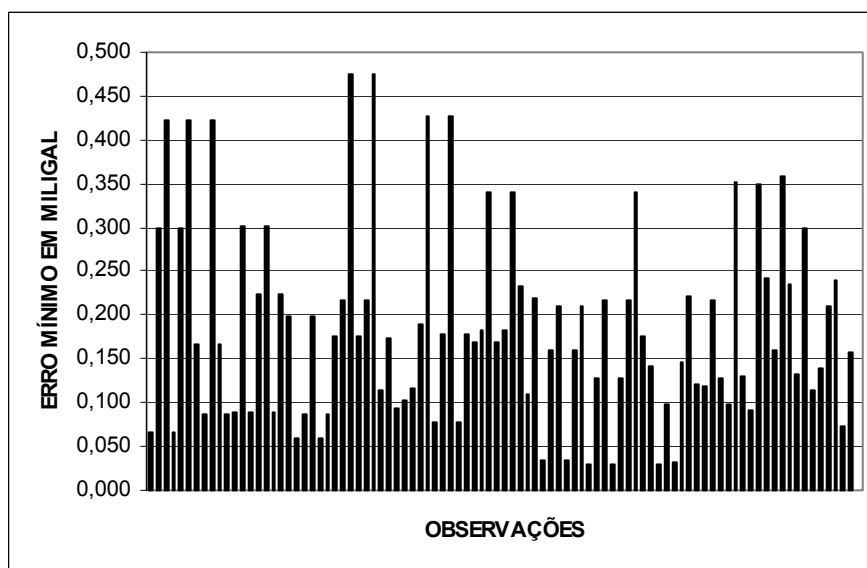
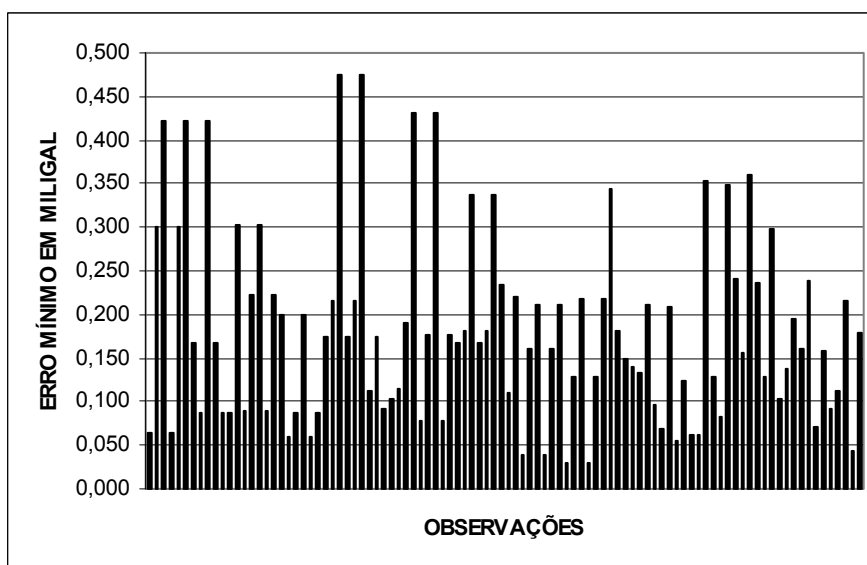


FIGURA 8 – ESTIMATIVA DO ERRO MÍNIMO QUE PODE SER LOCALIZADO COM $\alpha_0 = 0,1\%$, $(1-\beta_0) = 80\%$ e $\delta_0 = 4,10$ PARA A SOLUÇÃO AJUSTAMENTOTOTAL30



No geral, não houve alterações significativas nas estimativas do erro mínimo que se pode localizar aplicando o teste *data snooping*. A situação não se alterou em relação às soluções analisadas anteriormente. A solução AJUSTAMENTOTOTAL3 apresenta 0,185 mGal como estimativa média para o erro mínimo que se pode localizar com a aplicação do teste *data snooping* e para a solução AJUSTAMENTOTOTAL30, tem-se 0,181 mGal.

Aplicou-se o teste *data snooping* nas soluções AJUSTAMENTOTOTAL3 e AJUSTAMENTOTOTAL30. Nesta solução, foi localizada a observação referente à linha 11, a qual foi levantada com o gravímetro G143 e na solução AJUSTAMENTOTOTAL3, foi localizada a observação referente à linha 16, também levantada com o gravímetro G143. A observação referente à linha 11 apresenta 0,110 mGal como estimativa do erro mínimo que se pode localizar aplicando o teste *data snooping* e para a observação referente à linha 16, estimou-se 0,096 mGal para o erro mínimo que pode ser localizado com a aplicação do teste *data snooping*.

Novamente, mesmo sabendo-se da existência de observações afetadas por erro grosseiro nas soluções AJUSTAMENTOTOTAL3 e AJUSTAMENTOTOTAL30, as estimativas de possíveis erros grosseiros não localizados e presentes nas respectivas observações foram calculadas, bem como a influência destas estimativas sobre os parâmetros ajustados.

