

**unesp**



**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

**Faculdade de Ciências e Tecnologia**

**Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas**

**ANDRÉ LUÍS PEREIRA DE CASTRO**

**NIVELAMENTO ATRAVÉS DO GPS:**  
*avaliação e proposição de estratégias*

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**Presidente Prudente**

**2002**



**ANDRÉ LUÍS PEREIRA DE CASTRO**

**NIVELAMENTO ATRAVÉS DO GPS:**  
*avaliação e proposição de estratégias*

**Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação  
em Ciências Cartográficas da  
Faculdade de Ciências e  
Tecnologia da UNESP, para a  
obtenção do título de Mestre.**

**Presidente Prudente  
2002**

C35n

Castro, André Luís Pereira de.

Nivelamento através do GPS : avaliação e proposição de estratégias  
/ André Luís Pereira de Castro. - Presidente Prudente : [s.n.], 2002  
175 f. : il.

Dissertação (mestrado).- Universidade Estadual Paulista, Faculdade  
de Ciências e Tecnologia

Orientador: Nelsi Cogo de Sá

Co-orientador: João Francisco Galera Monico

1. GPS. 2. Nivelamento. 3. Altitude ortométrica. 4. Altitude  
geométrica 5. Géóide I. Castro, André Luís Pereira de. II. Título.

CDD (18.ed.) 623.71

**ANDRÉ LUÍS PEREIRA DE CASTRO**

**NIVELAMENTO ATRAVÉS DO GPS:**  
*avaliação e proposição de estratégias*

COMISSÃO EXAMINADORA

DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE

Examinador: Prof. Dr. Antonio Simões Silva – DEC/UFV

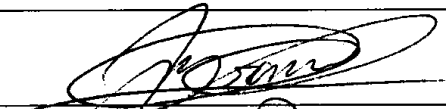
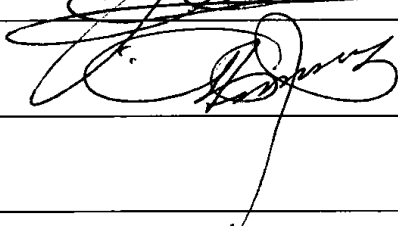
Examinador: Prof. Dr. José Milton Arana – FCT/UNESP


Presidente e Orientador: Prof. Dr. Nelsi Côgo de Sá – IAG/USP

Presidente Prudente/SP, 30 de agosto de 2002.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

lia



Presidente Prudente (SP), 30 de agosto de 2002.

Resultado:   Aprovado

## **DADOS CURRICULARES**

### **ANDRÉ LUIS PEREIRA DE CASTRO**

Nascimento 18/9/1972 - Salvador/BA.

Filiação José Wilson Pinto de Castro.  
Guilhermina Pereira de Castro.

1992 – 1997 Curso de Graduação.  
Universidade Federal de Viçosa (Viçosa/MG).  
Engenharia de Agrimensura.

2000 – 2002 Curso de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas nível  
de Mestrado, na Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP.

## DEDICATÓRIA

aos meus pais,  
pelo exemplo de decência e retidão de caráter e por terem-me imprimido a sede do  
saber.

aos meus irmãos,  
por tornar a nossa família maravilhosa.

a meu eterno amor, Hé,  
que me fez acreditar que era possível, quando tudo se apresentava inviável.  
Não quero ser na sua vida o início de um fim nem o fim de um começo, quero ser  
o início de um começo sem fim.

e ao meu novo amor, Laura,  
agora o verdadeiro motivo (mais um) para lutar na vida, e que nas suas primeiras  
“palavras” (rhãn...rhãn...) proporcionou-me um imenso júbilo.

## AGRADECIMENTOS

aos meus orientadores:

Prof. Nelsi,  
pelas críticas, ensinamentos e pela oportunidade dada em seu projeto, o qual pude desenvolver-lo com grande perseverança, permitindo assim a “materialização” de mais uma etapa em minha vida;

Prof. Galera,  
também pelas sugestões, ensinamentos e principalmente por impulsionar a “idealização” dos meus objetivos iniciais, após uma “simples ligação...”

ao Técnico Clarino do Divino Vieira (IAG/USP),  
pela companhia e ajuda no trabalho de campo.

ao Prof. Msc. Sérgio Florêncio de Souza (IF/UFRGS), Doutorando do IAG/USP,  
por disponibilizar o geóide gravimétrico do Estado de São Paulo.

À Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro da bolsa de estudos e dos recursos de Auxílio-Tese.

À Fundação de Amparo a Pesquisa no Estado de São Paulo (FAPESP – Proc. N.º. 99/12691-9), pelo apoio financeiro, o qual contribuiu com a etapa logística desse trabalho.

À diretoria de Geodésia do IBGE, em especial a Eng<sup>a</sup> Kátia Duarte Pereira,  
pela cessão dos dados GPS da RBMC

ao Prof. Dr. Paulo de Oliveira Camargo,  
pelas críticas, ajudas e sugestões ao longo do Curso;

ao Prof. Msc. Otávio Yassuo Itame (Tavico),  
pela ajuda pessoal, paciência e confiança

aos colegas de curso, estudos e de república (honorários e vitalícios.....),  
Fábio Leme de Almeida, Wagner Carrupt Machado, Ítalo Tsuchiya, José Aurélio Silva Perez, João Bosco Nogueira Jr., Giovane Maia do Valle (herdeiro do “controle do cafezinho” da sala de permanência), Jardel Aparecido Fazan e todos aqueles cujos nomes aqui não foram mencionados, tenham certeza de que não foi por esquecimento, mas por obrigação ao protocolo. ..., valeu pela companhia, pelas caronas, sons, etc.

ao primo Edimilson e ao amigo Marcelo,  
pela acolhida na cidade de São Paulo

aos Professores e Funcionários do Departamento de Cartografia e do PPGCC,  
e a todos aqueles que diretamente ou indiretamente contribuíram com mais uma etapa na minha vida.

## EPÍGRAFE

### **Educação em vista de um pensamento livre**

“Não basta ensinar ao homem uma especialidade. Porque se tornará assim uma máquina utilizável, mas não uma personalidade. É necessário que adquira um sentimento, um senso prático daquilo que vale a pena ser empreendido, daquilo que é belo; do que é moralmente correto. A não ser assim, ele se assemelhará, com os conhecimentos profissionais, mais a um cão ensinado do que uma criatura harmoniosamente desenvolvida. Deve aprender a compreender as motivações dos homens, suas quimeras e suas angústias para determinar com exatidão seu lugar exato em relação a seus próximos e a comunidade.”

ALBERT EINSTEIN

<<<< O ensino deveria ser assim: quem o receba o recolha como um dom inestimável, mas nunca como obrigação penosa >>>>

CASTRO, A. L. P. **NIVELAMENTO ATRAVÉS DO GPS: avaliação e proposição de estratégias.** Presidente Prudente: [s.n.], 2002. 175 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Campus de Presidente Prudente.

## RESUMO

O posicionamento através do GPS alterou profundamente a metodologia geodésica nas últimas décadas. Atualmente, as aplicações dessa técnica espacial não se limita à determinação das coordenadas geodésicas como ocorria no posicionamento clássico. O posicionamento por GPS, combinado com um modelo geoidal, proporciona a altitude ortométrica, com a precisão suficiente para várias aplicações cotidianas (mapeamento, distribuição de água, saneamento básico, irrigação, planejamento urbano, etc). Isto significa que, nessas aplicações, já é possível substituir o nivelamento tradicional pelo nivelamento por satélite com a simplicidade oferecida pelo GPS. Os objetivos principais deste trabalho, em síntese, são os seguintes: determinar a altitude ortométrica num conjunto de Referências de Nível combinando o posicionamento por GPS com um modelo geoidal do Estado de São Paulo; avaliar o nivelamento através do GPS, comparando as altitudes determinadas com as conhecidas nesses pontos; e definir estratégias para adequar o nivelamento por satélite às aplicações cotidianas. A metodologia proposta consiste em avaliar o nivelamento realizado com o GPS, por meio da análise estatística das discrepâncias entre as altitudes ortométricas determinada e conhecida em cada ponto; e definir estratégias de observação e processamento de dados GPS visando essas aplicações. Os resultados obtidos neste trabalho mostram que é possível realizar o nivelamento por satélite utilizando receptores GPS equipados com antenas de duas frequências ou mesmo de uma frequência e bases de comprimento até 250 km. Assim, o usuário possui alternativa para substituir o nivelamento convencional pelo nivelamento por satélite, com os benefícios da simplicidade operacional, da rapidez e do baixo custo que o GPS oferece.

Palavras-chaves: GPS; nivelamento; altitude ortométrica; altitude geométrica; geóide

CASTRO, A. L. P. **NIVELAMENTO ATRAVÉS DO GPS: avaliação e proposição de estratégias.** Presidente Prudente: [s.n.], 2002. 175 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Campus de Presidente Prudente.

## **ABSTRACT**

The GPS positioning has deeply modified the geodetic methodology in the last decades. Currently, the applications of this space technique are not limited to the determination of the geodetic coordinates as it happened in classical positioning. The GPS positioning, combined with a geoidal model, provides the orthometric heights, with the enough precision for some daily applications (mapping, water distribution, basic sanitation, irrigation, urban planning, etc). In these applications, it is already possible to substitute the traditional levelling by the satellite levelling with the simplicity allowed by the GPS. The main objectives of this work are the following: to determine the orthometric heights in a set of leveling benchmarks by combining the GPS positioning and a gravimetric geoidal model in São Paulo state; to evaluate the GPS levelling, by comparing the obtained orthométric heights with the known ones at these points; and to define strategies to apply the satellite levelling to the daily applications. The proposed methodology consists in evaluating the GPS levelling through the statistical analysis of the discrepancies between the determined orthometric heights and the known one at each point; and to recomend strategies for observation and data processing. The results obtained in this work show that, for many applications, the GPS levelling can be accomplished, by using GPS receivers equipped with two frequencies, or even one frequency antennas, for baselines up to 250 km. So the user has an alternative to substitute the conventional levelling by the satellite levelling, with the benefits of operational simplicity, the little time consuming, and the low cost enabled by using GPS.

Words keys: GPS; levelling; orthometric height; geometric height; geoid

## SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS .....	12
LISTA DE FIGURAS.....	13
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	15
LISTA DE SÍMBOLOS.....	17
1 INTRODUÇÃO .....	19
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	22
<b>2.1 Conceitos fundamentais</b> .....	<b>22</b>
2.1.1 Altitudes e Altimetria.....	23
2.1.2 Altitude Ortométrica no Brasil.....	29
2.1.3 Determinação da altitude ortométrica através do GPS .....	31
<b>2.2 Sistema Geodésico Brasileiro</b> .....	<b>31</b>
2.2.1 Rede Geodésica Brasileira.....	32
2.2.2 Rede Altimétrica .....	33
2.2.3 Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo.....	37
2.2.4 Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul.....	38
<b>2.3 Conceitos básicos do GPS</b> .....	<b>41</b>
2.3.1 Erros que degradam a precisão do posicionamento GPS.....	42
2.3.2 As observáveis GPS.....	46
2.3.3 Combinação linear e diferenciação das observáveis GPS.....	48
2.3.4 Técnicas de posicionamento através do GPS.....	50
2.3.5 Análise do processamento dos dados GPS .....	52
<b>2.4 Modelos Geoidais</b> .....	<b>54</b>
2.4.1 Modelos geoidais globais .....	54
2.4.2 Geóides gravimétricos regionais e locais .....	55
3 DADOS .....	56
<b>3.1 Redes de nivelamento e RNs selecionadas</b> .....	<b>56</b>
<b>3.2 Redes GPS de referência</b> .....	<b>60</b>
<b>3.3 Geóides gravimétricos disponíveis do Estado de São Paulo</b> .....	<b>61</b>
4 METODOLOGIA .....	63
<b>4.1 Reconhecimento e seleção final das RNs</b> .....	<b>63</b>
<b>4.2 Referências de nível posicionadas</b> .....	<b>64</b>
4.2.1 Implantação das referências de nível excêntricas.....	67
<b>4.3 Especificações técnicas dos receptores e antenas GPS</b> .....	<b>70</b>
<b>4.4 Organização dos arquivos de dados GPS</b> .....	<b>71</b>
<b>4.5 Processamento dos dados GPS</b> .....	<b>72</b>
<b>4.6 Estratégias de processamento dos dados GPS</b> .....	<b>74</b>

<b>4.7 Ajustamento da linha para o controle do nivelamento .....</b>	<b>76</b>
<b>4.8 Nivelamento através do GPS.....</b>	<b>77</b>
4.8.1 Realização do nivelamento .....	77
4.8.2 Avaliação do nivelamento.....	79
4.8.3 Controle do nivelamento.....	80
4.8.4 Definição de estratégias para a realização do nivelamento .....	81
<b>5 RESULTADOS.....</b>	<b>82</b>
<b>5.1 Referências de nível excêntricas .....</b>	<b>82</b>
<b>5.2 Altitudes ortométrica preliminares .....</b>	<b>83</b>
<b>5.3 Multicaminho nas estações de referência.....</b>	<b>85</b>
<b>5.4 Ajustamentos da rede GPS .....</b>	<b>86</b>
5.4.1 Controle do receptor L1L2 para a combinação linear L0.....	89
5.4.2 Controle do receptor L1L2 para a pseudodistância .....	92
5.4.3 Controle do receptor L1 para a fase .....	95
5.4.4 Controle do receptor L1 para a pseudodistância .....	98
<b>5.5 Controle e avaliação do nivelamento através do GPS.....</b>	<b>101</b>
5.5.1 Discrepâncias de altitude ortométrica para os receptores L1L2 e L1 .....	105
<b>6 ANÁLISES DOS RESULTADOS .....</b>	<b>111</b>
<b>6.1 Referências de nível excêntricas .....</b>	<b>111</b>
<b>6.2 Multicaminhos nas estações referência.....</b>	<b>112</b>
<b>6.3 Avaliação da altitude geométrica para os receptores L1L2 e L1 .....</b>	<b>114</b>
<b>6.4 Avaliação do nivelamento através do GPS para os receptores L1L2 e L1 .....</b>	<b>124</b>
<b>7 ESTRATÉGIAS.....</b>	<b>134</b>
<b>7.1 Posicionamento com GPS.....</b>	<b>134</b>
<b>7.2 Nivelamento através GPS.....</b>	<b>136</b>
<b>8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>139</b>
<b>8.1 Conclusões .....</b>	<b>140</b>
<b>8.2 Recomendações .....</b>	<b>142</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>143</b>
<b>BIBLIOGRAFIAS .....</b>	<b>149</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>150</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>166</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Especificações para nivelamento geométrico do Sistema Geodésico Brasileiro	29
Tabela 2.2 – Fontes e efeitos dos erros envolvidos no GPS	43
Tabela 3.1 – Relação das RNs posicionadas	59
Tabela 4.1 – Circuito das RNs posicionadas	65
Tabela 4.2 – Informações técnicas dos receptores GPS	71
Tabela 4.3 – Descrição dos menus do software GPSurvey (2.35a)	73
Tabela 5.1 – Informações das Referências de Nível Excêntricas	82
Tabela 5.2 – Altitudes ortométrica do IBGE utilizadas como referência	84
Tabela 5.3 – Multicaminhos nas estações de referências	85
Tabela 5.4 – Coordenadas geodésicas ajustadas e os respectivos erros padrões	88
Tabela 5.5a – Discrepância da altitude geométrica para o receptor L1L2, usando L0 e intervalo de 5 segundos	90
Tabela 5.5b – Discrepância da altitude geométrica para o receptor L1L2, usando L0 e intervalo de 15 segundos	91
Tabela 5.6a – Discrepância da altitude geométrica para o receptor L1L2 para pseudodistância e intervalo de 5 segundos	93
Tabela 5.6b – Discrepância da altitude geométrica para o receptor L1L2 para pseudodistância e intervalo de 15 segundos	94
Tabela 5.7a – Discrepância da altitude geométrica para o receptor L1, usando a fase e intervalo de 5 segundos	96
Tabela 5.7b – Discrepância da altitude geométrica para o receptor L1, usando a fase e intervalo de 15 segundos	97
Tabela 5.8a – Discrepância da altitude geométrica para o receptor L1, usando pseudodistância e intervalo de 5 segundos	99
Tabela 5.8b – Discrepância da altitude geométrica para o receptor L1, usando pseudodistância e intervalo de 15 segundos	100
Tabela 5.9 – Altitude Ortométrica determinada com GPS para avaliação	102
Tabela 5.10 – Quantitativos da RN eliminada	103
Tabela 5.11 – Altitude Ortométrica determinada com GPS para as RNs escolhidas	104
Tabela 5.12a – Discrepância da altitude ortométrica para o receptor L1L2 utilizando a L0	106
Tabela 5.12b – Discrepância da altitude ortométrica para o receptor L1L2 utilizando a pseudodistância	107
Tabela 5.13a – Discrepância da altitude ortométrica para o receptor L1 utilizando a fase	108
Tabela 5.13b – Discrepância da altitude ortométrica para o receptor L1 utilizando a pseudodistância	109
Tabela 7.1 – Estratégias para o posicionamento através do GPS	135
Tabela 7.2 – Parâmetros para a estimativa da discrepância da altitude ortométrica	137
Tabela 7.3 – Discrepâncias obtidas com o nivelamento através do GPS	138

