

**GUATAÇARA DOS SANTOS JUNIOR**

**REDE GRAVIMÉTRICA: NOVAS PERSPECTIVAS DE AJUSTAMENTO, ANÁLISE  
DE QUALIDADE E INTEGRAÇÃO DE DADOS GRAVIMÉTRICOS**

**Tese apresentada como requisito parcial  
para obtenção do título de Doutor em  
Ciências Geodésicas, no Programa de  
Pós-Graduação em Ciências Geodésicas  
da Universidade Federal do Paraná.**

**Orientador:**

**Prof. Dr. Sílvio Rogério Correia de  
Freitas**

**Co-Orientadores:**

**Prof. Dr. Camil Gemael**

**Prof. Dr. Pedro Luis Faggion**

**CURITIBA**

**2005**



**Dedica-se este trabalho a  
minha mãe Edina Mara dos Santos,  
esposa Ariane Nalevaiko dos Santos e  
filha Letícia Nalevaiko dos Santos.**

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Dr. Sílvio Rogério Correira de Freitas, Prof. do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, a orientação prestada.

Ao Dr. Camil Gemael, Prof. do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, a co-orientação prestada.

Ao Dr. Pedro Luís Faggion, Prof. do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, a co-orientação prestada.

À Dr<sup>a</sup>.Claúdia Pereira Krueger, Prof<sup>a</sup>. e Coordenadora do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná.

À colega e Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup>. Selma Regina Aranha Ribeiro, da Universidade Federal do Paraná, pela valiosa contribuição a este trabalho.

A todos os professores do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas.

À Verali Mônica Kleuser Reguilin, Secretária do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná.

Aos alunos e Colegas do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, com os quais no período de elaboração da dissertação foram refletidas a aplicabilidade e interdisciplinaridade do tema pesquisado.

Aos Profissionais da Biblioteca de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal do Paraná.

Aos Profissionais do CEFET/PR – PG.

## BIOGRAFIA

Guataçara dos Santos Junior, filho de Guataçara dos Santos e Edina Mara dos Santos, nasceu em 03 de outubro de 1971, no município de Ponta Grossa, PR.

Concluiu o Ensino Fundamental no Colégio São Luiz, em Ponta Grossa, PR, no ano de 1985 e o Ensino Médio neste mesmo estabelecimento de ensino, no ano de 1988.

Em 1990, ingressou no Curso de Licenciatura em Matemática da Universidade Estadual de Ponta Grossa, concluindo-o em dezembro de 1993.

Em 1993 foi professor de Ciências no Colégio Estadual Vespasiano da cidade de Castro, PR e professor de Desenho Geométrico, Ensino Médio, no Instituto de Educação Professor César Prieto Martinez da cidade de Ponta Grossa, PR.

Em 1994 foi professor de Matemática, Ensino Médio, no Colégio Estadual Elzira Correia de Sá da cidade de Ponta Grossa, PR.

Em 1994 e 1995 foi professor colaborador do Departamento de Matemática da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Em 1995 ingressou como professor de Matemática no Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná - CEFET/PR-PG, unidade de Ponta Grossa, hoje, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, campus de Ponta Grossa, onde atualmente é professor de Cálculo Diferencial e Integral, Estatística e Coordenador do Curso Superior de Tecnologia em Alimentos.