FIGURA 9 – ESTIMATIVA DO ERRO GROSSEIRO PRESENTE EM CADA OBSERVAÇÃO REFERENTE À SOLUÇÃO AJUSTAMENTOTOTAL3

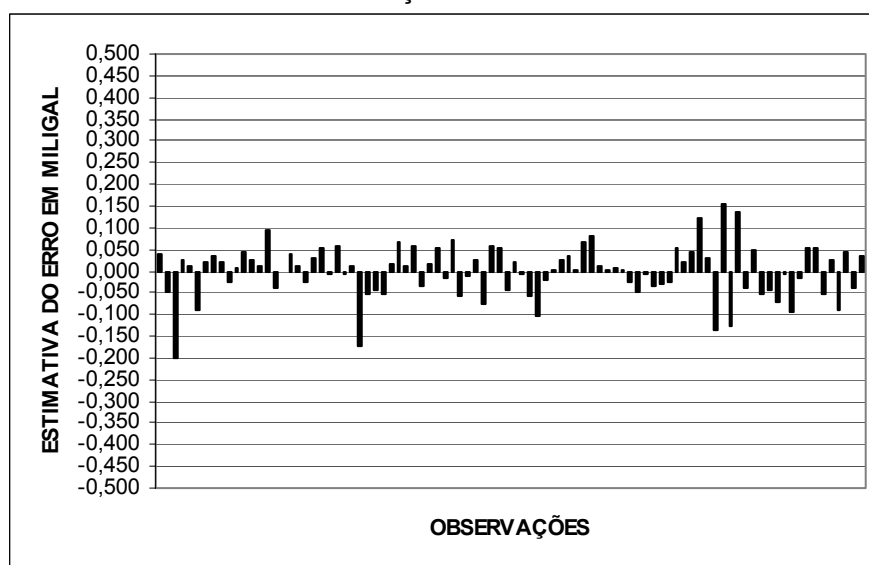
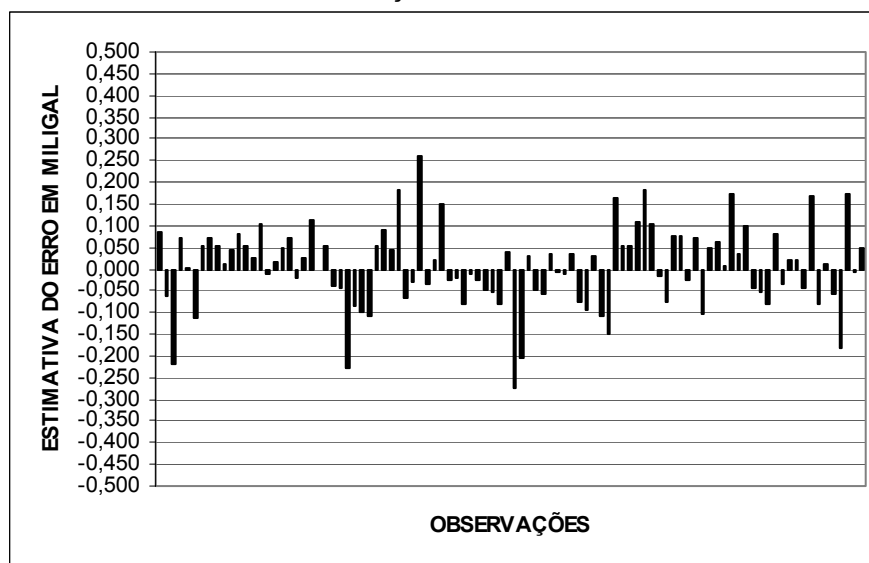


FIGURA 10 – ESTIMATIVA DO ERRO GROSSEIRO PRESENTE EM CADA OBSERVAÇÃO REFERENTE À SOLUÇÃO AJUSTAMENTOTOTAL30



Os resultados, ilustrados pelas figuras 9 e 10, revelam a tendência das soluções em que se utilizou a estratégia b descrita na subseção 3.4 (tabela de calibração corrigida) em apresentarem uma melhor situação. As estimativas referentes à solução AJUSTAMENTOTOTAL3, ilustradas pela figura 9, em valor absoluto, são menores que as ilustradas pela figura 10. Este fato sinaliza para uma melhor situação, na análise da confiabilidade externa, em favor da solução AJUSTAMENTOTOTAL3.

QUADRO 9 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO TOTAL 3

Parâmetros	Gravidade (mGal)	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	978777,545	0,011	0,006
Bituruna	978779,476	0,014	0,003
Civelândia	978785,941	0,019	-0,001
Francisco Beltrão	978807,873	0,021	-0,006
Toledo	978798,261	0,023	-0,020
Laranjeiras do sul	978704,746	0,022	-0,014
Guarapuava	978679,226	0,008	-0,004
Ponta Grossa	978718,591	0,005	-0,002
Jaguariaíva	978652,229	0,021	0,064
Joaquim Távora	978670,233	0,022	0,037
Ortigueira	978678,752	0,021	-0,046
Londrina	978636,818	0,021	-0,023
Maringá	978666,814	0,021	-0,067
Iretama	978715,288	0,022	-0,004
Paranavaí	978677,838	0,025	-0,094
Goio-erê	978744,586	0,026	-0,008
Guaíra	978800,472	0,026	-0,042

QUADRO 10 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO TOTAL 30

Parâmetros	Gravidade (mGal)	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	978777,552	0,020	0,016
Bituruna	978779,453	0,027	0,009
Civelândia	978785,906	0,036	0,008
Francisco Beltrão	978807,827	0,038	0,004
Toledo	978798,167	0,039	-0,013
Laranjeiras do sul	978704,670	0,039	-0,007
Guarapuava	978679,093	0,015	-0,014
Ponta Grossa	978718,522	0,009	-0,008
Jaguariaíva	978652,172	0,004	-0,009
Joaquim Távora	978670,240	0,014	0,043
Ortigueira	978678,768	0,045	0,033
Londrina	978636,844	0,022	0,035
Maringá	978666,816	0,025	0,039
Iretama	978715,179	0,041	-0,023
Paranavaí	978677,835	0,036	0,019
Goio-erê	978744,482	0,044	0,025
Guaíra	978800,354	0,044	-0,049

Os resultados apresentados nos quadros 9 e 10 são animadores. A expectativa de que os resultados, tanto em precisão como em confiabilidade, continuassem a melhorar vem se concretizando. Mas percebe-se que a melhora foi muito pequena. Mas, verifica-se que em mais um reajustamento da rede houve

melhora. Essa melhora pode ser ainda maior, pois como visto anteriormente, na análise das soluções descritas nos quadros 9 e 10, uma observação em cada uma destas soluções foi localizada com a presença de erro grosseiro. Portanto, persistindo essa tendência, espera-se que as situações apresentadas nos quadros 9 e 10 possam ser melhoradas.

De qualquer forma, a solução AJUSTAMENTOTOTAL3 apresenta uma precisão média de 19 μ Gal e influência média sobre os parâmetros dos erros não localizados igual a 26 μ Gal. A solução AJUSTAMENTOTOTAL3O apresenta precisão média de 29 μ Gal e 21 μ Gal de influência média sobre os parâmetros dos erros não localizados.