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Superfícies empregadas na Geodésia.....	20
Figura 2.1 – Ilustração da representação da altitude e diferença de altitude.....	23
Figura 2.2 – Representação das coordenadas de um ponto na superfície da Terra.....	24
Figura 2.3 – Elementos que definem a altitude.....	26
Figura 2.4 – Estabelecimento da altitude ortométrica do datum vertical.....	26
Figura 2.5 – Esquema da Rede de Nivelamento.....	28
Figura 2.6 – Representação da altitude ortométrica.....	30
Figura 2.7 – Diferenças entre os níveis médios do mar locais e o Datum de Imbituba.....	34
Figura 2.8 – Redes Altimétrica e Maregráfica do SGB.....	35
Figura 2.9 – Resultados do Ajustamento Altimétrico Global Preliminar (AAGP).....	36
Figura 2.10 – Estações da RBMC.....	38
Figura 2.11 – Estações SIRGAS 2000.....	40
Figura 2.12 – Estrutura básica dos sinais GPS.....	41
Figura 2.13 – Ilustração da ocorrência do multicaminho no sinal GPS.....	45
Figura 2.14 – Formação da dupla diferença entre as antenas dos receptores e satélites.....	50
Figura 3.1 – Rede de Nivelamento Fundamental do Estado de São Paulo.....	57
Figura 3.2 – Localização das RNs investigadas para a seleção.....	58
Figura 3.3 – Perfil das altitudes ortométrica posicionadas.....	60
Figura 3.4 – Geóide gravimétrico no Estado de São Paulo (unidade: m).....	62
Figura 3.5 – Erro relativo do Geóide gravimétrico no Estado de São Paulo.....	62
Figura 4.1 – Localização esquemática da linha para realização do nivelamento através do GPS.....	64
Figura 4.2 – Materialização das RNEs.....	68
Figura 4.3 – Estabelecimento do ponto auxiliar para o receptor L1.....	69
Figura 4.4 – Receptores GPS L1L2 e L1 em operação.....	69
Figura 4.5 – Medições das alturas das antenas para os receptores L1L2 e L1.....	70
Figura 4.6 – Janela principal do software GPSurvey (2.35a).....	73
Figura 4.7 – Fluxograma do esquema de processamento utilizando o software GPSurvey (2.35a).....	75
Figura 4.8 – Representação esquemática do nivelamento através do GPS.....	78
Figura 4.9 – Fluxograma do esquema de utilização do programa GEOCOM.....	79
Figura 5.1 – Ilustração da representação dos vetores em relação às estações de referência e as demais RNs.....	87
Figura 6.1 – Comprimento da Linha de Visada do nivelamento e contranivelamento das RNEs.....	111
Figura 6.2 – Desnível médio entre a RN e RNE.....	111
Figura 6.3 – Diferença de Desníveis entre o nivelamento e contranivelamento.....	111
Figura 6.4 – Multicaminho na estação de referência 2891P.....	113
Figura 6.5 – Multicaminho na estação UEPP da RBMC.....	113

Figura 6.6 – Multicaminho na estação PARA da RBMC.....	113
Figura 6.7 – Erro padrão da altitude geométrica ajustada. ....	114
Figura 6.8 – Discrepância da altitude geométrica para o receptor L1L2 utilizando a fase L0. .....	115
Figura 6.9 – Discrepância da altitude geométrica para o receptor L1L2 utilizando a pseudodistância L0. ....	116
Figura 6.10 – Discrepância da altitude geométrica para o receptor L1 utilizando a fase.....	117
Figura 6.11 – Discrepância da altitude geométrica para o receptor L1 utilizando a pseudodistância.....	118
Figura 6.12 – Discrepância da altitude geométrica para os receptores L1L2 e L1. ....	120
Figura 6.13 – Ilustração dos números de satélites e observações utilizadas no processamento. .....	120
Figura 6.14 – Ilustrações dos números de satélites utilizados no processamento e valores para os PDOPs e VDOPs com dados coletados para o receptor L1. ....	122
Figura 6.15 – Erros envolvidos no nivelamento através do GPS.....	124
Figura 6.16 – Discrepância da altitude ortométrica para a linha ajustada utilizando GPS.....	125
Figura 6.17 – Discrepância da altitude ortométrica para o receptor L1L2 utilizando a fase L0. .....	126
Figura 6.18 – Discrepância da altitude ortométrica para o receptor L1L2 utilizando a pseudodistância L0. ....	127
Figura 6.19 – Discrepância da altitude ortométrica para o receptor L1 utilizando a fase.....	128
Figura 6.20 – Discrepância da altitude ortométrica para o receptor L1 utilizando a pseudodistância.....	129
Figura 6.21 – Discrepância da altitude ortométrica para os receptores L1L2 e L1.....	131
Figura 6.22 – Resumo dos resultados das discrepâncias para as altitudes geométrica e ortométrica dos receptores L1L2 e L1.....	133

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASCII	– <i>American Standard Code for Information Interchange</i>
C/A	– <i>Coarse/Aquisition</i>
C_RNE_L1	– Contranivelamento da RNE_L1
C_RNE_L1L2	– Contranivelamento da RNE_L1L2
DD	– Dupla Diferença (Combinação linear das observáveis GPS)
DDn	– Diferença de Desnível.
DECAR	– Departamento de Cartografia do IBGE
DEGED	– Departamento de Geodésia do IBGE
DGC	– Diretoria de Geociências do IBGE
DoD	– <i>Department of Defense</i>
DXF	– <i>Drawing eXchange File</i>
EGM96	– <i>Earth Gravity Model 1996</i>
FCT	– Faculdade de Ciências e Tecnologia
FUNDACTE	– Fundação de Ciências Tecnologia e Ensino
G873	– Semana GPS (873) que ocorreu a realização do sistema WGS84, utilizando dados GPS (G)
GRS80	– <i>Geodetic Reference System 1980</i>
GPS	– <i>Global Positioning System</i>
IAG	– Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas
IBGE	– Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGS	– <i>International GPS Service</i>
IGGSP	– Instituto Geográfico e Geológico do Estado de São Paulo
LATOGEO	– Laboratório de Topografia e Geodésia da FCT/UNESP
L1	– Receptor equipado com antena GPS de uma frequência
L1L2	– Receptor equipado com antena GPS de duas frequências
LLR	– <i>Lunar Laser Ranging</i>
N_RNE_L1	– Nivelamento da RNE_L1
N_RNE_L1L2	– Nivelamento da RNE_L1L2
NAVSTAR	– <i>NAVigation System with Time And Ranging</i>
NIMA	– <i>National Imagery and Mapping Agency</i>
NMM	– Nível Médio dos Mares
Nobs	– Número (quantidade) de observações GPS utilizadas no processamento
Nstas	– Número (quantidade) de satélites visíveis ou utilizados no processamento

OSU91A	– <i>Ohio State University 1991 A</i>
PARA	– Estação GPS localizada em Curitiba (PR) pertencente à RBMC
ppm	– partes por milhão
RBMC	– Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS
RN	– Referência de Nível (padrão IBGE)
RNs	– Referências de Nível (padrão IBGE)
RNE	– Referência de Nível Excêntrica
RNEs	– Referências de Nível Excêntricas
RNE_L1	– Referência de Nível Excêntrica associada ao receptor L1
RNEs_L1	– Referências de Nível Excêntricas associadas ao receptor L1
RN_L1L2	– Referência de Nível associada ao receptor L1L2
RNs_L1L2	– Referências de Nível associadas ao receptor L1L2
RNE_L1L2	– Referência de Nível Excêntrica associada ao receptor L1L2
RNEs_L1L2	– Referências de Nível Excêntricas associadas ao receptor L1L2
RNFB	– Rede de Nivelamento Fundamental do Brasil
RNFSP	– Rede de Nivelamento Fundamental do Estado de São Paulo
SA	– <i>Selective Availability</i>
SAD69	– <i>South American Datum 1969</i>
SLR	– <i>Satellite Laser Ranging</i>
SAB	– Sistema Altimétrico Brasileiro
SGB	– Sistema Geodésico Brasileiro
RINEX	– <i>Receiver Independent Exchange</i>
SIRGAS	– Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
UEPP	– Estação GPS localizada em Presidente Prudente (SP) pertencente à RBMC
UNESP	– Universidade Estadual Paulista
USP	– Universidade de São Paulo
UTM	– <i>Universal Transverse de Mecator</i>
VLBI	– <i>Very Long Baseline Interferometry</i>
WGS84	– <i>World Geodetic System 1984</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

$h_i$ e $\sigma_{h_i}$	– Altitude geométrica da estação $i$ e o respectivo desvio padrão
$h_A$ e $\sigma_{h_A}$	– Altitude geométrica da estação de referência $A$ e o respectivo erro padrão
$\Delta h_i$ e $\sigma_{\Delta h_i}$	– Diferença da altitude geométrica ( $\Delta h_i = h_i - h_A$ ) e o respectivo erro padrão
$\hat{h}_i$ e $\sigma_{\hat{h}_i}$	– Altitude geométrica ajustada da estação $i$ e o respectivo erro padrão
$\Delta \hat{h}_i$ e $\sigma_{\Delta \hat{h}_i}$	– Discrepância da altitude geométrica ( $\Delta \hat{h}_i = \hat{h}_i - h_i$ ) e o respectivo erro padrão
$N_A$ e $N_i$	– Alturas geoidais da estação de referência $A$ e da estação $i$
$\Delta N_i$ e $\sigma_{\Delta N_i}$	– Diferença da altura geoidal ( $\Delta N_i = N_i - N_A$ ) e o respectivo erro relativo
$\Delta N_{ppm_i}$	– Erro relativo da altura geoidal, em unidades de ppm (partes por milhão)
$H_i$ e $\sigma_{H_i}$	– Altitude ortométrica (padrão IBGE) da estação $i$ e o respectivo erro padrão
$H_A$ e $\sigma_{H_A}$	– Altitude ortométrica (padrão IBGE) da estação de referência $A$ e o respectivo erro padrão
$H_{GPS_i}$ e $\sigma_{H_{GPS_i}}$	– Altitude ortométrica GPS ( $H_{GPS_i} = H_A + \Delta h_i - \Delta N_i$ ) e o respectivo erro padrão
$\Delta H_i$ e $\sigma_{\Delta H_i}$	– Discrepância de altitude ortométrica ( $\Delta H_i = H_i - H_{GPS_i}$ ) e o respectivo erro padrão
$\Delta \hat{h}_i^*$ e $\sigma_{\Delta \hat{h}_i^*}$	– Diferença da altitude geométrica ajustada ( $\Delta \hat{h}_i^* = \hat{h}_i - h_A$ ) e o respectivo erro padrão
$H_{GPS_i}^*$ e $\sigma_{H_{GPS_i}^*}$	– Altitude ortométrica GPS de referência ( $H_{GPS_i}^* = H_A + \Delta \hat{h}_i^* - \Delta N_i$ ) e o respectivo erro
$\Delta H_i^*$ e $\sigma_{\Delta H_i^*}$	– Discrepância da altitude ortométrica ( $\Delta H_i^* = H_i - H_{GPS_i}^*$ ) e o respectivo erro padrão

$$\left( \Delta\bar{H}^* = \frac{\sum \Delta H_i^*}{n} \right)$$

- Média das discrepâncias das altitudes ortométrica, onde  $n$  é o total de RNs avaliadas

$$\left( \hat{\sigma}_{\Delta H^*} = \sqrt{\frac{\sum (\Delta H_i^* - \Delta\bar{H}^*)^2}{n-1}} \right)$$

- Desvio padrão das discrepâncias das altitudes ortométrica

$$MSE_{\Delta H^*} = \sqrt{\hat{\sigma}_{\Delta H^*}^2 + \Delta\bar{H}^{*2}}$$

- Raiz quadrada do erro médio quadrático das discrepâncias das altitudes ortométrica

$$H_{(L1L2)S_i}^F \text{ e } \sigma_{H_{(L1L2)S_i}^F}$$

- Altitude ortométrica determinada para o receptor  $L1L2$ , utilizando a fase ( $F$ ), para o intervalo do tempo da sessão ( $S$ ) e o respectivo erro padrão

$$H_{(L1)S_i}^F \text{ e } \sigma_{H_{(L1)S_i}^F}$$

- Altitude ortométrica determinada para o receptor  $L1$  e o respectivo erro padrão.

$$H_{(L1L2)S_i}^{PD} \text{ e } \sigma_{H_{(L1L2)S_i}^{PD}}$$

- Altitude ortométrica determinada para o receptor  $L1L2$ , utilizando a pseudodistância ( $PD$ ) e o respectivo erro padrão

$$H_{(L1)S_i}^{PD} \text{ e } \sigma_{H_{(L1)S_i}^{PD}}$$

- Altitude ortométrica determinada para o receptor  $L1$  e o respectivo erro padrão

## 1 INTRODUÇÃO

O posicionamento por satélite, usando o *NAVigation System with Time And Ranging Global Positioning System* (GPS), ou simplesmente GPS, é a técnica espacial que mais se difundiu. Ela vem alterando a metodologia geodésica desde 1983 (SEEBER, 1993), e encontrando aplicações nas mais diversas áreas, tais como Navegação, Agricultura, Controle ambiental, Transporte, Telefonia, etc. Essa multiplicidade de aplicações decorre da simplicidade operacional, da rapidez e do baixo custo que o GPS proporciona.

O posicionamento geodésico através do GPS fornece as coordenadas cartesianas ( $X, Y, Z$ ) de pontos da superfície terrestre, com precisão de alguns milímetros, de forma relativamente simples. Essas coordenadas cartesianas podem ser transformadas em coordenadas geodésicas: latitude ( $\phi$ ), longitude ( $\lambda$ ) e altitude geométrica ( $h$ ) a partir dos parâmetros do modelo terrestre envolvido, com as fórmulas usuais, ou ainda convertidas em coordenadas de projeção como, por exemplo, a UTM (*Universal Transverse Mercator*).

O uso do GPS na altimetria constitui uma técnica que tem sido bastante difundida e discutida pela comunidade científica. Atualmente, há estudos sobre o aprimoramento do geóide para elevar a precisão da altura geoidal ( $N$ ), componente envolvida na determinação da altitude ortométrica ( $H$ ) a partir da altitude geométrica ( $h$ ), fornecida pelo GPS. Com isso, é possível substituir o “nivelamento tradicional” pelo “nivelamento por satélite”, especialmente o GPS, em aplicações cotidianas tais como a distribuição de água, mapeamento, planejamento urbano, etc.

Em Geodésia, são usadas três superfícies fundamentais: a) a superfície física da Terra, sobre a qual são realizadas as operações geodésicas; b) a superfície geoidal, equipotencial do campo de gravidade que mais se aproxima do nível médio dos mares não perturbados (GEMAEL, 1999), que é geralmente adotada como referência altimétrica; e c) a superfície elipsoidal, limitante do modelo geométrico adotado para a Terra, com o qual são efetuados os cálculos geodésicos. A Figura 1.1 ilustra essas três superfícies, as altitudes geométrica ( $h$ ) e ortométrica ( $H$ ), altura geoidal ( $N$ ) e as linhas vertical ( $v$ ) e normal ( $n$ ), perpendiculares às superfícies geoidal e elipsoidal, respectivamente.