Em 1998 obteve o título de Especialista em Matemática pela Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Em dezembro de 2001 obteve o título de Mestre, no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, área de concentração em Geodésia.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE SIGLAS</b> .....	iv
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	iv
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	v
<b>LISTA DE QUADROS</b> .....	v
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b> .....	ix
<b>RESUMO</b> .....	ix
<b>ABSTRACT</b> .....	x
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 HISTÓRICO DAS REDES GRAVIMÉTRICAS.....	1
1.1.1 Redes Mundiais.....	1
1.1.2 Redes Nacionais.....	2
1.2 COOPERAÇÃO E SUPORTE PARA A SUA REALIZAÇÃO.....	4
1.3 OBJETIVOS.....	5
1.3.1 Objetivo Geral.....	5
1.3.2 Objetivos Específicos.....	5
1.4 CONTRIBUIÇÃO E ESTRUTURAÇÃO DA PESQUISA.....	6
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	9
2.1 NOÇÕES DE PRÉ-ANÁLISE DE REDES GEODÉSICAS.....	9
2.2 AJUSTAMENTO DE OBSERVAÇÕES PELO MÉTODO DOS MÍNIMOS QUADRADOS NA FORMA PARAMÉTRICA.....	11
2.3 CRITÉRIOS PARA ANÁLISE DE QUALIDADE DE REDES GEODÉSICAS.....	13
2.3.1 Critérios de Precisão para Redes Geodésicas.....	13
2.3.1.1 Teste para igualdade de valores próprios.....	15
2.3.2 Critério de Confiabilidade para Redes Geodésicas.....	17
2.3.2.1 Teste global.....	17
2.3.2.2 Redundância Parcial.....	18
2.3.2.3 Medida de confiabilidade interna.....	19
2.3.2.4 Medida de confiabilidade externa.....	21
2.3.2.5 Teste data snooping.....	23
2.4 MATRIZ INVERSA GENERALIZADA.....	24
2.5 CONCEITOS BÁSICOS SOBRE REDES NEURAIS.....	25
2.5.1 Neurônio Biológico.....	26
2.5.2 Rede Neural Artificial.....	27
2.5.3 Modelo de um Neurônio Artificial.....	28
2.5.4 Rede Neural de Funções de Base Radial.....	29
<b>3 REDE GRAVIMÉTRICA CIENTÍFICA DO ESTADO DO PARANÁ</b> .....	31
3.1 PROJETO DA REDE GRAVIMÉTRICA.....	31
3.2 CARACTERÍSTICAS DA REDE.....	32
3.3 METODOLOGIA APLICADA NO ESTABELECIMENTO DA REDE.....	35
3.4 CÁLCULO DOS DESNÍVEIS GRAVIMÉTRICOS.....	37
<b>4 ESTRATÉGIAS APLICADAS NO AJUSTAMENTO DA REDE GRAVIMÉTRICA E ANÁLISE DE PRECISÃO E CONFIABILIDADE DAS SOLUÇÕES OBTIDAS</b> .....	39
4.1 AJUSTAMENTO INDIVIDUAL.....	40
4.1.1 Ajustamento da Rede Utilizando a Tabela de Calibração Corrigida.....	41
4.1.1.1 Aplicação dos critérios de precisão para redes geodésicas e do teste para igualdade de valores próprios.....	41

4.1.1.2 Aplicação do critério de confiabilidade.....	45
4.1.1.2.1 Aplicação do teste global.....	45
4.1.1.2.2 Análise da confiabilidade interna.....	46
4.1.1.2.3 Análise da confiabilidade externa.....	52
4.1.2 Ajustamento da Rede Utilizando a Tabela de Calibração Original e com Injunção de Estações Absolutas Gravimétricas.....	61
4.1.2.1 Aplicação dos critérios de precisão para redes geodésicas e do teste para igualdade de valores próprios.....	62
4.1.2.2 Aplicação do critério de confiabilidade.....	64
4.1.2.2.1 Aplicação do teste global.....	64
4.1.2.2.2 Análise da confiabilidade interna.....	65
4.1.2.2.3 Análise da confiabilidade externa.....	71
4.2 AJUSTAMENTO UTILIZANDO OBSERVAÇÕES MÉDIAS.....	78
4.2.1 Ajustamento da Rede Utilizando a Tabela de Calibração Corrigida .....	80
4.2.1.1 Aplicação dos critérios de precisão para redes geodésicas e do teste para igualdade de valores próprios.....	80
4.2.1.2 Aplicação do critério de confiabilidade.....	81
4.2.2 Ajustamento da Rede Utilizando a Tabela de Calibração Original.....	86
4.2.2.1 Aplicação dos critérios de precisão para redes geodésicas e do teste para igualdade de valores próprios.....	86
4.2.2.2 Aplicação do critério de confiabilidade.....	87
4.3 AJUSTAMENTO UTILIZANDO OBSERVAÇÕES INDEPENDENTES.....	92
4.4 INFLUÊNCIA EM UMA REDE AJUSTADA COM OBSERVAÇÕES LACOSTE & ROMBERG DA INJUNÇÃO DE OBSERVAÇÕES SCINTREX CLASSIFICADAS POR UMA REDE NEURAL ARTIFICIAL PROBABILÍSTICA .	114
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	124
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	126
<b>DOCUMENTOS CONSULTADOS</b> .....	129
<b>APÊNDICES</b> .....	130