Seguindo a mesma linha de raciocínio, as observações localizadas com a presença de erros grosseiros na aplicação do teste *data snooping*, foram eliminadas do rol de observações. A rede foi novamente reajustada. Os resultados das análises das novas soluções, AJUSTAMENTOTOTAL4 e AJUSTAMENTOTOTAL4O, são apresentadas na seqüência.

QUADRO 11 – TESTE DE IGUALDADE DE VALORES PRÓPRIOS

DADOS	AJUSTAMENTOTOTAL4	AJUSTAMENTOTOTAL4O
r	74	80
b	17	17
α	5%	5%
Estatística Calculada	1821,00	1575,48
$\chi^2_{152;0,95}$	181,77	181,77

QUADRO 12 – APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PRECISÃO

Critérios	AJUSTAMENTOTOTAL4	AJUSTAMENTOTOTAL4O
$\det(\Sigma_{xa})$	$4,7 \cdot 10^{-70}$	$1,9 \cdot 10^{-61}$
$\text{tr}(\Sigma_{xa})$	0,00604	0,01449
$\lambda_{\text{máx}}$	0,00219	0,00566
$\frac{\lambda_{\text{máx}}}{\lambda_{\text{mín}}}$	5774,69	557,84

Pelos resultados apresentados no quadro 11, verifica-se que a situação quanto à característica global de homogeneidade e isotropismo, não se alterou.

Os resultados apresentados no quadro 12 mostram que após a eliminação da observação localizada com erro grosseiro, do rol de observações (análise das

soluções AJUSTAMENTOTOTAL3 e AJUSTAMENTOTOTAL3O), a tendência de se obter melhor precisão continua, porém, percebe-se que a precisão começa a se estabilizar. A diferença em precisão, obtida quando se compara respectivamente à solução AJUSTAMENTOTOTAL4 e a solução AJUSTAMENTOTOTAL4O com as soluções AJUSTAMENTOTOTAL3 e AJUSTAMENTOTOTAL3O, é pequena. Portanto, a tendência em se ter uma situação melhor em precisão quando se utiliza a estratégia b, descrita na subseção 3.4 (utilização da tabela de calibração corrigida), continua.

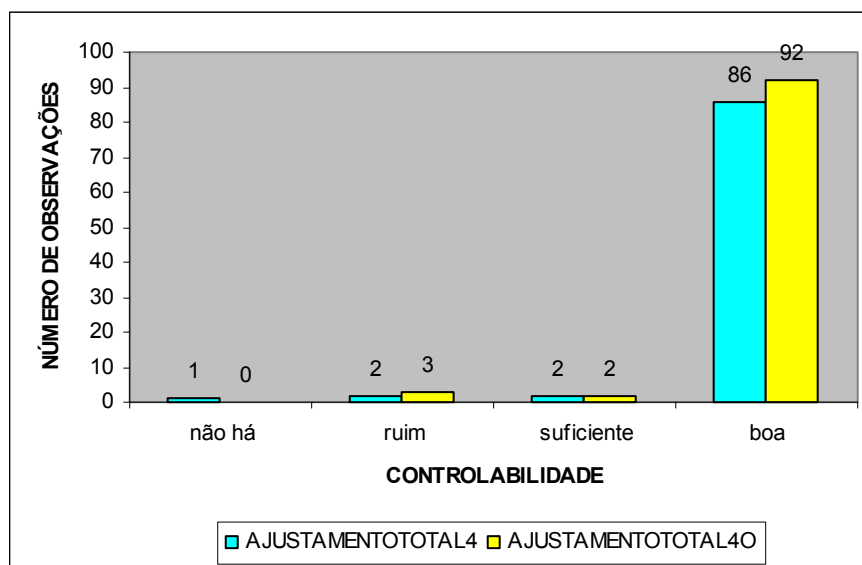
QUADRO 13 – RESULTADOS DO TESTE GLOBAL

Ajustamento	σ_0^2	$\hat{\sigma}_0^2$	χ^{*2}	Intervalo de não rejeição	Hipótese nula
AJUSTAMENTOTOTAL4	1	1,54	113,84	$52,10 \leq \chi^{*2} \leq 99,68$	Rejeitada
AJUSTAMENTOTOTAL4O	1	5,56	444,97	$57,15 \leq \chi^{*2} \leq 106,63$	Rejeitada

Analisando os resultados apresentados no quadro 13, a qualidade das soluções está realmente melhorando, à medida que observações localizadas com erro grosseiro vão sendo eliminadas do rol de observações. Para ambas as soluções, o valor da variância da unidade de peso *a posteriori* continua tendendo para o valor da variância da unidade de peso *a priori*, o que é indicativo que as soluções continuam melhorando. Por outro lado, a hipótese nula continua sendo rejeitada, indicando que o teste global continua detectando observações afetadas por erro grosseiro.

A figura 11, ilustra a situação de controlabilidade das observações quanto à localização de erros grosseiros para as soluções AJUSTAMENTOTOTAL4 e AJUSTAMENTOTOTAL4O.

FIGURA 11 – CONTROLABILIDADE DAS OBSERVAÇÕES REFERENTE ÀS SOLUÇÕES AJUSTAMENTOTOTAL4 E AJUSTAMENTOTOTAL40



A grande maioria das observações continua sendo classificada como boa. Isto continua indicando ótima controlabilidade das observações no que diz respeito à localização de observações afetadas por erros grosseiros. Portanto, devido ao resultado obtido da análise do teste global, espera-se localizar possíveis observações afetadas por erro grosseiro com a aplicação do teste *data snooping*. As figuras 12 e 13, ilustram as magnitudes das estimativas do erro mínimo que se pode localizar aplicando o teste *data snooping*.