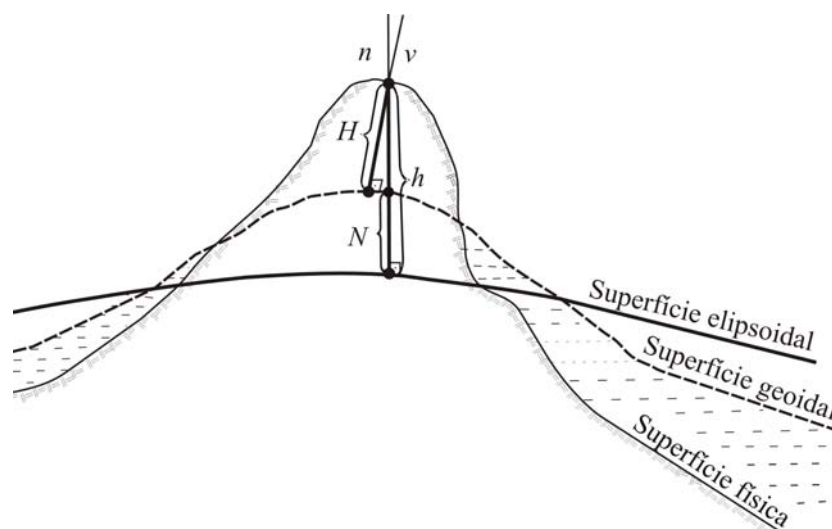


Figura 1.1 – Superfícies empregadas na Geodésia.

A altitude geométrica ( $h$ ), que compõe as coordenadas geodésica, obtida através do GPS, é uma grandeza puramente geométrica associada ao modelo terrestre com distribuição homogênea de massa, o que impede seu uso como referência altimétrica nas aplicações que dependem da distribuição de massa da Terra (geopotencial), necessárias em várias aplicações práticas (distribuição de água, saneamento básico, irrigação etc.). Mas, a altitude ortométrica, de grande interesse prático por estar associada à superfície do modelo terrestre, com a distribuição de massa da Terra (verdadeira), que é o geóide, pode ser expressa em termos da altitude geométrica e da altura geoidal.

$$H \cong h - N \quad (1.1)$$

onde o sinal de aproximação ( $\cong$ ) decorre da não colinearidade entre as altitudes, sendo  $H$  contada ao longo da vertical ( $v$ ),  $h$  e  $N$  contadas ao longo da normal ( $n$ ) (GEMAEL, 1999).

Portanto, a utilização do GPS, combinado com um modelo geoidal, permite a obtenção da altitude ortométrica, relacionada ao campo de gravidade da Terra.

A altimetria trata dos métodos e instrumentos empregados na determinação da altitude. Por exemplo, a altitude ortométrica é determinada pela medição da distância vertical de pontos da superfície terrestre, em relação ao nível médio do mar (geóide). Atualmente, há vários métodos para determinação da altitude ortométrica, operação genericamente é denominada de nivelamento, usando equipamento tradicional ou satélites artificiais, particularmente o GPS.

O nivelamento geométrico, mesmo com a utilização de equipamento moderno, tem pelo menos duas limitações. A primeira está relacionada com as dificuldades

operacionais tais como travessia de rios, horário de trabalho, irregularidades topográficas, etc.; a segunda, diz respeito à morosidade e, conseqüentemente, ao alto custo. Em ambos casos, o custo e o tempo são altos, pois o número de operadores necessário para a execução do nivelamento é elevado e sendo também indispensável seguir algumas recomendações técnicas para evitar a ocorrência e a propagação de erros sistemáticos. Algumas recomendações importantes são bastantes conhecidas como, por exemplo, as distâncias de visadas de ré e vante devem ser aproximadamente iguais, as visadas não devem ultrapassar a distância de 100 m, sendo o ideal de 60 m, e outras recomendações.

O nivelamento através do GPS reduz o custo por envolver menor tempo de execução e número de operadores.

Os objetivos principais deste trabalho são os seguintes: determinar a altitude ortométrica para um conjunto de referências de nível combinando a altitude geométrica fornecida pelo GPS, com a altura geoidal obtida a partir do modelo digital do geóide gravimétrico do Estado de São Paulo, usando o programa GEOCOM (SÁ, 2001<sup>1</sup>); comparar as altitudes determinadas, com as fornecidas pelo IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), e efetuar a análise estatística das discrepâncias; e definir estratégias para otimizar o nivelamento através do GPS nas aplicações cotidianas, tais como: distribuição de água, saneamento básico, atualização cartográfica etc.

---

<sup>1</sup> SÁ, N. C. Comunicação pessoal do Autor (junho de 2001)

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste Capítulo, são abordados os tópicos essenciais para o desenvolvimento do trabalho, com o objetivo de apresentar fundamentação teórica tais como os conceitos necessários de Geodésia; o Sistema Geodésico Brasileiro; o posicionamento por GPS, e os modelos geoidais de interesse.

### 2.1 Conceitos fundamentais

A Geodésia, ciência que estuda a forma, as dimensões, o campo de gravidade da Terra e suas variações temporais, fundamenta-se em princípios da Matemática, da Física, da Astronomia, e utiliza os avanços tecnológicos da instrumentação e particularmente da Informática para aplicações desses princípios na solução de problemas teóricos e sobretudo práticos.

A Geodésia pode ser dividida em: Geodésia geométrica; Geodésia celeste e Geodésia física (GEMAEL, 1999):

- a Geodésia geométrica trata da determinação de coordenadas geodésicas, com características geométrica, que definem a projeção normal de um ponto da superfície terrestre sobre o modelo elipsoidal de referência. Essas coordenadas geodésicas podem estar associadas a um elipsóide geocêntrico ou local. No caso do GPS, que utiliza o referencial *World Geodetic System 1984 - G873* (WGS84 – G873), o elipsóide adotado é o do *Geodetic Reference System 1980* (GRS80), o que significa elipsóide de revolução geocêntrico (IAG,1980);
- a Geodésia celeste estuda técnicas espaciais visando o posicionamento espacial e informações do campo de gravidade para as áreas de Geodésia e Geofísica (GEMAEL, 1999). As principais técnicas espaciais desenvolvidas para o posicionamento são: *Transit*, *Argos*, *Satellite Laser Ranging* (SLR), *Lunar Laser Ranging* (LLR), *Very Long Baseline Interferometry* (VLBI) e o GPS (WELLS et al., 1986). Há uma técnica utilizada na monitoração da superfície oceânica, denominada altimetria por satélite (WELLS et al., 1986; SEEBER, 1993; TORGE, 2001), cujos objetivos são a representação da topografia oceânica e do campo de gravidade nessa região. Essa técnica

fundamenta-se basicamente na medição da distância entre o satélite e a superfície da água do oceano.

- a Geodésia física estuda o campo de gravidade da Terra e suas aplicações em Geodésia, Geofísica, etc., uma vez que a maioria das medidas geodésicas dependem de algum modo do campo de gravidade de Terra (GEMAEL, 1999). Atualmente, há muitos trabalhos em desenvolvimento na área da Geodésia física visando o aprimoramento do geóide para aplicações do GPS no nivelamento (SÁ et al., 2001).

O posicionamento geodésico convencional, fundamentado na triangulação, usualmente é dividido em geográfico e altimétrico, que são usados na determinação de posições geográficas e altimétricas, respectivamente. Como o objetivo principal deste trabalho é a avaliação de método envolvendo uma técnica espacial aplicada ao posicionamento altimétrico, na próxima Seção serão apresentados os conceitos básicos da altimetria.

### 2.1.1 Altitudes e Altimetria

Para evitar a confusão que geralmente ocorre com os termos usados para designar altitude e diferença de altitude, a diferenciação desses termos será abordada a seguir. A altitude do ponto corresponde a distância entre uma superfície de referência e o ponto em questão. A diferença de altitude é determinada pela diferença entre a altitude de um ponto em relação a outro ponto. A Figura 2.1 mostra as altitudes e diferença de altitude entre os pontos A e B.

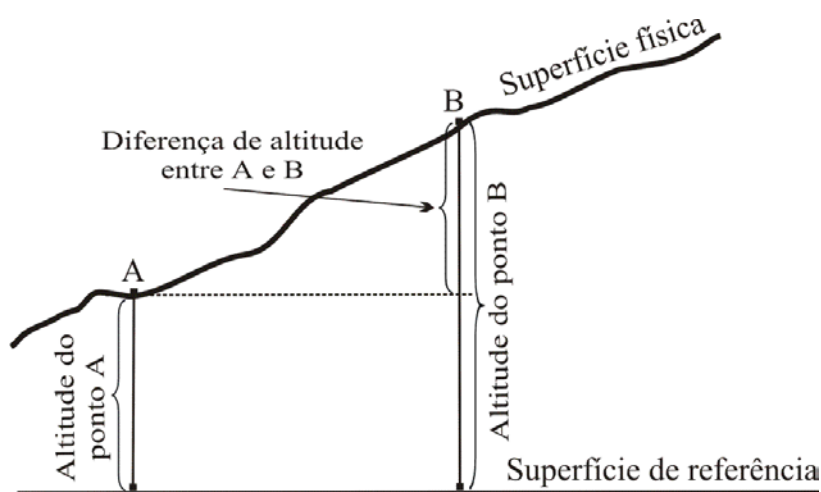


Figura 2.1 – Ilustração da representação da altitude e diferença de altitude.

A Figura 2.2, ilustra as superfícies fundamentais empregadas em Geodésia, as coordenadas geodésica  $(\varphi, \lambda, h)$ , altura geoidal  $(N)$  e a altitude ortométrica  $(H)$  do ponto P e as linhas vertical  $(v)$  e normal  $(n)$ , perpendiculares às superfícies geoidal e elipsoidal, respectivamente e o desvio da vertical  $(i)$ .  $H$  é definida como a distância, contada ao longo da vertical, do geóide a um ponto na superfície física da Terra.  $h$  é a distância, contada ao longo da normal, da superfície elipsoidal a um ponto na superfície física.  $N$  corresponde a distância entre as superfícies geoidal e a elipsoidal, contada sobre a normal, proporcionando a relação entre as altitudes  $H$  e  $h$ . A latitude  $(\varphi)$  é o ângulo formado pela normal que passa pelo ponto e a sua projeção sobre o plano do equador. A longitude  $(\lambda)$  é o ângulo diedro formado pelo meridiano médio de Greenwich  $(G)$  e pelo meridiano do ponto P. O desvio da vertical  $(i)$  é o ângulo formado entre as linhas  $n$  e  $v$  (GEMAEL, 1999).

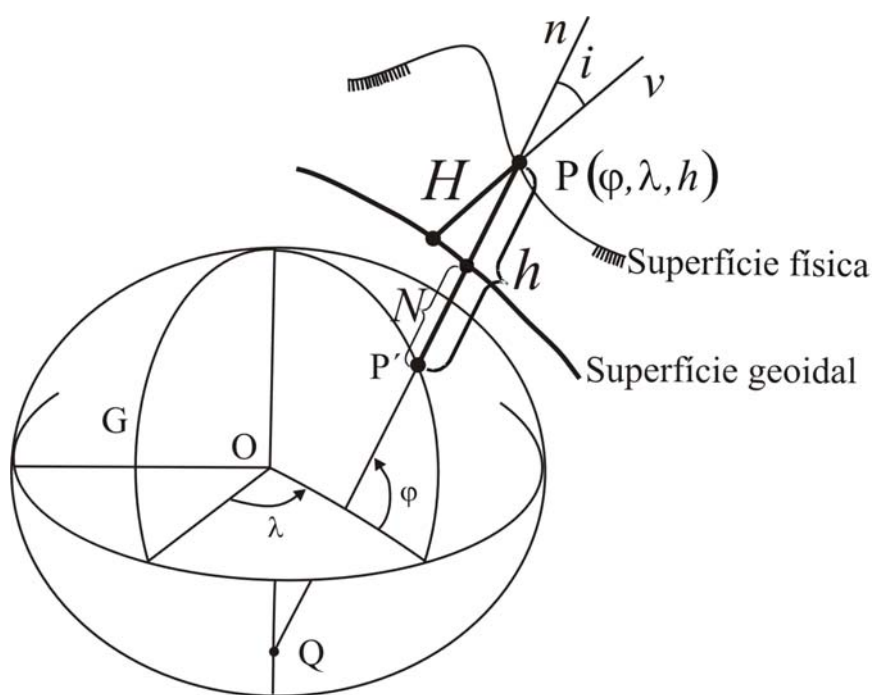


Figura 2.2 – Representação das coordenadas de um ponto na superfície da Terra.

A altimetria trata de métodos e instrumentos empregados na medição da altitude ortométrica e na representação do relevo da superfície física da Terra. Existem vários métodos e instrumentos para a determinação da altitude. Assim, em função do método e do instrumento utilizados, a altimetria ou nivelamento como genericamente é chamado, esse processo de medição pode ser classificado em: geométrico, trigonométrico e barométrico (ESPARTEL, 1980; PINTO, 1988) e mais recentemente, o nivelamento através de técnicas espaciais, especialmente o GPS.

O nivelamento geométrico é o método usado nos levantamentos altimétricos de alta precisão que se desenvolvem ao longo de rodovias e ferrovias. O nivelamento trigonométrico é realizado, usualmente, com o auxílio de estações totais ou com teodolitos. Essa técnica relaciona as medições de distância inclinada (ou horizontal) e o ângulo vertical (ou zenital) entre dois pontos. Assim, o nivelamento trigonométrico baseia-se em: altitude de um ponto conhecido; a distância entre esse ponto e o ponto de interesse; e o ângulo de inclinação entre eles. Essa técnica fornece apoio altimétrico para os trabalhos topográficos locais e é menos preciso que o nivelamento geométrico. É também empregado na determinação de altura de pontos inacessíveis. O nivelamento barométrico relaciona a diferença de pressão atmosférica entre o ponto de interesse e um ponto com altitude conhecida. A utilização desse método é em função da pressão atmosférica, a qual é influenciada pela temperatura do ambiente, umidade relativa e densidade do ar. Essas características variam para o mesmo ponto, o que contribui na imprecisão da altitude determinada. Assim, deve-se empregar essa técnica apenas em regiões onde é impossível utilizar os métodos trigonométrico ou geométrico ou através do GPS ou quando se queira maior rapidez. Informações adicionais quanto aos nivelamentos barométrico e trigonométrico podem ser encontradas em textos especializados, tais como: Espartel (1980); Pinto (1988); Comastri e Tuler (1999) e Kavanhag e Bird (2000).

O nivelamento proporciona a diferença de altitude entre dois pontos da superfície terrestre. Na Figura 2.3, observam-se 4 superfícies, sendo elas: a) superfície física da Terra; b) superfície equipotencial que passa pelo ponto *A*; c) superfície equipotencial que passa pelo ponto *B*; d) superfície de referência (superfície geoidal). Observa-se na mesma figura, a representação das altitudes dos pontos *A* e *B*, assim como a diferença de altura entre ambos os pontos. O termo altitude refere-se a altitude ortométrica, sendo representada por *H*.

Na utilização de uma superfície de referência arbitrária, utiliza-se a terminologia “cota” para a representação de altitudes, a qual não pode ser associada à altitude ortométrica (PINTO, 1988).

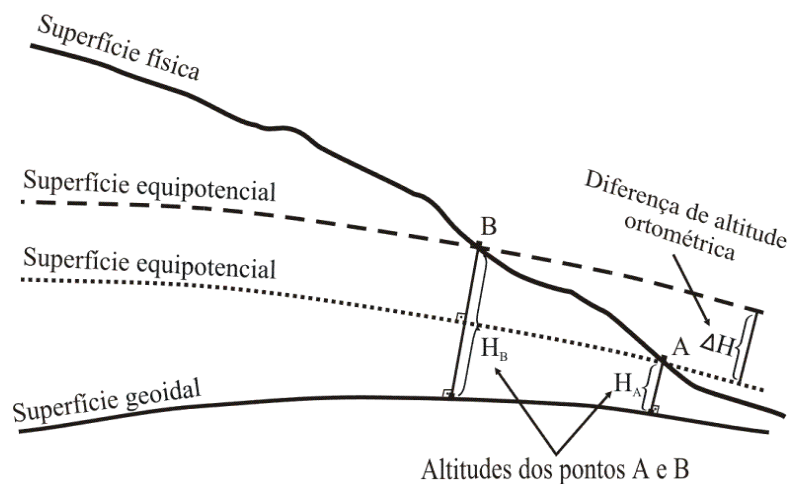
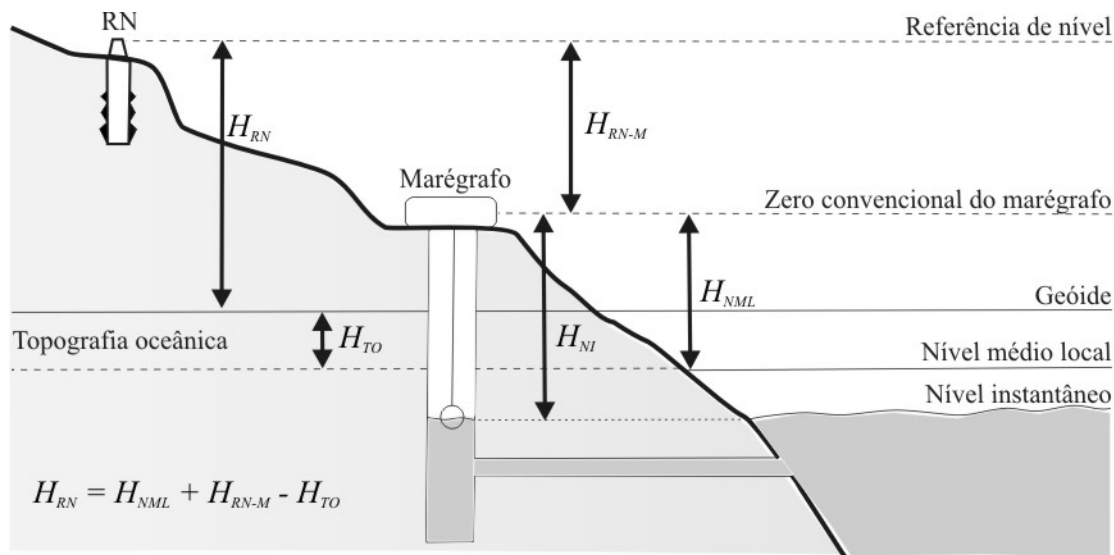


Figura 2.3 – Elementos que definem a altitude.  
 Fonte: Adaptada de Kavanagh e Bird (2000).