## LISTA DE SIGLAS

LAIG	: Laboratório de Instrumentação Geodésica
UFPR	: Universidade Federal do Paraná
IBGE	: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
CNPq	: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
GPS	: <i>Global Positioning System</i>
IGSN71	: <i>International Gravity Standardization Net 1971</i>
RENEGA	: Rede Nacional de Estações Gravimétricas Absolutas
COMUT	: Serviço de Comutação Bibliográfica
FOWGN	: <i>First Order World Gravity Net</i>
ON	: Observatório Nacional
MVC	: matriz de variância-covariância

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA – 2.1	: REDE HOMOGÊNEA E ISOTRÓPICA.....	15
FIGURA – 2.2	: NEURÔNIO BIOLÓGICO.....	26
FIGURA – 2.3	: MODELO DE UM NEURÔNIO ARTIFICIAL.....	28
FIGURA – 3.1	: DISTRIBUIÇÃO DAS ESTAÇÕES GRAVIMÉTRICAS.....	32
FIGURA – 3.2	: LEITURA EFETUADA NA BASE INFERIOR DO PILAR.....	34
FIGURA – 3.3	: LEITURA EFETUADA NA BASE SUPERIOR DO PILAR.....	35
FIGURA – 3.4	: CIRCUITOS GRAVIMÉTRICOS E METODOLOGIA APLICADA.....	36
FIGURA – 4.1	: CONTROLABILIDADE DAS OBSERVAÇÕES REFERENTE ÀS SOLUÇÕES AJUSTAMENTOTOTAL 1 E AJUSTAMENTOTOTAL10.....	99
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.....	101
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.....	101
FIGURA – 4.4	: ESTIMATIVA DO ERRO GROSSEIRO PRESENTE EM CADA OBSERVAÇÃO REFERENTE À SOLUÇÃO AJUSTAMENTOTOTAL1.....	102
FIGURA – 4.5	: ESTIMATIVA DO ERRO GROSSEIRO PRESENTE EM CADA OBSERVAÇÃO REFERENTE À SOLUÇÃO AJUSTAMENTOTOTAL10.....	103
FIGURA – 4.6	: CONTROLABILIDADE DAS OBSERVAÇÕES REFERENTE ÀS SOLUÇÕES AJUSTAMENTOTOTAL6 E AJUSTAMENTOTOTAL60.....	109
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.....	110
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.....	110
FIGURA – 4.9	: ESTIMATIVA DO ERRO GROSSEIRO PRESENTE EM CADA OBSERVAÇÃO REFERENTE À SOLUÇÃO AJUSTAMENTOTOTAL6.....	112
FIGURA – 4.10	: ESTIMATIVA DO ERRO GROSSEIRO PRESENTE EM CADA OBSERVAÇÃO REFERENTE À SOLUÇÃO AJUSTAMENTOTOTAL60.....	112
FIGURA – 4.11	: CONTROLABILIDADE DAS OBSERVAÇÕES REFERENTE ÀS SOLUÇÕES AJUSTAMENTOTOTAL6 E AJUSTAMENTOINTEGRADO.....	119
FIGURA – 4.12	: ESTIMATIVA DO ERRO MÍNIMO QUE PODE SER LOCALIZADO PARA A SOLUÇÃO AJUSTAMENTOINTEGRADO.....	120