FIGURA 12 – ESTIMATIVA DO ERRO MÍNIMO QUE PODE SER LOCALIZADO COM $\alpha_0 = 0,1\%$, $(1-\beta_0) = 80\%$ e $\delta_0 = 4,10$ PARA A SOLUÇÃO AJUSTAMENTOTOTAL4

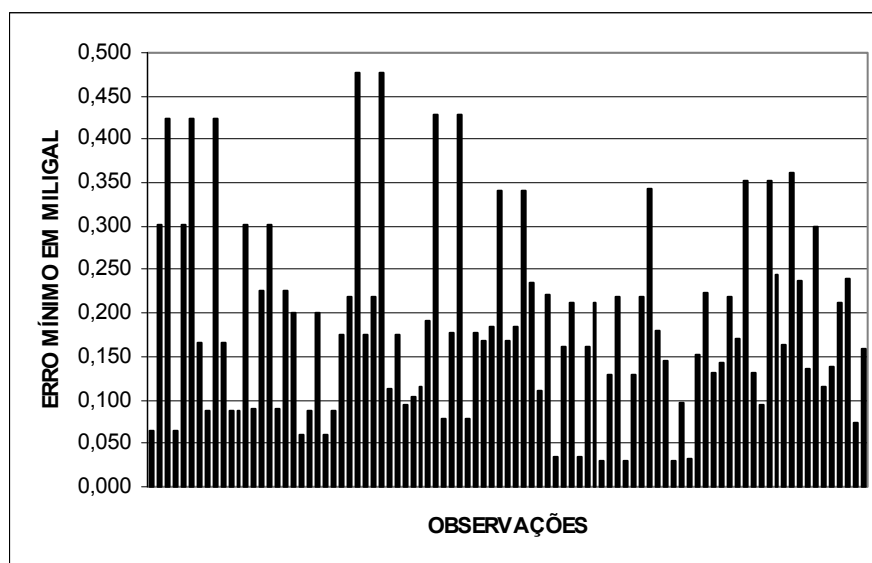
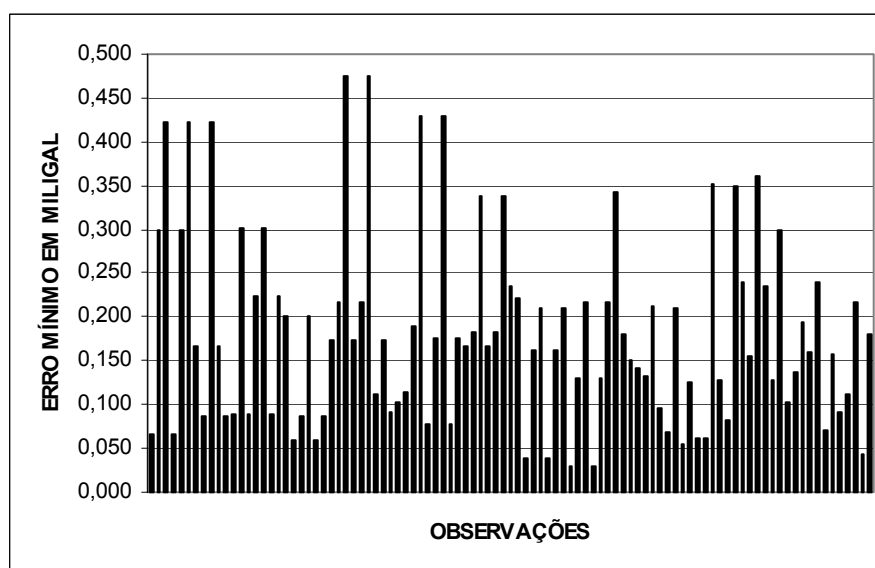


FIGURA 13 – ESTIMATIVA DO ERRO MÍNIMO QUE PODE SER LOCALIZADO COM $\alpha_0 = 0,1\%$, $(1-\beta_0) = 80\%$ e $\delta_0 = 4,10$ PARA A SOLUÇÃO AJUSTAMENTOTOTAL40



A solução AJUSTAMENTOTOTAL4 apresenta 0,188 mGal como estimativa média para o erro mínimo e para a solução AJUSTAMENTOTOTAL40, tem-se 0,182 mGal. Portanto, não houve diferença significativa quando comparadas com as duas soluções anteriores.

Aplicando o teste *data snooping*, na solução AJUSTAMENTOTOTAL4 foi localizada a observação referente à linha 11 a qual foi levantada com o gravímetro G143 e na solução AJUSTAMENTOTOTAL40 foi localizada a observação referente

à linha 07, a qual foi levantada com o gravímetro G114. A observação referente à linha 11 apresenta 0,111 mGal como estimativa do erro mínimo que se pode localizar aplicando o teste *data snooping* e para a observação referente à linha 7, estimou-se 0,103 mGal para o erro mínimo que pode ser localizado com a aplicação do teste *data snooping*.

Para as soluções AJUSTAMENTOTOTAL4 e AJUSTAMENTOTOTAL40, as estimativas de possíveis erros grosseiros não localizados e presentes nas respectivas observações foram calculadas, bem como a influência destas estimativas sobre os parâmetros ajustados.