O nivelamento consiste na determinação da altitude ortométrica em um ponto, com a medição de desníveis em relação a um ponto de altitude conhecida. A altitude do ponto inicial, determinada com auxílio de marégrafo, constitui o datum altimétrico (KAVANAGH e BIRD, 2000). Na Figura 2.4, ilustra-se o marégrafo de um datum vertical, identificado por RN.



- $H_{RN}$  altitude da RN
- $H_{RN-M}$  desnível entre a RN e o marégrafo
- $H_{NI}$  desnível entre a superfície instantânea e o zero convencional (marégrafo)
- $H_{TO}$  altitude da topografia oceânica
- $H_{NML}$  desnível entre a superfície média local e o zero convencional (obtido pela análise harmônica a partir de  $H_{NI}$ )

Figura 2.4 – Estabelecimento da altitude ortométrica do datum vertical.  
 Fonte: Adaptada de Vanicek e Krakiwsky (1986).

Considerando as águas dos oceanos como um material homogêneo movendo-se livremente e sujeita apenas à força de gravidade da Terra; ao atingir o estado de equilíbrio, a superfície idealizada dos oceanos representa uma superfície de nível (superfície equipotencial) do campo de gravidade; essa superfície idealizada, que se prolonga através dos continentes, é definida como superfície geoidal (TORGE, 2001).

O método tradicional mais preciso para a obtenção da altitude ortométrica é o nivelamento geométrico, com a correção ortométrica obtida a partir de informações gravimétricas. As linhas de nivelamento, estendem-se ao longo de vias terrestres; são niveladas e contraniveladas com visadas máximas de 100 m e materializadas no terreno pela implantação de Referências de Nível (RNs). Essas RNs são constituídas por uma chapa de latão chumbada em blocos de concreto, soleira de portas de igrejas, base de monumentos, plataforma de estações ferroviárias, etc. É um processo trabalhoso, lento e oneroso, que necessita um mínimo de quatro pessoas para executá-lo (GEMAEL, 1988).

O nivelamento geométrico tradicional tem pelo menos duas limitações básicas, mesmo com a utilização de equipamentos modernos. A primeira está relacionada ao custo para a realização do trabalho. A segunda, diz respeito ao tempo de execução para a realização do nivelamento. Em ambos casos, o custo e o tempo são altos, pois são necessários vários operadores e, além disso, requer cuidados técnicos para evitar a ocorrência e a propagação de erros sistemáticos. Algumas recomendações importantes são bastantes conhecidas como, por exemplo, o comprimento de visadas de ré e vante devem ser aproximadamente iguais; devem ser evitadas visadas maiores que 100 m, sendo ideal o comprimento de 60 m, entre outras recomendações (IBGE, 1998a).

Pode-se considerar que o nivelamento geométrico é uma técnica simples de ser empregada. Com o auxílio de nível óptico, situado em um ponto qualquer, determina-se a diferença de altitude (desnível) entre dois pontos, através de leituras feitas em miras graduadas. Essas miras são instaladas em uma estação com altitude ortométrica conhecida (ponto A – denominada de ré) e a segunda no ponto de interesse (ponto B - denominada de vante). A determinação da altitude do ponto B é obtida a partir da altitude do ponto A e do desnível medido.

$$H_B = H_A + \Delta H_{AB} \quad (2.1)$$

onde  $\Delta H_{AB}$  representa o desnível entre os pontos A e B;  $H_A$  e  $H_B$  correspondem às altitudes ortométricas nos pontos A e B, respectivamente.

A Figura 2.5 ilustra os elementos de uma rede de nivelamento. Essa rede é formada por polígonos fechados e/ou justapostos. O trecho entre duas RNs consecutivas corresponde à seção; as seções formam a linha; as linhas formam o perímetro e os perímetros formam a rede de nivelamento. As RNs extremas de cada linha são denominadas pontos nodais. (BRASIL, 1975; IBGE, 1998a).

- os comprimentos das seções correspondem ao trajeto de 1 a 3 km, que são niveladas (seção simples) e/ou contraniveladas (seção dupla);
- a linha tem seu comprimento variando de 50 a 100 km;
- o perímetro dos polígonos varia de 200 a 400 km.

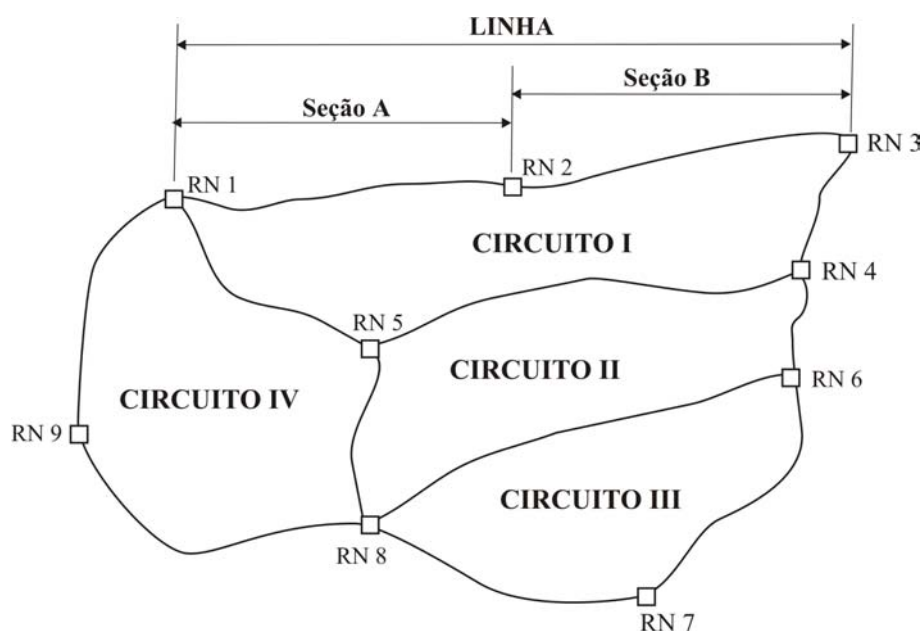


Figura 2.5 – Esquema da Rede de Nivelamento.

Na Tabela 2.1, são apresentadas as especificações segundo as quais deve ser desenvolvido o nivelamento geométrico. O erro padrão máximo é definido para uma linha após o ajustamento, e a qualidade dos trabalhos deverá ser controlada através das diferenças entre o nivelamento e o contranivelamento, seção a seção e acumulado na linha. Esse controle é definido para a seção, linha e perímetro do circuito. A manutenção desses controles permite alcançar, após o ajustamento, os valores estipulados para a precisão de cada classe. Nessa tabela “*k*” representa o comprimento da linha, em quilômetros (IBGE, 1998a).

Tabela 2.1 – Especificações para nivelamento geométrico do Sistema Geodésico Brasileiro

Classificação	Alta Precisão	Precisão	Precisão	Topográfico
Aplicação	Fundamental	Área mais desenvolvida	Área menos desenvolvida	Local
Erro Padrão Máximo	$2mm \times \sqrt{k}$	$3mm \times \sqrt{k}$	$4mm \times \sqrt{k}$	$6mm \times \sqrt{k}$
Diferença máxima aceitável entre o nivelamento e o contranivelamento de uma seção	$3mm \times \sqrt{k}$	$6mm \times \sqrt{k}$	$8mm \times \sqrt{k}$	$12mm \times \sqrt{k}$
Diferença máxima aceitável entre o nivelamento e o contranivelamento de uma linha	$4mm \times \sqrt{k}$	$6mm \times \sqrt{k}$	$8mm \times \sqrt{k}$	$12mm \times \sqrt{k}$
Valor máximo para a razão entre a discrepância acumulada e o perímetro do circuito	0,5 mm / km	5 mm / km	5 mm / km	10 mm / km

Fonte: IBGE (1998a)

### 2.1.2 Altitude Ortométrica no Brasil

A altitude oficialmente adotada no Brasil, apesar de ser chamada ortométrica, é obtida através do nivelamento de precisão, sem a correção ortométrica padrão, que é calculada a partir de informações gravimétricas. Assim, essas altitudes são determinadas por meio da soma dos desníveis obtidos no nivelamento, mediante as correções do não paralelismo das superfícies equipotenciais (GEMAEL, 1999). Como já foi visto, a altitude ortométrica representa a separação entre a superfície física e a equipotencial que coincide com o nível médio dos mares, teoricamente em repouso, que se prolonga através dos continentes, isto é, o geóide. Em consequência disso, é usual a denominação popular de “altitude em relação ao nível do mar”. A altitude ortométrica relaciona-se com o campo de gravidade através da correção ortométrica e, portanto, constitui uma grandeza dotada de significado físico, empregada na solução de vários problemas cotidianos principalmente aqueles que dependem da distribuição de massa da Terra verdadeira (saneamento, mapeamento, planejamento urbano, etc.).

Gemael (1999) apresenta o desenvolvimento da expressão para a correção relativa ao não paralelismo das superfícies equipotenciais, que deve ser aplicada à altitude ortométrica nos levantamentos altimétricos, sendo expressa por.

$$C = 1542 * 10^{-9} H_M \Delta\varphi' \text{sen } 2\varphi \quad (2.2)$$

onde  $H_M$  é altitude média da linha nivelada, em metros;  $\Delta\varphi'$  é a diferença de latitude entre os pontos, em minutos de arco; e  $\varphi$  é latitude média do trecho.

Freitas e Blitzkow (1999) apresentam também a mesma expressão (2.2), para a correção do não paralelismo das superfícies equipotenciais, onde  $H_M$  é definido por.

$$H_M = \frac{H_0 S_0 + H_n S_{n-1} + \sum_{i=1}^{n-1} H_i (S_{n-1} + S_i)}{2 \sum_{i=0}^{n-1} S_i} \quad (2.3)$$

onde  $S_0$  é a distância do ponto inicial ao 2º ponto da linha e  $S_{i-1}$  corresponde a distância entre os dois últimos pontos da linha.

Freitas e Blitzkow (1999) e Gemael (1999) afirmam que a expressão (2.2) é adotada no Brasil e aplicada diretamente aos desníveis brutos, medidos nos nivelamentos de precisão, para a correção do não paralelismo das superfícies equipotenciais.

A Figura 2.6 ilustra a altitude ortométrica do ponto P; e sua definição matemática representada pela expressão (2.4). A impossibilidade de se obter o valor médio da gravidade ( $g_m$ ) no interior da crosta mostra o caráter puramente teórico dessa altitude, sendo que a determinação da  $H$  é possível a partir da obtenção de valores da gravidade sobre a superfície terrestre (GEMAEL 1999).

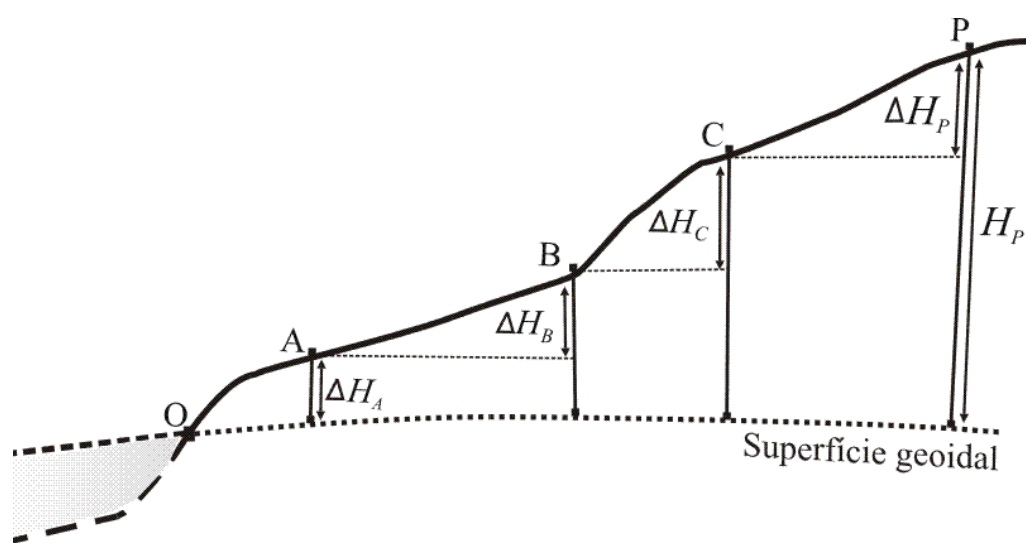


Figura 2.6 – Representação da altitude ortométrica.  
Fonte: Adaptada de GEMAEL (1999)

$$H_i = \frac{\sum g_i \Delta H_i}{g_m} \quad (2.4)$$

onde  $\Delta H_i$  é o desnível observado;  $g_i$  é a gravidade medida em cada seção nivelada e  $g_m$  é o valor médio da gravidade entre as superfícies terrestre e geoidal.

### 2.1.3 Determinação da altitude ortométrica através do GPS

A obtenção da altitude ortométrica a partir da geométrica, fornecida pelas técnicas espaciais (GPS, GLONASS, Galileo)<sup>2</sup>, envolve dados sobre o comportamento do geóide em relação ao elipsóide de referência. Isto implica em conhecer as ondulações do geóide na área de trabalho. Combinações de modelos do geopotencial com anomalias gravimétricas e modelos topográficos digitais podem ser utilizados para a determinação de modelos geoidais locais e regionais com precisão relativa melhor que 3,5 ppm (SÁ e MOLINA, 1995; PESSOA, 1997; SOUZA, 2002).

O GPS proporciona altitude de natureza geométrica, ou seja, não existe ligação com o campo de gravidade da Terra. Contudo, a sua utilização para a representação altimétrica é possível com o uso da altura geoidal no ponto em questão, elemento que reflete o comportamento do campo da gravidade terrestre. Desta forma, a combinação da altitude geométrica com a altura geoidal proporciona a altitude ortométrica, que possui significado físico. A altura geoidal é calculada a partir de modelos geoidais na forma digital.

## 2.2 Sistema Geodésico Brasileiro

A missão institucional do IBGE, através do Departamento de Geodésia, consiste na implantação e manutenção das estruturas planimétrica e altimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), tarefa atribuída, inicialmente, através do Decreto-Lei N° 9210, de 29/04/1946, e atualmente pelo Decreto-Lei N° 243, de 28/02/1967. Compete ao IBGE, fixar as diretrizes e bases da Cartografia Brasileira e dar outras providências, como Leis e Decretos, preceituando e estabelecendo um sistema planialtimétrico único por meio de pontos de controle, materializados no terreno para servir de base no desenvolvimento de trabalhos geodésicos e cartográficos, constituindo-se um referencial único para determinação de coordenadas e altitudes em território nacional. (IBGE, 1998a).

Na implantação inicial do SGB, foram utilizados procedimentos e instrumentos hoje considerados como clássicos em Geodésia. O primeiro ajustamento da rede planimétrica do SGB definiu o *Datum Córrego Alegre*. O segundo datum adotado foi o *Astro Datum Chuá*, oriundo de estudos para aprimoramento do geóide, que serviu como um datum provisório para implantação de um “sistema ótimo” para a América do Sul. O terceiro e atual datum adotado no Brasil é o *South American Datum 1969* (SAD69), cujo vértice origem é em Chuá, próximo de Uberaba (MG). Nas três definições do SGB, foi imposta a coincidência das

---

<sup>2</sup> GLONASS e Galileo: Sistemas russo e europeu, respectivamente, similar ao GPS (MONICO, 2000).

superfícies do elipsóide e do geóide (altura geoidal nula), tendo as respectivas origens materializadas sobre a superfície terrestre, caracterizando assim sistemas locais (não geocêntrico).