FIGURA – 4.13	: ESTIMATIVA DO ERRO GROSSEIRO PRESENTE EM CADA OBSERVAÇÃO REFERENTE À SOLUÇÃO AJUSTAMENTO INTEGRADO	121
---------------	--	-----

### LISTA DE TABELAS

TABELA – 1.1	: ESTAÇÕES DA RENEGA.....	3
--------------	---------------------------	---

### LISTA DE QUADROS

QUADRO – 2.1	: CONTROLE DE OBSERVAÇÕES POR MEIO DE REDUNDÂNCIAS PARCIAIS.....	19
QUADRO – 2.2	: PARÂMETRO DE NÃO-CENTRALIDADE EM FUNÇÃO DO PODER DE TESTE $(1 - \beta_0)$ E NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA $(\alpha_0)$ .....	20
QUADRO – 3.1	: LINHAS DE DESNÍVEL GRAVIMÉTRICO REFERENTES ÀS ESTAÇÕES IMPLANTADAS NA REDE.....	38
QUADRO – 4.1	: TESTE PARA IGUALDADE DE VALORES PRÓPRIOS.....	42
QUADRO – 4.2	: TESTE PARA IGUALDADE DE VALORES PRÓPRIOS.....	42
QUADRO – 4.3	: TESTE PARA IGUALDADE DE VALORES PRÓPRIOS.....	42
QUADRO – 4.4	: APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PRECISÃO.....	43
QUADRO – 4.5	: APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PRECISÃO.....	43
QUADRO – 4.6	: APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PRECISÃO.....	43
QUADRO – 4.7	: RESULTADOS DO TESTE GLOBAL.....	45
QUADRO – 4.8	: REDUNDÂNCIAS PARCIAIS E CONTROLABILIDADE DAS OBSERVAÇÕES DOS AJUSTAMENTOS G114T, G143T, G372T E SCINTREXT.....	47
QUADRO – 4.9	: REDUNDÂNCIAS PARCIAIS E CONTROLABILIDADE DAS OBSERVAÇÕES DOS AJUSTAMENTOS G114V, G143V, G372V E SCINTREXV.....	47
QUADRO – 4.10	: REDUNDÂNCIAS PARCIAIS E CONTROLABILIDADE DAS OBSERVAÇÕES DOS AJUSTAMENTOS G114VP, G143VP, G372VP E SCINTREXVP.....	48
QUADRO – 4.11	: ESTIMATIVA DO ERRO MÍNIMO QUE PODE SER DETECTADO COM $\alpha_0 = 0,45\%$ , $(1 - \beta_0) = 80\%$ E $\delta_0 = 3,70$ .....	49
QUADRO – 4.12	: ESTIMATIVA DO ERRO MÍNIMO QUE PODE SER DETECTADO COM $\alpha_0 = 0,45\%$ , $(1 - \beta_0) = 80\%$ E $\delta_0 = 3,70$ .....	50
QUADRO – 4.13	: ESTIMATIVA DO ERRO MÍNIMO QUE PODE SER DETECTADO COM $\alpha_0 = 0,45\%$ , $(1 - \beta_0) = 80\%$ E $\delta_0 = 3,70$ .....	51
QUADRO – 4.14	: ESTIMATIVA DO ERRO GROSSEIRO PRESENTE EM CADA OBSERVAÇÃO.....	53
QUADRO – 4.15	: ESTIMATIVA DO ERRO GROSSEIRO PRESENTE EM CADA OBSERVAÇÃO.....	53
QUADRO – 4.16	: ESTIMATIVA DO ERRO GROSSEIRO PRESENTE EM CADA OBSERVAÇÃO.....	54
QUADRO – 4.17	: INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS $(\nabla_i)$ SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G114T.....	54
QUADRO – 4.18	: INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS $(\nabla_i)$ SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G143T.....	55
QUADRO – 4.19	: INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS $(\nabla_i)$ SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G372T.....	55
QUADRO – 4.20	: INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS $(\nabla_i)$ SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO SCINTREXT.....	56