FIGURA 14 – ESTIMATIVA DO ERRO GROSSEIRO PRESENTE EM CADA OBSERVAÇÃO REFERENTE À SOLUÇÃO AJUSTAMENTOTOTAL4

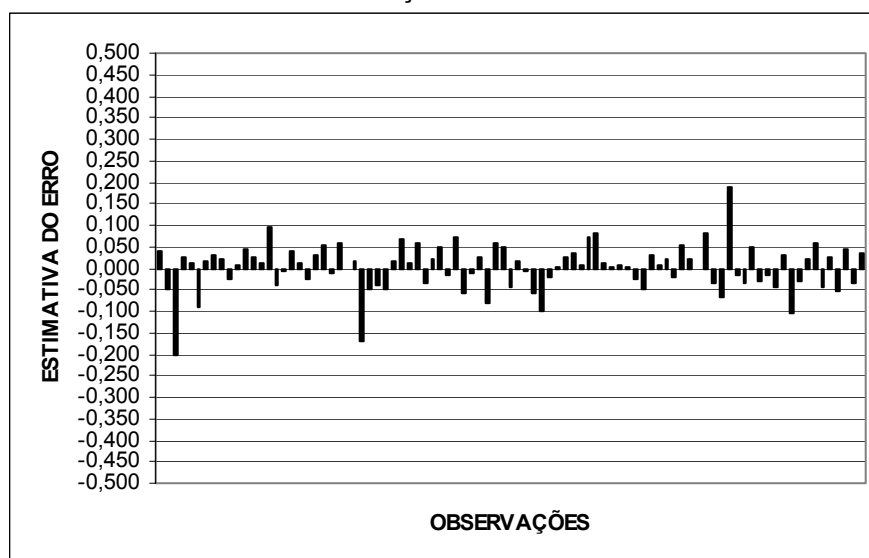
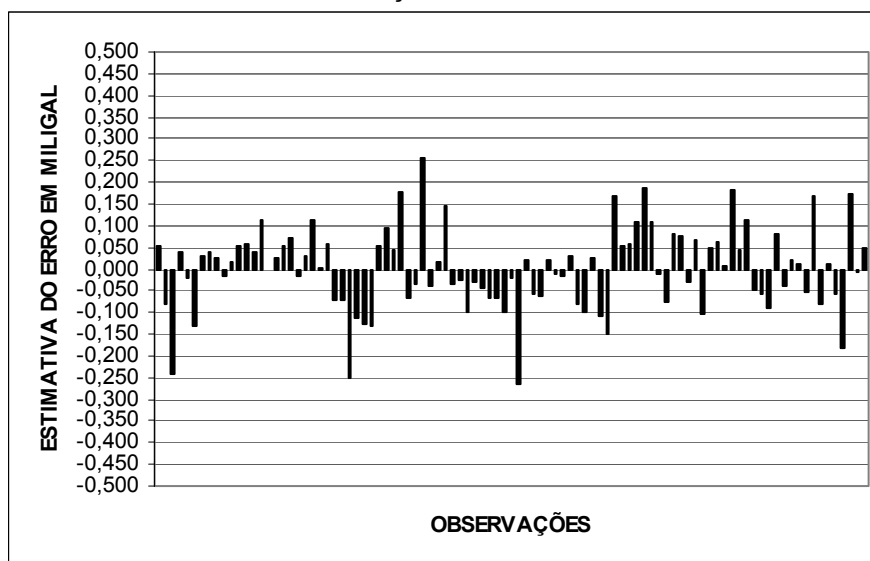


FIGURA 15 – ESTIMATIVA DO ERRO GROSSEIRO PRESENTE EM CADA OBSERVAÇÃO REFERENTE À SOLUÇÃO AJUSTAMENTOTOTAL40



As ilustrações representadas pelas figuras 14 e 15, continuam revelando a tendência das soluções em que se utilizou a estratégia b descrita na subseção 3.4 (tabela de calibração corrigida) em apresentarem uma melhor situação. Portanto, este fato sinaliza para uma situação melhor em favor da solução AJUSTAMENTOTOTAL4, para a análise de confiabilidade externa, quando comparada com a solução AJUSTAMENTOTOTAL40.

QUADRO 14 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTOTOTAL4

Parâmetros	Gravidade (mGal)	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	978777,545	0,010	0,007
Bituruna	978779,477	0,013	0,004
Civelândia	978785,942	0,017	0,002
Francisco Beltrão	978807,874	0,018	-0,003
Toledo	978798,265	0,020	-0,012
Laranjeiras do sul	978704,750	0,019	-0,006
Guarapuava	978679,226	0,007	-0,003
Ponta Grossa	978718,591	0,005	-0,002
Jaguariaíva	978652,192	0,020	0,018
Joaquim Távora	978670,167	0,024	-0,021
Ortigueira	978678,790	0,020	-0,003
Londrina	978636,855	0,020	0,018
Maringá	978666,850	0,021	-0,009
Iretama	978715,299	0,020	0,005
Paranavaí	978677,872	0,024	-0,034
Goio-erê	978744,592	0,023	0,003
Guaíra	978800,478	0,023	-0,030

QUADRO 15 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTOTOTAL40

Parâmetros	Gravidade (mGal)	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	978777,572	0,019	0,013
Bituruna	978779,497	0,026	0,011
Civelândia	978785,943	0,033	0,012
Francisco Beltrão	978807,861	0,035	0,008
Toledo	978798,176	0,036	-0,012
Laranjeiras do sul	978704,675	0,035	-0,004
Guarapuava	978679,083	0,014	-0,011
Ponta Grossa	978718,518	0,009	-0,007
Jaguariaíva	978652,172	0,003	-0,007
Joaquim Távora	978670,240	0,012	0,045
Ortigueira	978678,766	0,040	0,035
Londrina	978636,844	0,020	0,037
Maringá	978666,816	0,023	0,040
Iretama	978715,172	0,037	-0,023
Paranavaí	978677,836	0,033	0,018
Goio-erê	978744,491	0,040	0,027
Guaíra	978800,363	0,040	-0,049

De acordo com os resultados apresentados nos quadros 14 e 15, a tendência de melhora das soluções em precisão e confiabilidade continua. Portanto, persistindo essa tendência, a situação apresentada nos quadros 14 e 15 poderá ser melhorada à medida que eliminarmos a observação localizada com a presença de erro grosseiro.

A solução AJUSTAMENTOTOTAL4 apresenta uma precisão média de 18 μ Gal e influência média sobre os parâmetros igual a 10 μ Gal. Estes resultados mostram que realmente em precisão média, quase que não houve melhora, mas a melhora foi mais significativa na influência média sobre os parâmetros. A solução AJUSTAMENTOTOTAL40 apresenta precisão média de 27 μ Gal e 21 μ Gal de influência média sobre os parâmetros. Neste caso quase que não houve melhora, nem em precisão, nem em confiabilidade.

As observações localizadas com a presença de erros grosseiros na aplicação do teste *data snooping*, uma na solução AJUSTAMENTOTOTAL4 e uma na solução AJUSTAMENTOTOTAL40, foram eliminadas do rol de observações. A rede foi novamente reajustada. Os resultados das análises das novas soluções, AJUSTAMENTOTOTAL5 e AJUSTAMENTOTOTAL50, são apresentadas na seqüência.