Como consequência do avanço das técnicas de posicionamento na década de 70, as redes planimétricas passaram a ter o caráter tridimensional, marcado como a era da Geodésia espacial, iniciada pelo sistema TRANSIT e substituída pelo GPS. Deste modo, a terminologia "rede planimétrica" deve ser associada à "rede geodésica".

Detalhes quanto a implantação inicial do SGB podem ser encontrados em: Rodriguez (1977); Mello (1986); IBGE (1996); Costa (1999).

### *2.2.1 Rede Geodésica Brasileira*

O primeiro ajustamento aplicado à rede planimétrica continental do SAD69, ocorreu na década de 60, antes da sua adoção pelo Brasil. A característica fundamental neste ajustamento foi o fato de que as cadeias de triangulações dos países que integravam o SAD69, tiveram seus dados homogeneizados, adotando-se assim os mesmos tratamentos. Outra condição imposta ao ajustamento, foi à divisão por área, em virtude da extensão física da rede e das limitações computacionais. Informações do primeiro ajustamento aplicado ao SAD69 podem ser encontrados em Costa (2000).

Como consequência dos processos de estabelecimento e cálculo das antigas redes geodésicas, os erros sistemáticos foram propagados através de diversos ajustamentos. Desse modo, ocorreu o acúmulo de distorções na rede, causados pela fraca geometria das redes clássicas, ausência de um modelo geoidal preciso (compatível com o GPS) e os métodos de ajustamentos. Devido ao acúmulo de distorções e o emprego de técnicas espaciais (DOPPLER e GPS) o IBGE realizou o segundo ajustamento da rede geodésica do SAD69, dando origem assim, a uma nova materialização do SAD69 (realização 1996). Detalhes do segundo ajustamento aplicado ao SAD69 podem ser encontrados em IBGE (1996) e Costa (1999). Um estudo quanto a metodologia para a transformação entre as duas materializações do SGB, associadas ao SAD69 foi realizado por Oliveira (1998).

### 2.2.2 Rede Altimétrica

O Sistema Altimétrico Brasileiro (SAB), constituído pelo conjunto de Referências de Nível (RNs), materializadas no terreno, com o objetivo de proporcionar a base altimétrica para os trabalhos de nivelamento referidos ao datum (origem) altimétrico. O datum vertical corresponde ao ponto cuja altitude ortométrica está diretamente ligada à equipotencial, que coincide com o NMM (nível médio do mar) local, materializada através de um marégrafo (Figura 2.4). A partir desse datum são obtidas as altitudes das RNs que corrigida da topografia marítima, constituem a rede altimétrica.

No Brasil, o datum altimétrico é materializado pela superfície equipotencial que coincide o NMM local, definido pelas observações maregráficas tomadas na baía de Imbituba (SC) (IBGE, 1998a).

No início da implantação da Rede de Nivelamento Fundamental do Brasil (RNFB), foi adotado, como datum, a média das observações do nível médio do mar obtido para o período de um ano (1919-1920) no Marégrafo de Torres. Em 1958 o datum altimétrico Brasileiro passou a ser referido ao Marégrafo de Imbituba, que na época contava com nove anos de funcionamento ininterrupto (MELLO, 1986). O datum altimétrico foi materializado pela RN 4X, localizado junto ao prédio da oficina da Companhia Docas de Imbituba, cuja altitude ortométrica corresponde a 8,6362 m (IBGE, 1998a).

A Figura 2.7 mostra as diferenças entre os NMM locais referido ao Datum de Imbituba/SC, sendo que a localização do Datum de Imbituba, no extremo sul do país, acarreta maiores diferenças (até 25 cm) em relação aos níveis médios locais na costa norte. Além disso, nas regiões mais distantes a propagação de erros do nivelamento geométrico também atinge valores elevados (13 cm na costa norte) (LUZ e GUIMARÃES, 2001). Como se observa na Figura 2.8; a porção de rede no Estado do Amapá refere-se a um Datum local, Santana (Figura 2.9), pois o Rio Amazonas impossibilita a realização do nivelamento geométrico nessa região.

Verifica-se na Figura 2.7 que a magnitude das diferenças entre os marégrafos instalados na costa brasileira é consideravelmente grande. Essas diferenças provavelmente estão relacionadas com as variações locais (regionais) do nível médio do mar e com o período de observação utilizado na determinação do nível zero de cada marégrafo.

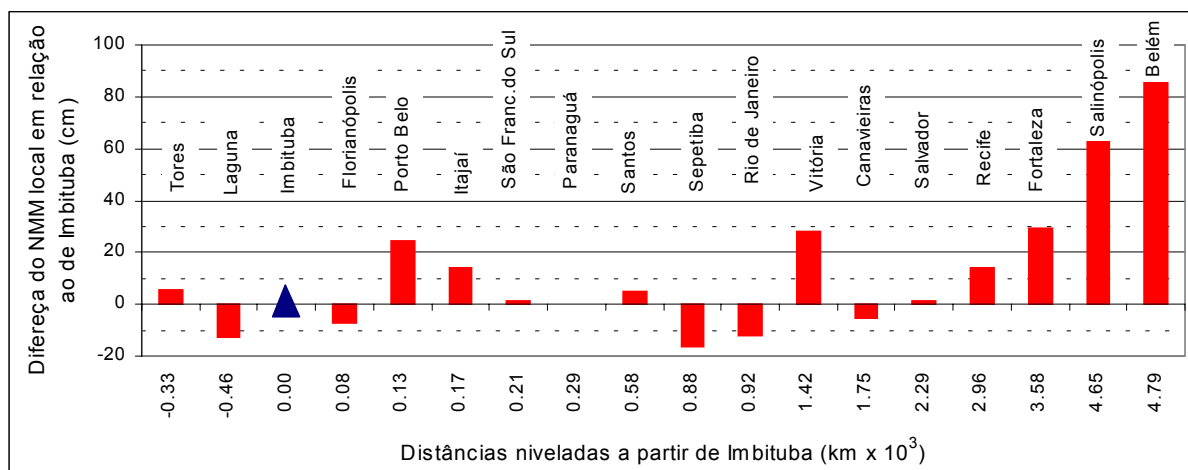


Figura 2.7 – Diferenças entre os níveis médios do mar locais e o Datum de Imbituba.

Fonte: Adaptada de Alencar<sup>3</sup> apud Luz e Guimarães, 2001

A implantação da RNFB teve início em 1945, e atualmente é constituída de 65 mil RNs, ao longo das principais rodovias e ferrovias brasileiras, ultrapassando 160 mil quilômetros de nivelamento e contranivelamento geométricos. A Figura 2.8 mostra a distribuição geográfica das linhas niveladas que formam a RNFB, e as estações maregráficas permanentes e temporárias, que atualmente integram a rede maregráfica brasileira. As estações localizadas nas cidades de Santana (AP), Fortaleza (CE), Salvador (BA), Macaé (RJ) e Imbituba (SC) foram ocupadas durante a Campanha SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000) (LUZ e GUIMARÃES, 2001).

No período de 1948 a 1975, a RNFB foi submetida a oito ajustamentos, sendo que nos três primeiros foram utilizadas todas as observações disponíveis; e os seguintes usaram a metodologia de fixar as altitudes já ajustadas, caracterizando os ajustamentos da rede em blocos, maiores detalhes em Ribeiro e Luz (1991).

O final da década de 70 marcou o início do primeiro ajustamento automatizado da RNFB, caracterizando-se pela preparação dos arquivos com as altitudes ortométrica e as respectivas informações de resumo de nivelamento. Contudo, não foi possível realizar um ajustamento único com todas as linhas da rede, optando-se novamente por um novo particionamento da rede em blocos. Esse novo ajustamento caracterizou-se pela composição de uma rede inicial de macro-circuitos, evitando-se a ocorrência de distorções excessivas (RIBEIRO e LUZ, 1991). As diferenças entre os resultados desse Ajustamento Altimétrico Global Preliminar (AAGP) e os dos ajustamentos manuais (1948 e 1975) são ilustradas na Figura 2.9.

<sup>3</sup>ALENCAR, J. C. M. **Datum Altimétrico Brasileiro**. Caderno de Geociências / Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Diretoria de Geociências – n. 5 (1990) - Rio de Janeiro: IBGE, 1990.



Figura 2.8 – Redes Altimétrica e Maregráfica do SGB  
 Fonte : Adaptado do IBGE (2002d)

Na Figura 2.9, observa-se que nas áreas em que havia RNs dos ajustamentos manuais, as diferenças são da ordem de 25 cm. Nas regiões onde não havia RNs nos ajustamentos manuais, a diferença chega a mais de 80 cm (LUZ e GUIMARÃES, 2001).

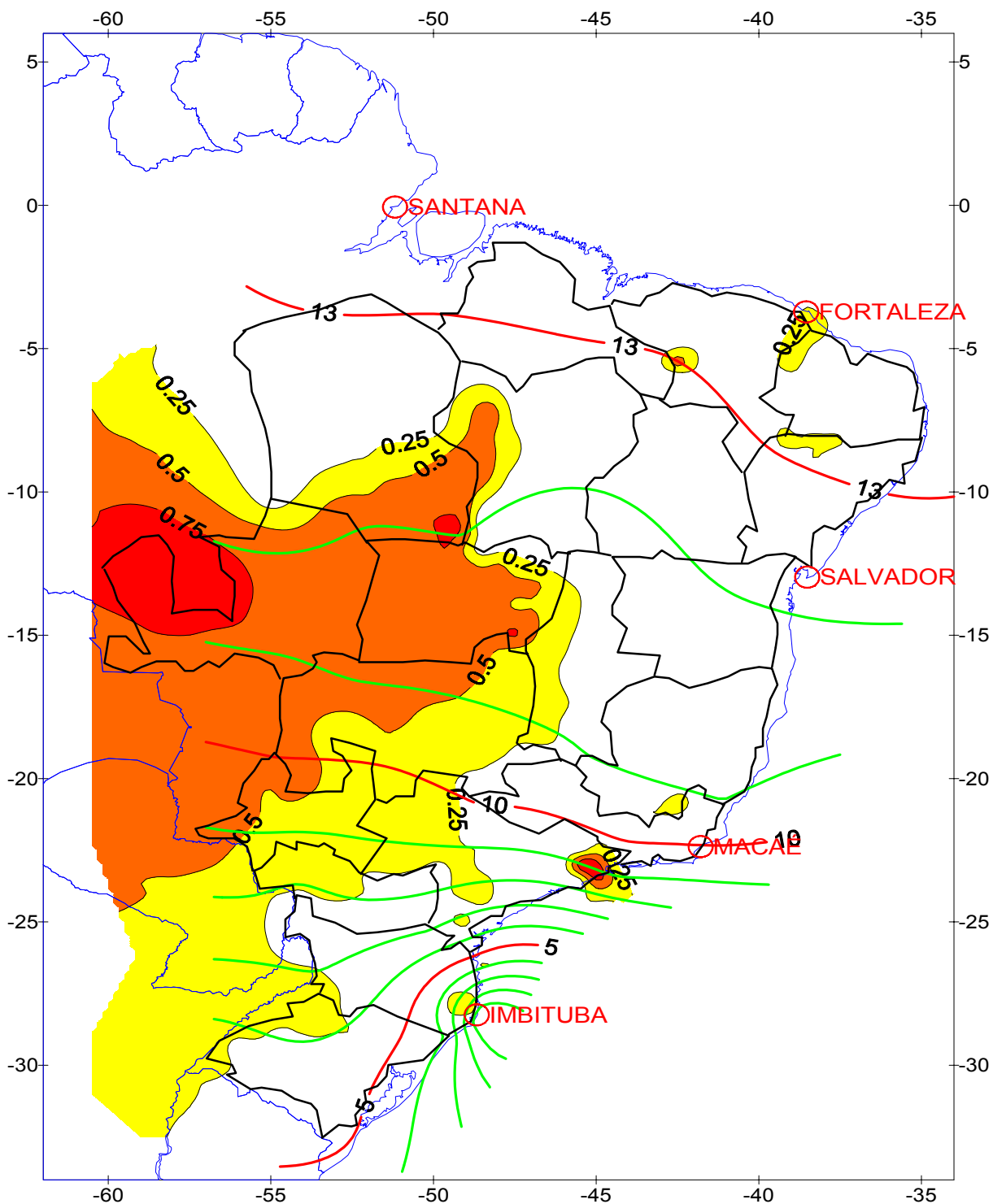


Figura 2.9 – Resultados do Ajustamento Altimétrico Global Preliminar (AAGP).  
 Fonte: Adaptada de Luz e Guimarães (2001)

- (a) em preto, a rede de macro-circuitos do AAGP;
- (b) em escala de cores (até 25cm, sem cor; de 25 a 50cm, em amarelo; de 50 a 75, em laranja; e acima de 75, em vermelho), são mostradas as diferenças entre as novas altitudes e as altitudes existentes;
- (c) em verde e vermelho, observam-se as isolinhas de precisão centimétrica das altitudes do AAGP.

### 2.2.3 Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo

A Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) representa o segmento ativo da estrutura geodésica no Brasil, o que dispensa o usuário da ocupação física dessas estações na realização do posicionamento relativo estático. Ao utilizar uma das estações da RBMC como referência, o usuário determina as suas coordenadas no mesmo sistema da RBMC, que atualmente é o SAD69. O rastreamento contínuo de satélites GPS, que vem sendo realizado, possibilita o refinamento das coordenadas e a monitoração de suas respectivas estações. Com a coleta permanente de dados nas estações da RBMC é possível quantificar a variação temporal das coordenadas do SGB, proporcionando, assim, um referencial continuamente atualizado aos usuários. Além disso, estudos do teor do vapor d'água na atmosfera podem ser conduzidos, denominando-se hoje de meteorologia por GPS (SAPUCCI, 2001).

Atualmente, a RBMC é composta por 15 estações equipadas com receptores GPS de dupla frequência, sendo 14 estações operadas diretamente pelo IBGE e 1 estação pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). As estações localizadas em Brasília (DF) e Fortaleza (CE) fazem parte da rede do *International GPS Service* (IGS).

No caso da utilização dessas estações, o usuário deve solicitar ao IBGE, através do Departamento de Geodésia, os arquivos de interesse, correspondentes ao dia de rastreamento. Esses arquivos contêm os dados de cada estação, coletados durante as 24 horas, e são disponibilizados no formato *Receiver Independent data Exchange format* (RINEX), que podem ser utilizados por qualquer *software* que processa dados GPS. Os arquivos também podem ser obtidos via *File Transfer Protocol* (FTP), disponível em IBGE (2002a). As duas estações que integram a rede IGS utilizam o intervalo para a coleta dos dados GPS a cada 30 segundos, enquanto que as outras estações utilizam o intervalo de 15 segundos.

A Figura 2.10 mostra a distribuição espacial das estações da RBMC, sendo que a maioria encontra-se em operação desde 1997, exceto CRATO, RIO DE JANEIRO e SANTA MARIA, que entraram na fase operacional em maio de 2000, com a segunda realização do Projeto SIRGAS (COSTA e FORTES, 2000). As estações identificadas por SIVAM, correspondem a estações previstas do Projeto Sistema de Vigilância da Amazônia (CCSIVAM, 2002).



Figura 2.10 – Estações da RBMC.  
 Fonte: Adaptado do IBGE (2002d)

#### 2.2.4 Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul

A evolução das técnicas espaciais de posicionamento, possibilitou o aprimoramento de sistemas de referência cada vez mais precisos. Com isso, o Brasil juntamente com os demais países Sul-Americanos, estão realizando estudos sobre as possibilidades de adoção de um novo sistema geodésico unificado para a América do Sul. Outro fator importante é a provável escolha de um sistema geocêntrico, o que permitirá compatibilizar os trabalhos geodésicos no continente.

O projeto, designado inicialmente de SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul), foi iniciado na Conferência Internacional para definição de um Datum Geocêntrico para a América do Sul, realizada em Assunção (Paraguai), de 4 a 7 de outubro de 1993, a convite da *International Association of Geodesy* (IAG), do *Pan*

*American Institute of Geography and History* (IPGH) e da *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA). Participaram dessa conferência, os representantes das entidades patrocinadoras, de quase todos os países sul-americanos. Informações complementares podem ser encontradas em Fortes (2000) e IBGE (1997).