QUADRO – 4.21	: INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS ( $\nabla_i$ ) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G114V.....	57
QUADRO – 4.22	: INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS ( $\nabla_i$ ) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G143V.....	57
QUADRO – 4.23	: INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS ( $\nabla_i$ ) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G372V.....	58
QUADRO – 4.24	: INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS ( $\nabla_i$ ) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO SCINTREXV.....	58
QUADRO – 4.25	: INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS ( $\nabla_i$ ) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G114VP.....	59
QUADRO – 4.26	: INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS ( $\nabla_i$ ) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G143VP.....	59
QUADRO – 4.27	: INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS ( $\nabla_i$ ) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G372VP.....	60
QUADRO – 4.28	: INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS ( $\nabla_i$ ) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO SCINTREXVP.....	60
QUADRO – 4.29	: TESTE PARA IGUALDADE DE VALORES PRÓPRIOS.....	62
QUADRO – 4.30	: TESTE PARA IGUALDADE DE VALORES PRÓPRIOS.....	62
QUADRO – 4.31	: TESTE PARA IGUALDADE DE VALORES PRÓPRIOS.....	62
QUADRO – 4.32	: APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PRECISÃO.....	62
QUADRO – 4.33	: APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PRECISÃO.....	62
QUADRO – 4.34	: APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PRECISÃO.....	63
QUADRO – 4.35	: RESULTADOS DO TESTE GLOBAL.....	64
QUADRO – 4.36	: REDUNDÂNCIAS PARCIAIS E CONTROLABILIDADE DAS OBSERVAÇÕES DOS AJUSTAMENTOS G114TO, G143TO E G372TO....	65
QUADRO – 4.37	: REDUNDÂNCIAS PARCIAIS E CONTROLABILIDADE DAS OBSERVAÇÕES DOS AJUSTAMENTOS G114VO, G143VO E G372VO...	66
QUADRO – 4.38	: REDUNDÂNCIAS PARCIAIS E CONTROLABILIDADE DAS OBSERVAÇÕES DOS AJUSTAMENTOS G114VPO, G143VPO E G372VPO.....	67
QUADRO – 4.39	: ESTIMATIVA DO ERRO MÍNIMO QUE PODE SER DETECTADO COM $\alpha_0 = 0,3\%$ , $(1 - \beta_0) = 80\%$ E $\delta_0 = 3,87$ .....	68
QUADRO – 4.40	: ESTIMATIVA DO ERRO MÍNIMO QUE PODE SER DETECTADO COM $\alpha_0 = 0,3\%$ , $(1 - \beta_0) = 80\%$ E $\delta_0 = 3,87$ .....	69
QUADRO – 4.41	: ESTIMATIVA DO ERRO MÍNIMO QUE PODE SER DETECTADO COM $\alpha_0 = 0,3\%$ , $(1 - \beta_0) = 80\%$ E $\delta_0 = 3,87$ .....	70
QUADRO – 4.42	: ESTIMATIVA DO ERRO GROSSEIRO PRESENTE EM CADA OBSERVAÇÃO.....	71
QUADRO – 4.43	: ESTIMATIVA DO ERRO GROSSEIRO PRESENTE EM CADA OBSERVAÇÃO.....	72
QUADRO – 4.44	: ESTIMATIVA DO ERRO GROSSEIRO PRESENTE EM CADA OBSERVAÇÃO.....	73
QUADRO – 4.45	: INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS ( $\nabla_i$ ) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G114TO.....	73
QUADRO – 4.46	: INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS ( $\nabla_i$ ) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G143TO.....	74
QUADRO – 4.47	: INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS ( $\nabla_i$ ) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G372TO.....	74
QUADRO – 4.48	: INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS ( $\nabla_i$ ) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G114VO.....	75