QUADRO 16 – TESTE DE IGUALDADE DE VALORES PRÓPRIOS

DADOS	AJUSTAMENTOTOTAL5	AJUSTAMENTOTOTAL50
r	73	79
b	17	17
α	5%	5%
Estatística Calculada	1797,52	1554,77
$\chi^2_{152;0,95}$	181,77	181,77

QUADRO 17 – APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PRECISÃO

Crítérios	AJUSTAMENTOTOTAL5	AJUSTAMENTOTOTAL50
$\det(\Sigma_{xa})$	$7,3 \cdot 10^{-71}$	$3,2 \cdot 10^{-62}$
$\text{tr}(\Sigma_{xa})$	0,00542	0,01318
$\lambda_{\text{máx}}$	0,00194	0,00512
$\frac{\lambda_{\text{máx}}}{\lambda_{\text{mín}}}$	5790,62	561,92

Verifica-se que a situação quanto à característica global de homogeneidade e isotropismo, não se alterou. Pelo o que está acontecendo desde o início da análise dos resultados dessa subseção, parece que esta situação não se alterará. Os resultados apresentados no quadro 17 mostram, mais uma vez, que após eliminar a observação localizada com erro grosseiro do rol de observações, a tendência de se obter melhor precisão continua. Mais uma vez, nota-se que a precisão está tendendo a se estabilizar. A tendência em se tem uma situação melhor em precisão quando se utiliza a estratégia b, descrita na subseção 3.4 (utilização da tabela de calibração corrigida), continua.

QUADRO 18 – RESULTADOS DO TESTE GLOBAL

Ajustamento	σ_0^2	$\hat{\sigma}_0^2$	χ^{*2}	Intervalo de não rejeição	Hipótese nula
AJUSTAMENTOTOTAL5	1	1,36	99,42	$51,26 \leq \chi^{*2} \leq 98,52$	Rejeitada
AJUSTAMENTOTOTAL50	1	4,99	394,45	$56,31 \leq \chi^{*2} \leq 105,47$	Rejeitada

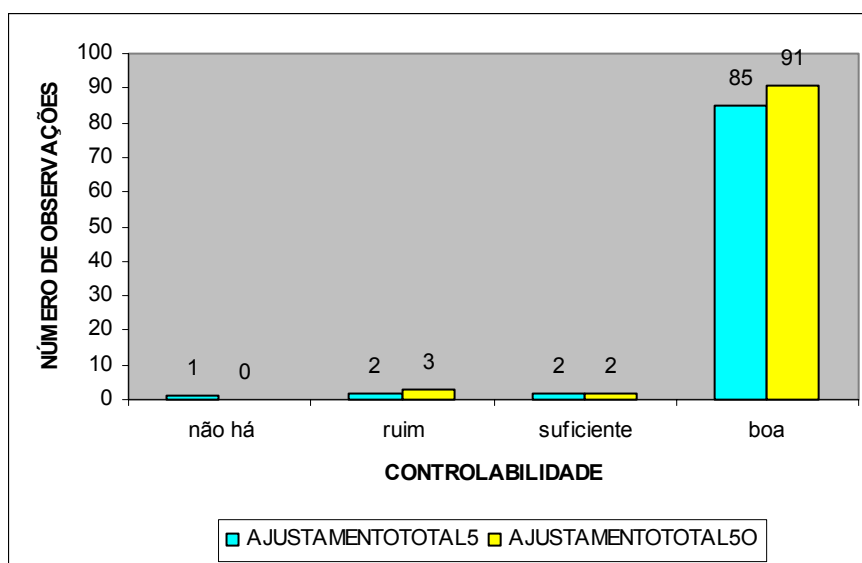
De acordo com os resultados apresentados no quadro 18, a qualidade das soluções continua com tendência a melhora. O valor da variância da unidade de peso *a posteriori* continua tendendo para o valor da variância da unidade de peso *a*

priori, para ambas as soluções, o que continua indicando melhora na qualidade das soluções.

A hipótese nula segue sendo rejeitada, indicando que o teste global continua detectando observações afetadas por erro grosseiro. Mas, percebe-se neste caso que a situação da solução AJUSTAMENTOTOTAL5 apresenta-se em melhor situação, pois localizando a ou as observações afetadas por erro grosseiro, eliminando-as, reajustando a rede, possivelmente se terá uma situação mais próxima do ideal.

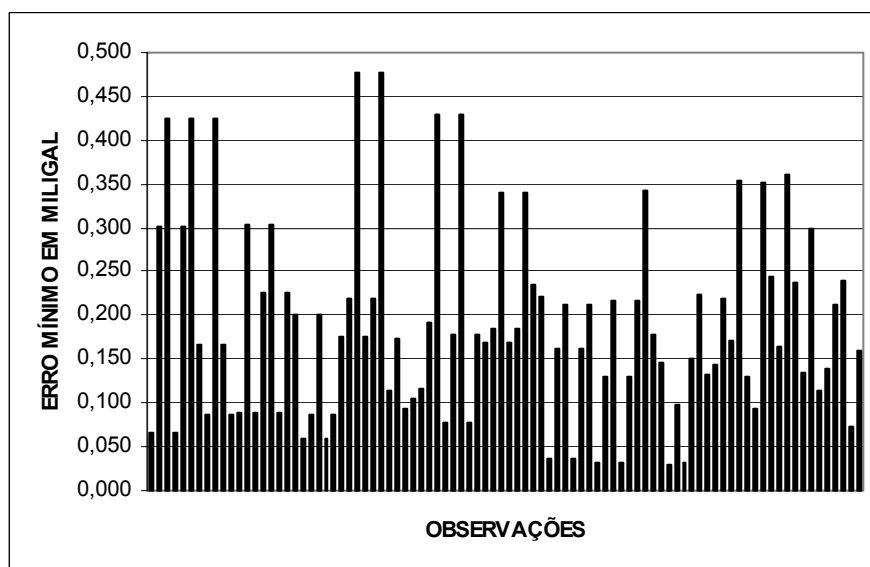
A figura 16 ilustra a situação de controlabilidade das observações quanto à localização de erros grosseiros para as soluções AJUSTAMENTOTOTAL5 e AJUSTAMENTOTOTAL50.