Um experimento para integrar a Rede Geodésica Brasileira ao SIRGAS, foi realizado através do ajustamento simultâneo da rede. Nesse ajustamento foi utilizado o *software Geodetic Adjustment using Helmert Blocking of Space and Terrestrial data* (GHOST) que através da técnica de *Helmert Blocking* e da modelagem tridimensional é capaz de realizar ajustamentos combinados de redes GPS e clássicas de abrangência continental (COSTA, 1999). Adotou-se o elipsóide GRS80 e a rede brasileira foi injuncionada, na época, às 11 estações SIRGAS do território nacional. Os dados espaciais e terrestres foram combinados, proporcionando as coordenadas ajustadas de aproximadamente 5.000 estações (COSTA et al., 1999).

O sistema de referência SIRGAS é uma materialização do *International Terrestrial Reference System* (ITRS) na América do Sul, através das estações GPS, constituindo uma rede continental vinculada ao *International Terrestrial Reference Frame* (ITRF). O referencial geocêntrico possui os eixos orientados segundo o ITRS e o modelo terrestre recomendado no GRS80.

As campanhas de coletas de dados GPS ocorreram em dois períodos: a primeira foi entre 26 e 14 junho de 1995 (época 1995,4), a segunda entre 10 e 19 de maio de 2000 (época 2000,4). Com o processamento dos dados GPS e o ajustamento da rede, que constituiu a primeira realização do SIRGAS (época 1995,4), foram obtidas as coordenadas das estações com precisão da ordem de 4 mm (IBGE, 1997; COSTA et al., 1999).

No Brasil, a maioria das estações que integram o SIRGAS pertence à RBMC, o que facilita a avaliação temporal do SIRGAS. Há uma programação do IBGE com campanhas para atualização do SIRGAS a cada 5 anos (IBGE, 2000a).

Na Figura 2.11, encontra-se a distribuição das estações que fizeram parte da segunda realização SIRGAS. As informações referentes à identificação, à localização das estações e os respectivos receptores, usados na segunda realização SIRGAS, podem ser obtidas em IBGE (2002c). Como essa campanha envolveu estações localizadas na América do Sul, América Central, América do Norte e região do Caribe, o significado da sigla SIRGAS foi alterado de “**S**istema de **R**eferência **G**eocêntrico para a **A**mérica do **S**ul” para “**S**istema de **R**eferência **G**eocêntrico para as **A**mérica**S**”.

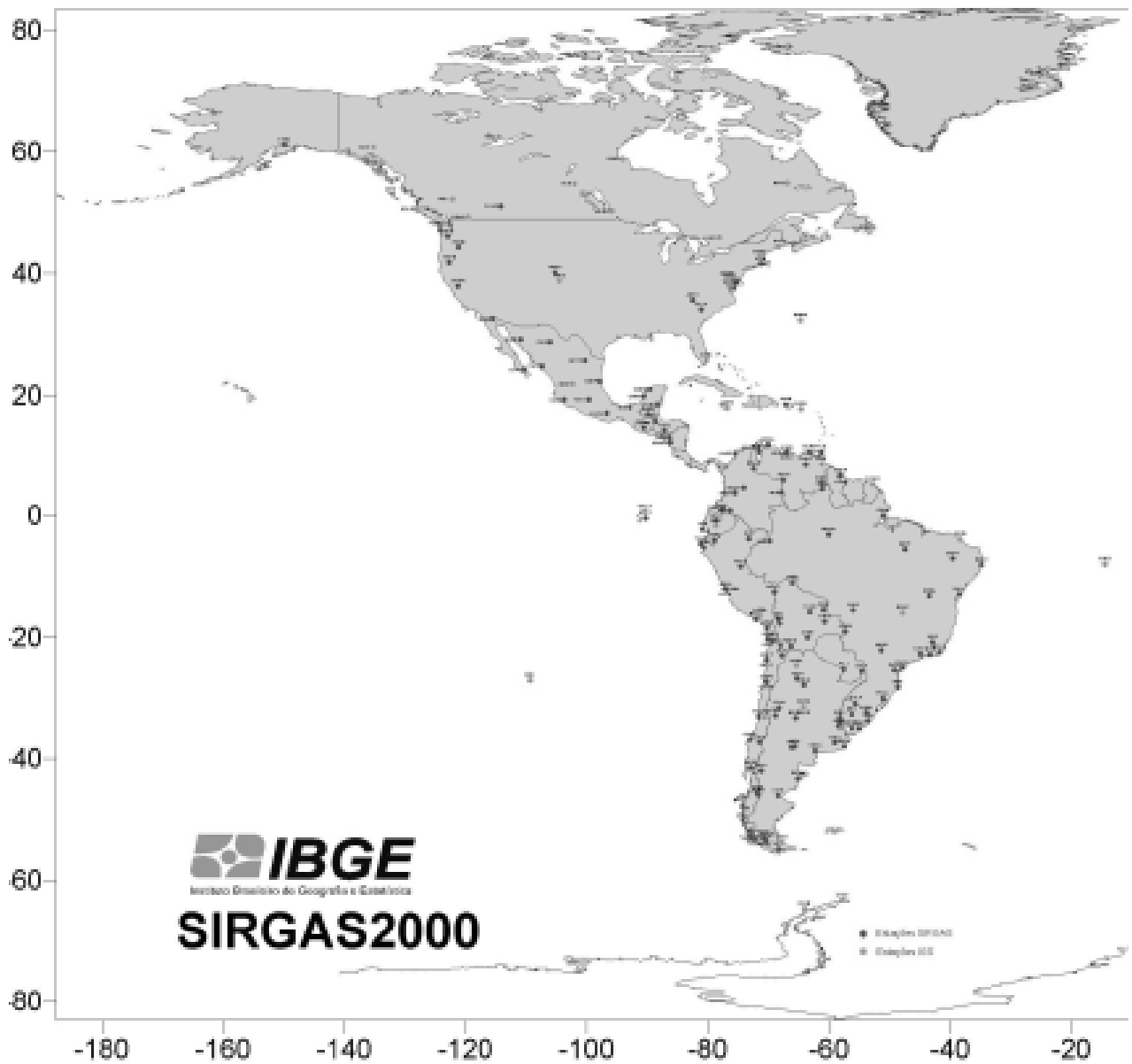


Figura 2.11 – Estações SIRGAS 2000.  
 Fonte: Adaptado do IBGE (2002d)

### 2.3 Conceitos básicos do GPS

O GPS é um sistema de rádio-navegação baseado na transmissão de sinais pelos satélites que constituem o sistema, e na recepção desse sinal pelo observador. O sistema é operado pelo *U. S. Department of Defense* (DoD), com o objetivo de ser o principal sistema de navegação das forças armadas norte americanas, proporcionando posicionamento em tempo real. Informações adicionais podem ser encontradas em textos especializados, tais como Wells et al. (1986); Seeber (1993); Leick (1995); Parkinson e Spilker Jr. (1966); Teunissen e Kleusberg (1998) e Monico (2000).

Um aspecto importante das técnicas espaciais de posicionamento, comparadas com as convencionais, está em independência da intervisibilidade e das condições climáticas.

A principal tarefa dos satélites do sistema GPS consiste em transmitir sinais com informações de navegação e identificação, que são decodificados pelos receptores GPS. Atualmente, essas informações são moduladas em duas frequências. Cada satélite transmite sinais em duas frequências da banda L do espectro, denominadas L1 e L2. As ondas são geradas através da multiplicação eletrônica da frequência fundamental ( $f_0$ ) de 10,23 MHz, produzida por osciladores altamente estáveis (relógios atômicos de césio ou rubídio), com estabilidade entre  $10^{-12}$  e  $10^{-13}$  segundos. A Figura 2.12 ilustra os sinais do GPS para as frequências L1 e L2, a partir da frequência fundamental.

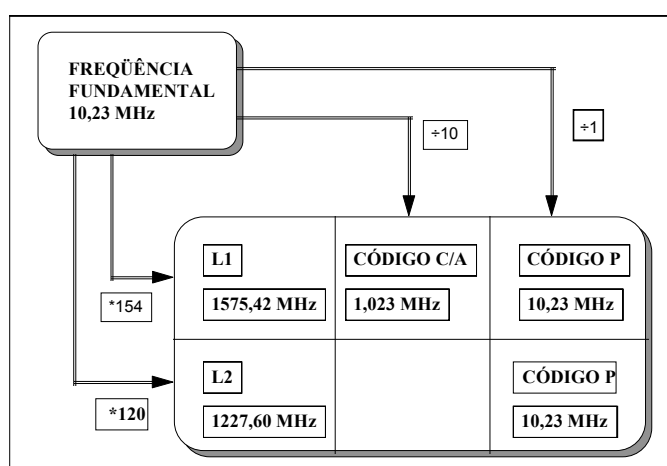


Figura 2.12 – Estrutura básica dos sinais GPS.  
Fonte: Adaptada de Monico (2000)

A portadora L1 é modulada em fase com os dois códigos, conhecidos como *coarse/acquisition* (C/A code) e código preciso (P code). Já a portadora L2 é modulada apenas pelo código P. Em ambas as portadoras também são moduladas as mensagens de navegação (MONICO, 2000; SPILKER Jr., 1996).

O código P é reservado para uso dos militares norte americanos e/ou os usuários autorizados, que corresponde a um código criptografado por um processo denominado de *Anti-Spoofing* (AS). O código P criptografado é denominado de código Y que corresponde a combinação dos códigos P e W. (MONICO, 2000). Quanto ao código C/A, de fácil aquisição, é utilizado principalmente pelos usuários civis e não é criptografado.

Os receptores GPS podem ser classificados de acordo com os tipos de dados que proporcionam, ou seja: código C/A; código C/A e portadora L1; o código C/A e portadoras L1 e L2; códigos C/A e P e portadoras L1 e L2; portadora L1; e portadoras L1 e L2. Mais informações sobre a classificação dos receptores GPS podem ser encontradas em Seeber (1993) e Monico (2000).

Estudos estão sendo feitos para a introdução de uma terceira frequência nos satélites do sistema GPS. A parte do processo de modernização envolve alteração da estrutura dos sinais transmitidos pelos satélites. Um novo sinal para uso da comunidade civil com frequência igual a 1176,45 MHz será transmitido pelos novos satélites que serão colocados em órbita. Uma outra mudança está relacionada com a alteração da modulação do sinal L2, que terá incluído o código civil (SPILKER Jr., 1996; SANTOS, 2000).

### 2.3.1 Erros que degradam a precisão do posicionamento GPS

Não há dúvidas que, atualmente o GPS é um dos sistemas mais confiável para a realização de posicionamento. Mesmo assim, suas observações contém os “inevitáveis erros de medida”, classificados em erros sistemáticos, aleatórios e grosseiros. Os erros são causados por falhas humanas e/ou imperfeição de equipamentos e/ou influência das condições ambientais. Os erros sistemáticos são aqueles cuja causa é conhecida, podendo ser reduzidos por técnicas especiais de observação e/ou processamento. Erros aleatórios são inevitáveis e são considerados uma característica da observação. Enquanto que os erros grosseiros são oriundos de falhas humanas e devem ser eliminados (GEMAEL, 1994).

Na Tabela 2.2, apresentam-se os erros sistemáticos que degradam o posicionamento através do GPS, associados às respectivas fontes. Esses efeitos não mudam a

precisão com que o receptor faz a observação (ou sua réplica), mas sim a precisão do posicionamento da estação (coordenadas).

Tabela 2.2 – Fontes e efeitos dos erros envolvidos no GPS

Fonte	Erros
Satélite	Atraso entre as duas portadoras no <i>hardware</i> do satélite Erros orbitais Erro do relógio Relatividade
Propagação do sinal	Refração Troposférica Refração Ionosférica Perdas de ciclos Rotação da Terra Multicaminho ou reflexão dos sinais
Receptor/Antena	Erro do relógio Erro entre os canais Centro de fase da antena
Estação	Erro das coordenadas Multicaminho Marés terrestres Movimento do Pólo Cargas dos oceanos Pressão atmosférica

Fonte: Adaptada de Monico (2000).

O tratamento desses erros é de extrema importância na obtenção de resultados de alta precisão. Muitos deles são praticamente eliminados no posicionamento relativo. Outros são reduzidos na combinação linear de observação (refração ionosférica), ou adoção de modelo matemático adequado (refração troposférica).

Nesta seção, serão descritos brevemente os erros envolvidos com a atmosfera, centro de fase da antena e os relacionados com a estação de referência (multicaminho e coordenadas). Maiores detalhes quanto as fontes e efeitos dos erros envolvidos no GPS podem ser encontrados em Seeber (1993); Leick (1995) e Monico (2000).

Em relação à propagação dos sinais GPS, a atmosfera terrestre pode ser dividida em troposfera e ionosfera. A ionosfera caracteriza-se principalmente pela formação de elétrons e moléculas eletricamente carregadas; está aproximadamente entre 50 a 1000 km acima da superfície terrestre. A troposfera localiza-se entre a superfície terrestre e a ionosfera. Os sinais do GPS ao propagarem-se pelas camadas da atmosfera sofrem a influência de vários erros, tais como as refrações ionosférica e troposférica, causando variações na direção e na velocidade de propagação, e na polarização e potência do sinal.

Os efeitos de primeira ordem da refração ionosférica podem ser minimizados quando se dispõem das observáveis coletadas nas duas frequências (L1 e L2). A utilização de receptores de uma frequência em bases longas faz com que o usuário negligencie esses efeitos, degradando a qualidade das coordenadas da estação de interesse. No entanto, deve-se ressaltar que os efeitos da ionosfera são reduzidos no posicionamento relativo de base curta, mesmo usando receptores de uma frequência. Na troposfera, a propagação do sinal é influenciada principalmente pelo conteúdo do vapor de água, da pressão do ar e da temperatura. Assim, para frequências inferiores a 30 GHz, a refração independe da frequência do sinal transmitido (LEICK, 1995; MONICO, 2000). A minimização do efeito da refração troposférica é feita por meio de técnicas de processamento, ou por meio de modelos, por exemplo, o de *Hopfield* (LANGLEY, 1998a). A característica básica desse modelo está na refratividade basear-se no declínio da temperatura em relação ao aumento da altitude (SILVA et al., 1999).

Atualmente, uma opção válida para o território brasileiro, na utilização de receptores de uma frequência, é o modelo regional da ionosfera (Mod\_Ion). Para calcular os coeficientes do modelo utiliza-se dados GPS, medidas da pseudodistância ou da fase, coletados com receptores de duas frequências, como por exemplo os da RBMC (todos ou os mais próximos). Assim, é possível a correção de parte do erro sistemático da ionosfera em observações coletadas com receptores GPS de uma frequência (CAMARGO, 1999).

O erro relacionado ao centro de fase da antena GPS, está associado ao ponto no qual as medidas dos sinais são referenciadas, que geralmente não coincide com o centro geométrico da antena. A discrepância varia com a intensidade e direção dos sinais, e é diferente nas portadoras (L1 e L2). Em levantamentos geodésicos de alta precisão, todas as antenas utilizadas devem ser calibradas, adotando-se com padrão as utilizadas pelo IGS. Maiores detalhes quanto a calibração podem ser obtidos em *National Geodetic Survey* (NGS, 2002). Quando as antenas utilizadas em levantamentos geodésicos são do mesmo fabricante e modelos iguais não acarretam maiores problemas, pois as discrepâncias são praticamente iguais. Para modelos ou fabricantes diferentes deve-se orientar as antenas em uma única direção, por exemplo, a direção do norte magnético, cuja direção pode ser determinada por uma bússola. Adotando-se esses procedimentos e realizando-se a diferenciação das observáveis, os efeitos são cancelados (SEEBER, 1993; MONICO, 2000).

A eficiência do GPS no posicionamento de alta precisão é indiscutível; contudo, se as coordenadas da estação de referência estiverem afetadas de erros, eles se propagarão nas coordenadas dos pontos determinados a partir dela. Trabalhos mostram que

erros da ordem de 5 m nas coordenadas da estação base podem produzir erros de 1,0, 0,9, e 0,8 ppm nas componentes geodésicas ( $\Delta\phi$ ,  $\Delta\lambda$  e  $\Delta h$ ) (BREACH, 1990<sup>4</sup> apud MONICO, 2000). A detecção desses erros é fácil em certos casos (erro de grande magnitude), mas pode tornar-se difícil em outros. Muitas vezes somente um teste estatístico pode justificar ou não a rejeição de uma observação suspeita de conter erro grosseiro (GEMAEL, 1994).

Outro erro que pode ocorrer na estação corresponde ao multicaminho (reflexão) do sinal, causado por superfícies próximas à estação de interesse. Na Figura 2.13, é ilustrada a ocorrência da reflexão, sendo que a antena GPS em questão está recebendo, além do sinal que chega do satélite GPS, o sinal refletido por uma construção. Dessa forma, os sinais transmitidos ao receptor pela antena podem apresentar distorções na fase da onda portadora e na respectiva modulação. Assim, as observáveis são degradadas, afetando a qualidade do posicionamento.