QUADRO – 4.49	: INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS ( $\nabla_i$ ) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G143VO.....	76
QUADRO – 4.50	: INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS ( $\nabla_i$ ) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G372VO.....	76
QUADRO – 4.51	: INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS ( $\nabla_i$ ) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G114VPO.....	77
QUADRO – 4.52	: INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS ( $\nabla_i$ ) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G143VPO.....	77
QUADRO – 4.53	: INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS ( $\nabla_i$ ) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO G372VPO.....	78
QUADRO – 4.54	: TESTE DE IGUALDADE DE VALORES PRÓPRIOS.....	80
QUADRO – 4.55	: APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PRECISÃO.....	80
QUADRO – 4.56	: RESULTADOS DO TESTE GLOBAL.....	81
QUADRO – 4.57	: REDUNDÂNCIAS PARCIAIS E CONTROLABILIDADE DAS OBSERVAÇÕES DOS AJUSTAMENTOS AGLOBAL1, AGLOBAL2 E AGLOBAL3.....	82
QUADRO – 4.58	: ESTIMATIVA DO ERRO MÍNIMO QUE PODE SER DETECTADO COM $\alpha_0 = 0,45\%$ , $(1 - \beta_0) = 80\%$ E $\delta_0 = 3,70$ .....	83
QUADRO – 4.59	: ESTIMATIVA DO ERRO GROSSEIRO PRESENTE EM CADA OBSERVAÇÃO.....	84
QUADRO – 4.60	: INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS ( $\nabla_i$ ) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO AGLOBAL1.....	84
QUADRO – 4.61	: INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS ( $\nabla_i$ ) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO AGLOBAL2.....	85
QUADRO – 4.62	: INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS ( $\nabla_i$ ) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO AGLOBAL3.....	85
QUADRO – 4.63	: TESTE DE IGUALDADE DE VALORES PRÓPRIOS.....	87
QUADRO – 4.64	: APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PRECISÃO.....	87
QUADRO – 4.65	: RESULTADOS DO TESTE GLOBAL.....	87
QUADRO – 4.66	: REDUNDÂNCIAS PARCIAIS E CONTROLABILIDADE DAS OBSERVAÇÕES DOS AJUSTAMENTOS AGLOBAL10, AGLOBAL20 E AGLOBAL30.....	88
QUADRO – 4.67	: ESTIMATIVA DO ERRO MÍNIMO QUE PODE SER DETECTADO COM $\alpha_0 = 0,3\%$ , $(1 - \beta_0) = 80\%$ E $\delta_0 = 3,87$ .....	89
QUADRO – 4.68	: ESTIMATIVA DO ERRO GROSSEIRO PRESENTE EM CADA OBSERVAÇÃO.....	90
QUADRO – 4.69	: INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS ( $\nabla_i$ ) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO AGLOBAL10.....	90
QUADRO – 4.70	: INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS ( $\nabla_i$ ) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO AGLOBAL20.....	91
QUADRO – 4.71	: INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS ( $\nabla_i$ ) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO AGLOBAL30.....	91
QUADRO – 4.72	: TESTE DE IGUALDADE DE VALORES PRÓPRIOS.....	97
QUADRO – 4.73	: APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PRECISÃO.....	98
QUADRO – 4.74	: RESULTADOS DO TESTE GLOBAL.....	99
QUADRO – 4.75	: INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS ( $\nabla_i$ ) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTOTOTAL1.....	104
QUADRO – 4.76	: INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS ( $\nabla_i$ ) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTOTOTAL10.....	105
QUADRO – 4.77	: RESUMO DE RESULTADOS DO TESTE GLOBAL.....	106