FIGURA 16 – CONTROLABILIDADE DAS OBSERVAÇÕES REFERENTE ÀS SOLUÇÕES AJUSTAMENTOTOTAL5 E AJUSTAMENTOTOTAL50



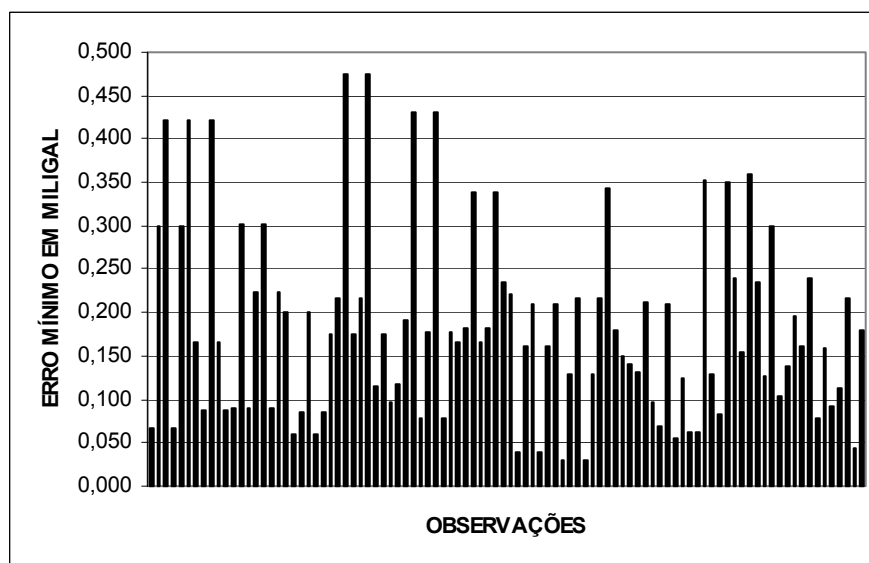
A figura 16 mostra que a controlabilidade das observações quanto à localização de possíveis observações afetadas por erros grosseiros, continua sendo ótima. Portanto, devido ao resultado obtido da análise do teste global, mais uma vez espera-se localizar possíveis observações afetadas por erro grosseiro com a aplicação do teste *data snooping*. As figuras 17 e 18, ilustram as magnitudes das estimativas do erro mínimo que se pode localizar aplicando o teste *data snooping*.

FIGURA 17 – ESTIMATIVA DO ERRO MÍNIMO QUE PODE SER LOCALIZADO COM $\alpha_0 = 0,1\%$,
 $(1-\beta_0) = 80\%$ e $\delta_0 = 4,10$ PARA A SOLUÇÃO



AJUSTAMENTOTOTAL5

FIGURA 18 – ESTIMATIVA DO ERRO MÍNIMO QUE PODE SER LOCALIZADO COM
 $\alpha_0 = 0,1\%$, $(1-\beta_0) = 80\%$ e $\delta_0 = 4,10$ PARA A SOLUÇÃO AJUSTAMENTOTOTAL50



A solução AJUSTAMENTOTOTAL5 apresenta 0,189 mGal como estimativa média para o erro mínimo e para a solução AJUSTAMENTOTOTAL50, tem-se 0,183 mGal. Portanto, não houve diferença significativa quando comparadas com as duas soluções anteriores (AJUSTAMENTOTOTAL4 e AJUSTAMENTOTOTAL40).

Aplicando o teste *data snooping*, na solução AJUSTAMENTOTOTAL5 foi localizada a observação referente à linha 15b a qual foi levantada com o gravímetro

G143 e na solução AJUSTAMENTOTOTAL50 foi localizada a observação referente à linha 16, a qual foi levantada com o gravímetro G372. A observação referente à linha 15b apresenta 0,048 mGal como estimativa do erro mínimo que se pode localizar aplicando o teste *data snooping* e para a observação referente à linha 16, estimou-se 0,062 mGal para o erro mínimo que pode ser localizado com a aplicação do teste *data snooping*.

Para as soluções AJUSTAMENTOTOTAL5 e AJUSTAMENTOTOTAL50, as estimativas de possíveis erros grosseiros não localizados e presentes nas respectivas observações foram calculadas, bem como a influência destas estimativas sobre os parâmetros ajustados.