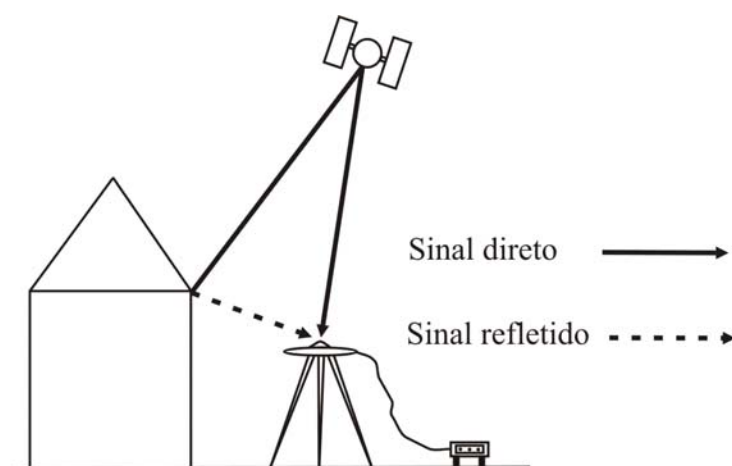


Figura 2.13 – Ilustração da ocorrência do multicaminho no sinal GPS  
Fonte: Adaptada de Monico (2000)

A ocorrência do multicaminho está relacionada com a refratividade do meio no qual se instala a antena GPS, das características da antena, e das técnicas utilizadas nos receptores para reduzir os sinais refletidos. Existe um *software* de domínio público que permite estimar os valores para o multicaminho nas frequências L1 e L2, bem como a conversão de arquivos de dados GPS (binário em RINEX-Receiver Independent EXchange), edição dos arquivos no formato RINEX e principalmente o controle de qualidade dos dados GPS. Esse software é desenvolvido pela *University Navstar Consortium* (UNAVCO) denominado de *Translate, Edit and Quality Control* (TEQC). Para maiores detalhes, bem

<sup>4</sup> BREACH, M. C. The importance of accurate coordinates of a known station in precise relative positioning. *Survey Review*, v. 30, n. 238: 398-403. 1990.

como aquisição do *software*, deve-se consultar UNAVCO (2002). A título de exemplificação desse software, foi aplicado na estação de referência 2891P (Cesário Lange), a determinação do multicaminho, cujo resultado é apresentado na seção 5.2. No caso de uma estação base coletar dados GPS por vários dias e por um período relativamente longo, os efeitos do multicaminho provavelmente serão similares para todos os dias, considerando que se tenha utilizado o mesmo conjunto de antena e receptor (MONICO, 2000).

### 2.3.2 As observáveis GPS

As observáveis básicas transmitidas pelos satélites do sistema GPS que permitem determinar posição, velocidade e tempo são classificadas por (SEEBER, 1993; MONICO, 2000):

- pseudodistâncias a partir do código;
- fase da onda portadora ou diferença de fase da onda portadora.

A pseudodistância corresponde à distância entre a antena do satélite, no instante de transmissão, e a antena do receptor GPS, no instante de recepção do sinal. Ela é obtida a partir da correlação código e equivale ao produto da velocidade da luz pelo intervalo do tempo de deslocamento do sinal. A denominação pseudodistância, utilizada na literatura sobre GPS, decorre do não-sincronismo entre os relógios (osciladores) que geram o código no satélite e sua réplica no receptor. A medida relacionada com a fase da onda portadora, é determinada pela diferença entre a fase do sinal recebido do satélite e sua réplica gerada pelo receptor.

Cada observável GPS, pseudodistância e fase da onda portadora, gera uma equação de observação que podem ser combinadas entre si, sejam coletadas na frequência L1 ou L2.

A expressão da pseudodistância (PD) entre o satélite (S) e a antena do receptor (R), escrita em função dos sinais L1 e L2, considerando os efeitos da atmosfera, tem a forma (SEEBER, 1993; MONICO 2000).

$$\begin{aligned}
 PD_{R(L1)}^S &= \rho_R^S + c(dt_R - dt^S) + I_R^S + T_R^S + \varepsilon_{PD(L1)} \\
 PD_{R(L2)}^S &= \rho_R^S + c(dt_R - dt^S) + \bar{I}_R^S + T_R^S + \varepsilon_{PD(L2)}
 \end{aligned}
 \tag{2.5}$$

onde  $\rho_R^S$  representa a distância entre o satélite S  $(X^S, Y^S, Z^S)$  e a antena do receptor R  $(X_R, Y_R, Z_R)$ , expressa por

$$\rho_R^S = \sqrt{(X^S - X_R)^2 + (Y^S - Y_R)^2 + (Z^S - Z_R)^2} \quad (2.6)$$

$c$  é a velocidade da luz no vácuo;  $dt_R$  e  $dt^S$  são os erros dos relógios do receptor e do satélite, respectivamente em relação ao tempo GPS;  $I_R^S$  e  $\bar{I}_R^S$  são os erros sistemáticos, associados à refração ionosférica, das frequências L1 e L2, respectivamente;  $T_R^S$  são os erros sistemáticos, relacionados com a refração troposférica, independente da frequência; e  $\varepsilon_{PD(L1)}$  e  $\varepsilon_{PD(L2)}$  são os erros dos resíduos das observações, nas frequências L1 e L2, respectivamente.

A medida da fase da onda portadora, ou simplesmente fase, é realizada a partir da diferença entre a fase gerada pelo satélite, no instante de transmissão do sinal, e sua réplica gerada pelo receptor, no instante de recepção do sinal. Apenas uma medida fracionária é obtida, restando o número de ciclos inteiros, denominado de ambigüidade ( $N$ ), que é mais uma incógnita do modelo. A equação da fase também é descrita para as duas frequências (MONICO, 2000).

$$\phi_{R(L1)}^S = f_{(L1)} \left( \frac{\rho_R^S - I_R^S + T_R^S}{c} \right) + f_{(L1)} (dt_R - dt^S) + [\phi_{(L1)}^S(t_0) - \phi_{R(L1)}(t_0)] + N_{R(L1)}^S + \varepsilon_{\phi(L1)} \quad (2.7)$$

$$\phi_{R(L2)}^S = f_{(L2)} \left( \frac{\rho_R^S - \bar{I}_R^S + T_R^S}{c} \right) + f_{(L2)} (dt_R - dt^S) + [\phi_{(L2)}^S(t_0) - \phi_{R(L2)}(t_0)] + N_{R(L2)}^S + \varepsilon_{\phi(L2)}$$

onde  $\rho_R^S$ ,  $dt_R$ ,  $dt^S$ ,  $I_R^S$ ,  $\bar{I}_R^S$  e  $T_R^S$  foram descritos para as expressões (2.5) e (2.6);  $(\lambda_{(L1)}$  e  $\lambda_{(L2)})$  são os comprimentos das ondas portadoras nas respectivas frequências, aproximadamente 19,03 e 24,45 cm, respectivamente;  $(\phi_{R(L1)}^S$  e  $\phi_{R(L2)}^S)$  são as fases observadas em ciclos nas respectivas frequências;  $(f_{(L1)}$  e  $f_{(L2)})$  são as frequências L1 e L2, respectivamente;  $(\phi_{R(L1)}$  e  $\phi_{R(L2)})$  são as fases geradas no receptor no instante de recepção, respectivamente para as frequências L1 e L2;  $(N_{R(L1)}^S$  e  $N_{R(L2)}^S)$  são as ambigüidades da fase nas respectivas frequências L1 e L2; e  $(\varepsilon_{\phi(L1)}$  e  $\varepsilon_{\phi(L2)})$  são os erros dos resíduos nas observações nas frequências L1 e L2, respectivamente.

Observando-se a expressão (2.5) para a pseudodistância, nota-se que o efeito da ionosfera ( $I_R^S$ ) é aditivo enquanto que para a fase, expressão (2.7), o efeito é subtrativo. A ionosfera, como um meio dispersivo, afeta a modulação e a fase da portadora, fazendo com que sofram, respectivamente, um retardo e um avanço (MONICO, 2000). O retardo é referido, também, como atraso ionosférico, e aumenta o comprimento aparente do caminho percorrido pelo sinal (CAMARGO, 1999).

### 2.3.3 Combinação linear e diferenciação das observáveis GPS

As combinações lineares das observáveis, através das expressões (2.5) e (2.7), é usada para determinar posições, ambigüidades, erros não modelados, etc. Podem-se realizar os seguintes tipos de combinações lineares entre a observáveis (SEEBER, 1993; MONICO, 2000):

- entre observações de mesmo tipo;
- entre observações de diferentes tipos;
- entre observações de diferentes estações;
- entre observações de diferentes satélites; e
- entre observações de diferentes épocas.

Em função dos tipos de combinações descritas, e considerando-se as observáveis coletadas na mesma estação, pode-se combinar as observações com: a fase da onda portadora, as pseudodistâncias, ou entre ambas. Uma abordagem mais detalhada sobre essas combinações é encontrada em Seeber (1993); Teunissen e Kleusberg (1998) e Monico (2000).

Monico (2000) faz uma advertência quanto à combinação das observáveis (fase e pseudodistância), na qual a participação da pseudodistância não melhora os resultados de forma significativa. Contudo, essa observável é utilizada no pré-processamento para estimar o erro do relógio do receptor, ou calcular o instante aproximado de transmissão do sinal pelo satélite; essa técnica geralmente é empregada em *softwares* comerciais.

O usuário que dispõe de receptores equipados com antenas de dupla frequência pode realizar uma combinação linear muito importante, denominada *ionospheric free observable* (livre da ionosfera – L0), sendo essa combinação em função das observáveis da fase coletadas nas frequências L1 e L2. Essa combinação permite cancelar os efeitos da

ionosfera, e deve ser empregada em base longas. O modelo matemático correspondente a L0 é expresso por (SEEBER, 1993; MONICO, 2000).

$$\phi_{L0} = \phi_{L1} - \frac{f_{L2}}{f_{L1}} \phi_{L2} \quad (2.8)$$

também é possível a combinação da pseudodistância coletadas nas duas frequências, gerando assim uma combinação denominada de pseudodistância livre dos efeitos da ionosfera. Mas, essa combinação só é possível com as observações coletadas a partir do código P (Cf. Figura 2.12), cujo modelo matemático tem a forma (MONICO, 2000).

$$PD_{L0} = PD_{L1} - \left( \frac{f_{L2}}{f_{L1}} \right)^2 PD_{L2} \quad (2.9)$$

Quando se tem mais de uma estação envolvida no posicionamento, as combinações das observáveis podem ser combinadas entre diferentes estações, satélites e épocas, caracterizando assim, o posicionamento relativo, assunto abordado na seção (2.3.4).

No posicionamento relativo, os erros presentes nas observações originais são reduzidos quando se formam diferenças entre observáveis das estações. Essas observáveis secundárias, obtidas a partir das originais, são usualmente denominadas de simples, dupla ou tripla diferença das observáveis L1, L2, L0, etc. (MONICO, 2000).

A Dupla Diferença (DD) corresponde à diferença entre duas simples diferenças, envolvendo dois receptores e dois satélites. A Figura 2.14 mostra a formação de duas simples e uma dupla diferença, entre as antenas de dois receptores ( $R_i$  e  $R_j$ ), rastreando simultaneamente os satélites ( $S^p$  e  $S^q$ ). A simples diferença permite que o erro relacionado ao relógio do satélite seja eliminado, enquanto que os erros devidos à posição do satélite e à refração atmosférica são minimizados. A DD permite eliminar os erros dos relógios dos receptores envolvidos. É possível também reduzir a refração atmosférica, desde que as estações envolvidas formem bases curtas, pois os efeitos sistemáticos da ionosfera e troposfera são considerados similares nessas estações. Para bases longas, a refração troposférica pode ser modelada, enquanto que a ionosférica pode ser reduzida com a combinação linear L0, para receptores de duas frequências.

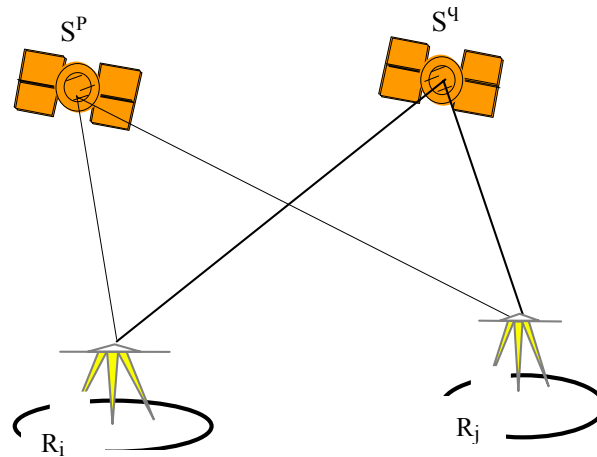


Figura 2.14 – Formação da dupla diferença entre as antenas dos receptores e satélites.  
Fonte: Adaptada de Monico (2000)

As DD para a pseudodistância e para a fase, respectivamente, são expressas por (MONICO, 2000).

$$\Delta PD_{(i,j)}^{(p,q)} = \Delta \rho_{(i,j)}^{(p,q)} + \varepsilon_{PD_{(i,j)}^{(p,q)}} \quad (2.10)$$

$$\Delta \Phi_{(i,j)}^{(p,q)} = \frac{f}{c} \left( \Delta \rho_{(i,j)}^{(p,q)} \right) + \Delta N_{(i,j)}^{(p,q)} + \varepsilon_{\Phi_{(i,j)}^{(p,q)}} \quad (2.11)$$

onde

$$\Delta \rho_{(i,j)}^{(p,q)} = \left[ \left( \rho_{(i)}^{(p)} - \rho_{(j)}^{(p)} \right) - \left( \rho_{(i)}^{(q)} - \rho_{(j)}^{(q)} \right) \right] \quad (2.12)$$

$$\Delta N_{(i,j)}^{(p,q)} = \left[ \left( N_{(i)}^{(p)} - N_{(j)}^{(p)} \right) - \left( N_{(i)}^{(q)} - N_{(j)}^{(q)} \right) \right] \quad (2.13)$$

A DD, expressa em (2.11), é usualmente a observável preferida nos programas de processamentos de dados GPS, pois elimina ou reduz a maioria dos erros sistemáticos envolvidos nas observáveis originais. Entretanto, é possível também a utilização da dupla diferença da pseudodistância ou ambas. Quanto aos programas científicos, a tendência é fazer uso das observáveis originais (MONICO, 2000).

### 2.3.4 Técnicas de posicionamento através do GPS

O posicionamento consiste na determinação das coordenadas que definem a posição de pontos em relação a um referencial. Atualmente, o GPS é uma das técnicas mais usadas no posicionamento e, a cada dia, encontra novas aplicações.

Com as inovações ocorridas no GPS, visando atender às inúmeras aplicações, a terminologia também evoluiu para descrever o modo de como se posicionar com o receptor GPS.

O posicionamento por GPS pode ser realizado nos modos *absoluto* ou *relativo*. No modo absoluto, a posição do ponto é determinada diretamente em relação a um sistema de referência geocêntrico, por exemplo o *WGS84*, utilizando apenas um receptor. O posicionamento relativo caracteriza-se pela observação simultânea dos sinais dos mesmos satélites em pelo menos duas estações distintas. A posição de um ponto é determinada com relação a um ponto de coordenadas conhecidas (estação de referência). Nesse caso, são determinadas as componentes da base  $(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$  e, ao serem somadas algebricamente às coordenadas da estação de referência, fornecem as coordenadas do ponto desejado no mesmo referencial da base.

No que se refere ao estado físico da antena, ou seja, estado de repouso ou em movimento, os posicionamentos (absoluto e relativo) podem ser classificados em: estático ou cinemático, respectivamente. O cálculo das coordenadas, a partir de observações GPS, pode ser efetuado em tempo real ou pós-processamento.

Neste trabalho, foi realizado o posicionamento *relativo, estático e pós-processado*. A estação de referência está localizada na cidade de Cesário Lange (SP), coincidindo com a RN 2891P.