QUADRO – 4.78	: OBSERVAÇÕES LOCALIZADAS COM A PRESENÇA DE ERRO GROSSEIRO.....	107
QUADRO – 4.79	: TESTE DE IGUALDADE DE VALORES PRÓPRIOS.....	108
QUADRO – 4.80	: APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PRECISÃO.....	108
QUADRO – 4.81	: RESULTADOS DO TESTE GLOBAL.....	108
QUADRO – 4.82	: INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS ( $\nabla_i$ ) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO TOTAL6.....	113
QUADRO – 4.83	: INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS ( $\nabla_i$ ) SOBRE OS PARÂMETROS DO AJUSTAMENTO TOTAL60.....	113
QUADRO – 4.84	: CLASSIFICAÇÃO DAS OBSERVAÇÕES SCINTREX.....	117
QUADRO – 4.85	: TESTE DE IGUALDADE DE VALORES PRÓPRIOS.....	118
QUADRO – 4.86	: APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE PRECISÃO.....	118
QUADRO – 4.87	: RESULTADOS DO TESTE GLOBAL.....	119
QUADRO – 4.88	: COMPARAÇÃO DA INFLUÊNCIA DOS ERROS GROSSEIROS ESTIMADOS SOBRE OS PARÂMETROS COM AS RESPECTIVAS PRECISÕES OBTIDAS.....	122

## LISTA DE SÍMBOLOS

- $\Sigma_{l_a}$  : Matriz de variância-covariância do vetor das observações ajustadas
- $\Sigma_{x_a}$  : Matriz de variância-covariância dos parâmetros ajustados
- $\hat{\sigma}_0^2$  : Variância da unidade de peso a posteriori
- $\sigma_0^2$  : Variância da unidade de peso a priori
- $\Lambda$  : Matriz diagonal formada pelos valores próprios de  $\Sigma_{x_a}$
- ! : Deve ser
- =
- $\lambda_{\text{máx}}$  : Valor próprio máximo obtido da matriz MVC
- $\lambda_{\text{mín}}$  : Valor próprio mínimo obtido da MVC
- $\chi^2$  : Distribuição qui-quadrado
- $\Sigma_v$  : Matriz de variância-covariância dos resíduos
- $\alpha$  : Nível de significância
- $\delta_0$  : Parâmetro de não centralidade
- $\sigma_i$  : Desvio padrão da i-ésima observação não ajustada
- $\nabla l_{0_i}$  : Valor mínimo do erro detectável na observação  $l_i$
- $(1-\beta)$  : Poder do teste
- $\bar{r}_i$  : Redundância parcial média
- $\nabla l_i$  : Erro grosseiro presente em uma observação
- $\nabla_i$  : Estimativa para o erro grosseiro
- $\nabla x$  : Efeito do erro grosseiro sobre o vetor solução dos parâmetros ajustados
- $\bar{x}$  : Média aritmética de uma amostra
- $\lambda$  : Longitude geodésica ou valores próprios
- $\varphi$  : Latitude geodésica
- + : Indicação de pseudo-inversa ou inversa generalizada de Moore Penrose quando sobrescrito no símbolo de uma matriz
- 1 : Indicação de inversa ordinária quando sobrescrito no símbolo de uma matriz
- A : Matriz dos coeficientes
- b : Número de valores próprios associados a MVC
- det(.) : Determinante de uma matriz