FIGURA 19 – ESTIMATIVA DO ERRO GROSSEIRO PRESENTE EM CADA OBSERVAÇÃO REFERENTE À SOLUÇÃO AJUSTAMENTOTOTAL5

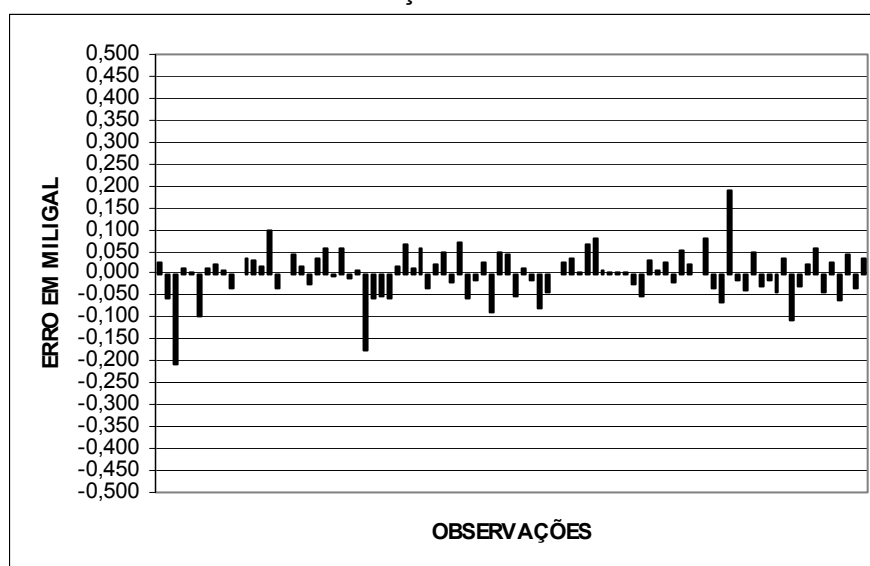
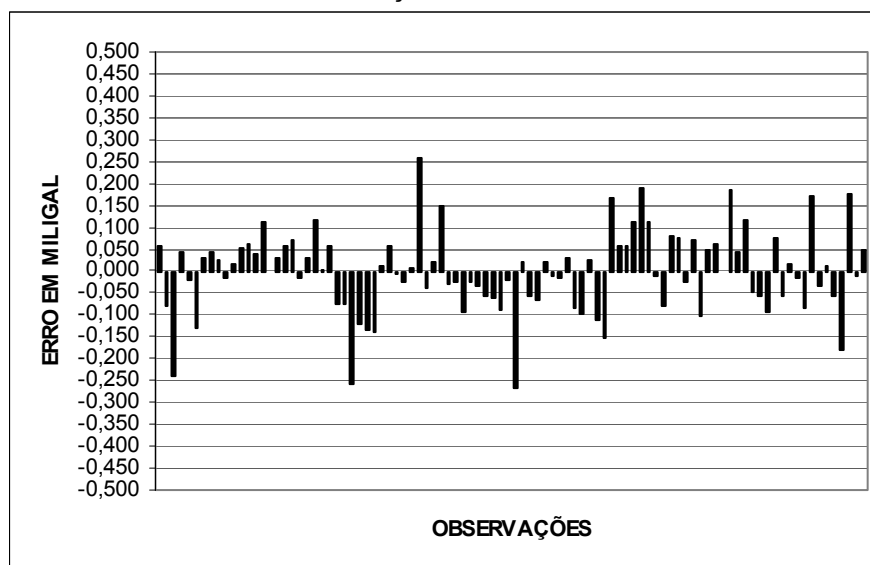


FIGURA 20 – ESTIMATIVA DO ERRO GROSSEIRO PRESENTE EM CADA OBSERVAÇÃO REFERENTE À SOLUÇÃO AJUSTAMENTOTOTAL50



As figuras 19 e 20, continuam revelando a tendência das soluções em que se utilizou a estratégia b descrita na subseção 3.4 (tabela de calibração corrigida) em apresentarem uma melhor situação. Portanto, se espera ter mais uma situação melhor em favor da solução AJUSTAMENTOTOTAL5, para a análise de confiabilidade externa, quando comparada com a solução AJUSTAMENTOTOTAL50.

QUADRO 19 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTOTOTAL5

Parâmetros	Gravidade (mGal)	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	978777,553	0,009	0,006
Bituruna	978779,494	0,013	0,005
Civelândia	978785,956	0,017	0,003
Francisco Beltrão	978807,888	0,018	-0,001
Toledo	978798,270	0,019	-0,011
Laranjeiras do sul	978704,752	0,018	-0,005
Guarapuava	978679,223	0,007	-0,001
Ponta Grossa	978718,590	0,004	-0,001
Jaguariaíva	978652,190	0,019	0,019
Joaquim Távora	978670,166	0,023	-0,021
Ortigueira	978678,788	0,019	-0,002
Londrina	978636,854	0,019	0,018
Maringá	978666,849	0,019	-0,008
Iretama	978715,297	0,019	0,005
Paranavaí	978677,871	0,022	-0,034
Goio-erê	978744,596	0,022	0,004
Guaíra	978800,482	0,022	-0,029

QUADRO 20 – INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS (∇_i) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTOTOTAL50

Parâmetros	Gravidade (mGal)	Precisão dos parâmetros (mGal)	Influência de ∇_i sobre os parâmetros (mGal)
São Mateus do Sul	978777,572	0,018	0,013
Bituruna	978779,496	0,025	0,011
Civelândia	978785,939	0,032	0,012
Francisco Beltrão	978807,857	0,033	0,008
Toledo	978798,167	0,034	-0,013
Laranjeiras do sul	978704,668	0,033	-0,006
Guarapuava	978679,082	0,013	-0,012
Ponta Grossa	978718,518	0,008	-0,007
Jaguariaíva	978652,172	0,003	-0,009
Joaquim Távora	978670,240	0,012	0,040
Ortigueira	978678,767	0,038	0,034
Londrina	978636,846	0,019	0,033
Maringá	978666,819	0,022	0,027
Iretama	978715,172	0,035	-0,028
Paranavaí	978677,844	0,031	-0,005
Goio-erê	978744,519	0,039	0,005
Guaíra	978800,389	0,039	-0,028

Os resultados apresentados nos quadros 19 e 20, continuam indicando a tendência de melhora das soluções em que se utilizou a estratégia b descrita na subseção 3.4 (utilização da tabela de calibração corrigida), tanto em precisão quanto em confiabilidade.

A solução AJUSTAMENTOTOTAL5 apresenta uma precisão média de 17 μ Gal e influência média sobre os parâmetros igual a 10 μ Gal. Percebe-se, que tanto a precisão quanto a confiabilidade atingiram seu limite, pois a variação que ocorreu foi mínima. A solução AJUSTAMENTOTOTAL50 apresenta precisão média de 26 μ Gal e 17 μ Gal de influência média sobre os parâmetros. Neste caso houve melhoria apenas na confiabilidade, permanecendo a precisão quase que inalterada.

Pelos resultados apresentados até então, parece que foi atingido um limite, tanto em precisão, quanto em confiabilidade. Mas o teste global detectou observação afetada por erro grosseiro em ambas as soluções e o teste *data snooping* as localizou. Portanto, se efetuou um novo reajustamento da rede, eliminado do rol de observações as que foram localizadas pela aplicação do teste *data snooping*. Os resultados das análises das duas novas soluções, AJUSTAMENTOTOTAL6 e AJUSTAMENTOTOTAL60, são apresentadas no corpo do trabalho, ao final da subseção 4.3.