e	: Número de neper (2,71828182846...)
$e_i$	: i-ésima coluna da matriz identidade
g	: Aceleração da gravidade
$\mu$ Gal	: microgal
h	: Altitude ortométrica
$H_0$	: Hipótese nula
$H_1$	: Hipótese alternativa
$l_i$	: i-ésima observação
ln	: Logaritmo neperiano
m	: Vetores próprios
M	: Matriz ortogonal cujas colunas são vetores próprios de $\sum x_a$
mGal	: miligal
P	: Matriz dos pesos
r	: Redundância do sistema ou graus de liberdade
$r_i$	: Redundância parcial
s	: Desvio padrão de uma amostra
t	: Indicação da transposta de uma matriz, quando sobrescrito no símbolo de matriz
tr(.)	: Traço de uma matriz
u	: Número de parâmetros
v	: Vetor dos resíduos
$v_k$	: Combinação linear
$w_{kj}$	: Peso sináptico
$x_0$	: Vetor dos parâmetros aproximados
$x_a$	: Vetor dos parâmetros ajustados
$x_j$	: Sinal de entrada da sinapse j conectada ao neurônio

## RESUMO

A *International Gravity Standardization Net 1971* (IGSN71) é na atualidade a rede gravimétrica de referência mundial. As redes gravimétricas fundamentais nacionais e derivadas são usualmente estabelecidas via levantamentos relativos a IGSN-71. Devido à extensão territorial brasileira onde existem apenas 20 localidades com estações IGSN71 e as dificuldades de acesso a regiões remotas, a precisão das redes derivadas usualmente apresenta-se no intervalo de 50 a 100 microgal. Esta concepção de levantamento gravimétrico passou a ser modificada, com injeção de observações de desnível gravimétrico nas redes existentes para controle e reajustamento, com a calibração de gravímetros em campo e o controle do fator de escala instrumental. Com base nessas idéias iniciais, foi concebida uma Rede Gravimétrica Científica para o Estado do Paraná. No presente trabalho são apresentadas as concepções, estratégias e atividades experimentais associadas à metodologia de implantação de redes gravimétricas de alta precisão no Brasil. Para tanto, foi implantada uma rede com estações em 21 localidades do Estado do Paraná e uma no Estado de São Paulo. O levantamento das observações foi efetuado com quatro gravímetros, três do tipo LaCoste & Romberg, modelos G-114, G-143, G-372 realizadas e um gravímetro digital Scintrex, modelo CG3. Combinando as observações com quatro gravímetros com as estratégias de ajustamento pelo método dos mínimos quadrados empregadas para rede, foram obtidas diversas soluções para a rede. É apresentado também um critério para integração de observações LaCoste & Romberg com observações oriundas do gravímetro Scintrex. Para análise de todas as soluções obtidas, bem como a decisão pela solução ótima, foram utilizados os critérios de precisão e confiabilidade para redes geodésicas.

Palavras-chave: Rede gravimétrica, Critério de precisão, Critério de confiabilidade.

## ABSTRACT

*International Gravity Standardization Net 1971 (IGSN71)* it is at the present time the world gravity network of reference. The national fundamental gravity network and flowed they are usually established saw relative survey this world network. Due to the brazilian territorial extension where only 20 places exist with stations IGSN71 and the access difficulties to remote areas, the precision of the networks flowed usually comes in the interval from 50 to 100 microgal. This conception of gravity survey became modified, with constraining of observations of differences gravity in the existent networks for control and readjustment, with the calibration of gravimeters in field and the control of the factor of instrumental scale. With base in those ideas initials, it was conceived a Scientific Gravity Network for the State of Paraná. In the present work the conceptions, strategies and experimental activities associated to the methodology of implantation of gravity networks of high precision in Brazil are presented. For so much, a network was implanted with stations in 21 places of the State of Paraná and one in the State of São Paulo. The survey of the observations was made with four gravimeters, three of the type LaCoste & Romberg, models G-114, G-143, G-372 and a digital gravimeter Scintrex, model CG3. Combining the observations with four gravimeters with the adjustment strategies for the method of least square employed for network, were obtained several solutions for the network. It is also presented a criterion for integration of observations LaCoste & Romberg with observations originating from of the gravimeter Scintrex. For analysis of all the obtained solutions, as well as the decision for the great solution, the criteria of precision and reliability were used for geodetic networks.

Keywords: Gravity network; Precision criterion; Reliability criterion.