Considerando que um levantamento foi realizado durante  $k$  épocas para os mesmos ( $S$ ) satélites. Envolvendo dois receptores, constituindo-se assim apenas um vetor base entre os receptores ( $R_i$  e  $R_j$ ). O modelo matemático linearizado para a dupla diferença de fase e a pseudodistância pode ser representado por (MONICO, 2000):

$$E \left\{ \begin{bmatrix} \Delta\varphi_1 \\ \Delta PD_1 \\ \Delta\varphi_2 \\ \Delta PD_2 \\ \vdots \\ \vdots \\ \Delta\varphi_k \\ \Delta PD_k \end{bmatrix} \right\} = \begin{bmatrix} A_{(i,j)_1} & I_{N-1} \\ A_{(i,j)_1} & 0 \\ A_{(i,j)_2} & I_{N-1} \\ A_{(i,j)_2} & 0 \\ \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots \\ A_{(i,j)_k} & I_{N-1} \\ A_{(i,j)_k} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta R_{(i,j)} \\ \Delta N \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

$$\Delta R_{(i,j)}^T = [\Delta X_i \quad \Delta Y_i \quad \Delta Z_i \quad \Delta X_j \quad \Delta Y_j \quad \Delta Z_j] \quad (2.15)$$

onde  $k$  é a  $k$ -ésima época observada ( $1, 2, \dots, k$ );  $\Delta\phi_k$  e  $\Delta PD_k$  correspondem aos vetores, de dimensões  $[(S-1) \times 1]$ , da diferença entre as DD calculadas em função dos parâmetros aproximados e as DD observadas, para a fase e para pseudodistância, respectivamente;  $A_{(i,j)}^k$  é a matriz, de dimensão  $[(S-1) \times 6]$ , de coeficientes das correções às coordenadas aproximadas das estações ( $R_i$  e  $R_j$ );  $I_{N-1}$  é a matriz identidade que corresponde aos coeficientes das ambigüidades, de dimensões  $[(S-1) \times (S-1)]$ ;  $\Delta R_{(i,j)}$  corresponde as correções às coordenadas aproximadas das estações ( $R_i$  e  $R_j$ ), definidas pela expressão (2.15), de dimensão  $[6 \times 1]$ ;  $\Delta N$  é o vetor das ambigüidades, de dimensões  $[(S-1) \times 1]$ .

O sistema expresso por (2.14) é determinado, isto é, tem solução única. No posicionamento relativo, as coordenadas da estação de referência são conhecidas; portanto, na matriz  $A_{(i,j)}^k$  as colunas associadas a essa estação serão eliminadas, em cada uma das épocas  $k$ . Neste tipo de posicionamento, em razão do tempo das sessões serem relativamente longos, as ambigüidades, exceto em alguns problemas não esperados, podem ser facilmente solucionadas. Isso ocorre por causa da alteração da geometria dos satélites durante as sessões, reduzindo a correlação entre as ambigüidades envolvidas nesta expressão, que permitem solucioná-las (MONICO, 2000).

### 2.3.5 Análise do processamento dos dados GPS

A estratégia de processamento depende do modo como os dados foram coletados, e o fim a que se destinam, dentre outros fatores. Quando se utilizam apenas dois receptores na coleta das observáveis GPS, o processamento é realizado base-a-base. No caso de dois ou mais receptores serem envolvidos, o processamento pode ser realizado em rede.

Após o processamento, o *software* utilizado fornece uma série de informações que permitem algumas análises e geralmente proporcionam até sugestões sobre os resultados mais adequados, porém isto não é suficiente quando se pretende realizar trabalhos de boa qualidade.

No caso da coleta de dados ter sido realizada base-a-base, e as bases formarem uma rede, os resultados obtidos a partir das bases individuais permitem efetuar análise para avaliar a qualidade dos resultados. Quando a coleta de dados envolve mais que dois receptores, combinados de modo a detectar e localizar possíveis erros, trata-se de uma rede de alta precisão e confiabilidade, e diversos tipos de análises podem ser aplicadas.

Contudo, há outro aspecto envolvido na análise da qualidade dos resultados a partir do processamento base-a-base, ou mesmo em rede. Para tal tem-se as soluções de tripla diferença (solução *TRD*), dupla diferença com ambigüidade real (solução *FLT*) e dupla diferença com ambigüidade injuncionada como inteiras (solução *FIX*). Em condições normais espera-se que a solução *TRD* proporcione resultados piores que os da solução *FLT*. Se a solução *FIX* for factível de ser obtida, a precisão das coordenadas será ainda melhor que a da solução *FLT* (MONICO, 2000).

Para obter a solução *FIX* deve-se estimar a solução *FLT* que não seja rejeitada no teste do *Qui-Quadrado*. Após o referido teste, deve-se definir e testar um conjunto de vetores de ambigüidades ( $N_i$ ), os quais são considerados como prováveis candidatos. A solução mais provável é aquela que proporciona fator de variância *a posteriori* mínimo, representado por ( $N_1$ ) e associado a ( $\hat{\sigma}_{01}^2$ ). Uma questão a ser respondida é se o segundo melhor conjunto ( $N_2$ ) não está ( $\hat{\sigma}_{02}^2$ ) muito próximo ao da solução escolhida, quando não há um bom discernimento entre os dois conjuntos, podendo conduzir a resultados incorretos. Para verificar essa condição, usualmente calcula-se a razão entre os valores de  $\hat{\sigma}_0^2$  do segundo ( $\hat{\sigma}_{02}^2$ ) pelo do primeiro ( $\hat{\sigma}_{01}^2$ ) conjunto de candidatos escolhidos:

$$\left( \frac{\hat{\sigma}_{02}^2}{\hat{\sigma}_{01}^2} \right) > c \quad (2.16)$$

Essa estratégia é denominada *Ratio Test*. Se o valor da razão for maior que 3, a solução escolhida tem alta probabilidade de ser a correta. Caso contrário, é mais aconselhável adotar a solução *FLT*. Convém ressaltar que quanto maior o valor de ( $c$ ), mais confiável será a solução obtida (MONICO, 2000). Uma análise mais completa sobre a validação das soluções *FIX* e *FLT* é apresentada em Teunissen (1998).

Outro fator que auxilia na indicação da precisão dos resultados obtidos com o posicionamento através do GPS é denominado de *Dilution of Precision* (DOP), que quantifica a geometria (ou configuração) dos satélites no posicionamento. Encontra-se na literatura, diferentes designações para o DOP, as quais estão relacionadas com os parâmetros a serem estimados. Como exemplo, cita-se o HDOP, o VDOP e o PDOP, que são relacionados com os posicionamentos horizontal, vertical e tridimensional, respectivamente. Para uma melhor compreensão sobre esse assunto deve-se consultar Weels et al. (1986); Seeber (1993); Leick (1995) e Monico (2000).

## 2.4 Modelos Geoidais

O geóide, superfície equipotencial do campo da gravidade terrestre que mais se aproxima do nível médio dos mares não perturbados, é fundamental na utilização do GPS para a realização de levantamentos na determinação da altitude ortométrica. Por isso, é tema de estudos para determinação e aprimoramento, visando compatibilizar geóides gravimétricos com aqueles adotados para implantação das redes de nivelamento. Haja vista que a diferença da altitude geométrica ( $\Delta h$ ) entre dois pontos pode ser determinada com precisão relativa melhor que 2 ppm (SEEBER, 1993).

A superfície geoidal geralmente é utilizada como referência para a representação da altitude ortométrica, por estar diretamente relacionada com o campo de gravidade da Terra. O GPS utiliza a superfície do elipsóide (GRS80) para a determinação das coordenadas geodésicas. No entanto, esta é uma superfície matemática associada a um modelo terrestre com distribuição homogênea de massa e, conseqüentemente, não coincide nem é paralela à superfície do geóide. As deformações da superfície do geóide em relação à do elipsóide, caracteriza as ondulações do geóide, expressas em termos de altura geoidal.

Atualmente, os modelos geoidais são determinados a partir de modelos geopotenciais como, por exemplo, o *Earth Gravitational Model 1996* (EGM96), combinados com dados gravimétricos e topográficos. As alturas geoidais obtidas pela combinação das coordenadas geodésicas com a altitude ortométrica, em pontos pertencentes às redes de nivelamento, são usados para avaliação dos geóides gravimétricos, e para compatibilizá-los com aqueles que constituem a base dos sistemas altimétricos nos *Data*.

### 2.4.1 Modelos geoidais globais

Em termos globais, o geóide é representado através de conjuntos de coeficientes do potencial gravitacional anômalo, expresso em harmônicos esféricos. O modelo geopotencial mais recentes é o EGM96, desenvolvido até o grau e ordem 360. O EGM96 foi determinado com a integração de um grande volume de dados resultantes do rastreamento de satélites, de levantamentos gravimétricos terrestres e oceânicos, e das missões de altimetria por satélites. O processamento desses dados e o cálculo dos coeficientes foram efetuados por uma equipe formada por pesquisadores da *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA), da *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) através do *Goddard Space Flight Center* (GSFC) e da *Ohio State University* (OSU). Os testes realizados com esse modelo, usando alturas geoidais determinadas a partir do GPS combinado com o nivelamento

geométrico, mostram que o desvio padrão dos resíduos está em torno de 0,5 m, em regiões com muito dados (NIMA, 1997), o que significa uma representação do geopotencial com precisão sem precedentes, em termos globais.

#### 2.4.2 Geóides gravimétricos regionais e locais

Os geóides gravimétricos, geralmente em escalas regionais ou locais, são determinados a partir de um modelo geopotencial, dados do campo de gravidade e da topografia terrestres, através da integral de Stokes ou da colocação por mínimos quadrados. Os modelos geopotenciais desempenham o papel importante de restringir a área de integração numérica, para aplicação da integral de Stokes, ou limitar o número de dados para aproximação usando a colocação. Os geóides gravimétricos, independente do método utilizado na determinação, são gerados na forma digital para facilitar a utilização ou a representação gráfica. No Brasil, esses métodos foram utilizados para a determinação do geóide gravimétrico em escala nacional (SÁ, 1993, 1995). Geóides gravimétricos de alta resolução foram determinados para uma região do Paraná (PESSOA, 1997) e para o Estado de São Paulo e regiões adjacentes (SÁ e MOLINA, 1995). A implantação da rede GPS no Estado de São Paulo para o aprimoramento do geóide e apoio básico local (SÁ, 1999; SÁ et al., 2001), novos levantamentos gravimétricos estão possibilitando a atualização e avaliação do geóide no Estado de São Paulo (SOUZA, 2002).

Para se determinar a altura geoidal e/ou a altitude ortométrica de um ponto  $(\varphi, \lambda, h)$ , a partir de uma estação de referência  $(\varphi, \lambda, h, H)$ , pode-se utilizar o programa GEOCOM, desenvolvido para o uso de modelos digitais (SÁ, 2001<sup>5</sup>). No GEOCOM, há duas opções para o cálculo de alturas geoidais de dois modos: iterativa (*I*) ou automática (*A*), sendo que as alturas geoidais são calculadas nos modos absolutos ou relativos. Para as ondulações determinadas no modo relativo é necessário o conhecimento de um ponto base, sendo que esse ponto possui as suas altitudes geométrica e ortométrica já determinada. O modelo do geóide utilizado no programa GEOCOM é definido com base no GRS80.

---

<sup>5</sup> SÁ, N.C. Comunicação pessoal do Autor (junho de 2001)

### **3 DADOS**

Os dados envolvidos neste trabalho formam três grupos: a) referências de nível (RNs) pertencentes à Rede de Nivelamento Fundamental do Estado de São Paulo (RNFSP) existentes na região do trabalho; b) estações GPS de referência e implantadas em RNs; e c) um geóide gravimétrico do Estado de São Paulo. A descrição desses dados são apresentadas a seguir.

#### **3.1 Redes de nivelamento e RNs selecionadas**

A RNFSP resultou dos levantamentos de apoio geodésico realizados pelo Instituto Geográfico e Geológico do Estado de São Paulo (IGGSP), entre 1940 e 1961 (IGG, 1962), para o mapeamento básico do Estado de São Paulo; e dos trabalhos realizados pelo IBGE, desde a década de 40 (IBGE, 1982), para implantação da Rede de Nivelamento Fundamental do Brasil (RNFB). Das redes mais antigas, implantadas pelo IGGSP e pelo IBGE, pouco resta atualmente, pois as RNs sofreram alto índice de destruição nas regiões onde houve urbanização, pavimentação ou ampliação das rodovias.

A Figura 3.1 mostra a distribuição geográfica das RNs que constituem a RNFSP, conforme descrevem as informações mais atualizadas dos memoriais e do recadastramento altimétrico realizado no Estado de São Paulo.

A partir dessas informações, foi selecionado um conjunto contendo cerca de 80 RNs, implantadas pelo IBGE, distribuídas ao longo de uma linha com aproximadamente 300 km de comprimento, para avaliação das potencialidades do GPS no nivelamento, e definição de estratégias para orientar o usuário interessado neste tipo de aplicação do GPS. Os critérios adotados na escolha das RNs, com base no memorial descritivo (IBGE, 1998b), foram: a) distribuição mais homogênea possível de RNs, com espaçamento entre 5 e 10 km; b) comprimento da base, em relação à RN inicial, com cerca de 250 km; e b) maior variação possível da altitude ortométrica entre as RNs escolhidas.

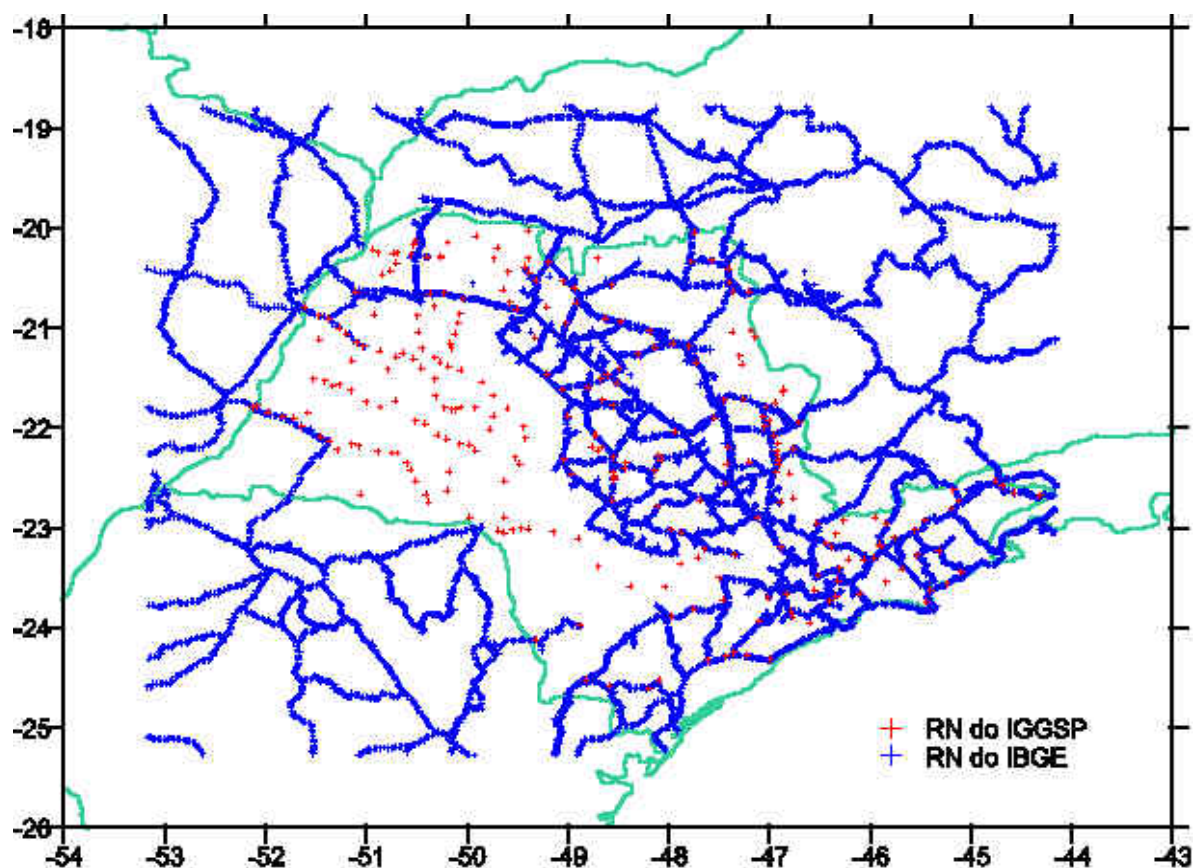


Figura 3.1 – Rede de Nivelamento Fundamental do Estado de São Paulo.  
Fonte: Adaptada de Sá (1999).

A Figura 3.2 ilustra a distribuição geográfica das RNs inicialmente selecionadas para comporem a “linha de referência” visando a avaliação do nivelamento através do GPS. A distribuição geográfica dessas RNs está localizada entre os paralelos 21,4° e 23,3° S, e os meridianos 47,8° e 49° W.

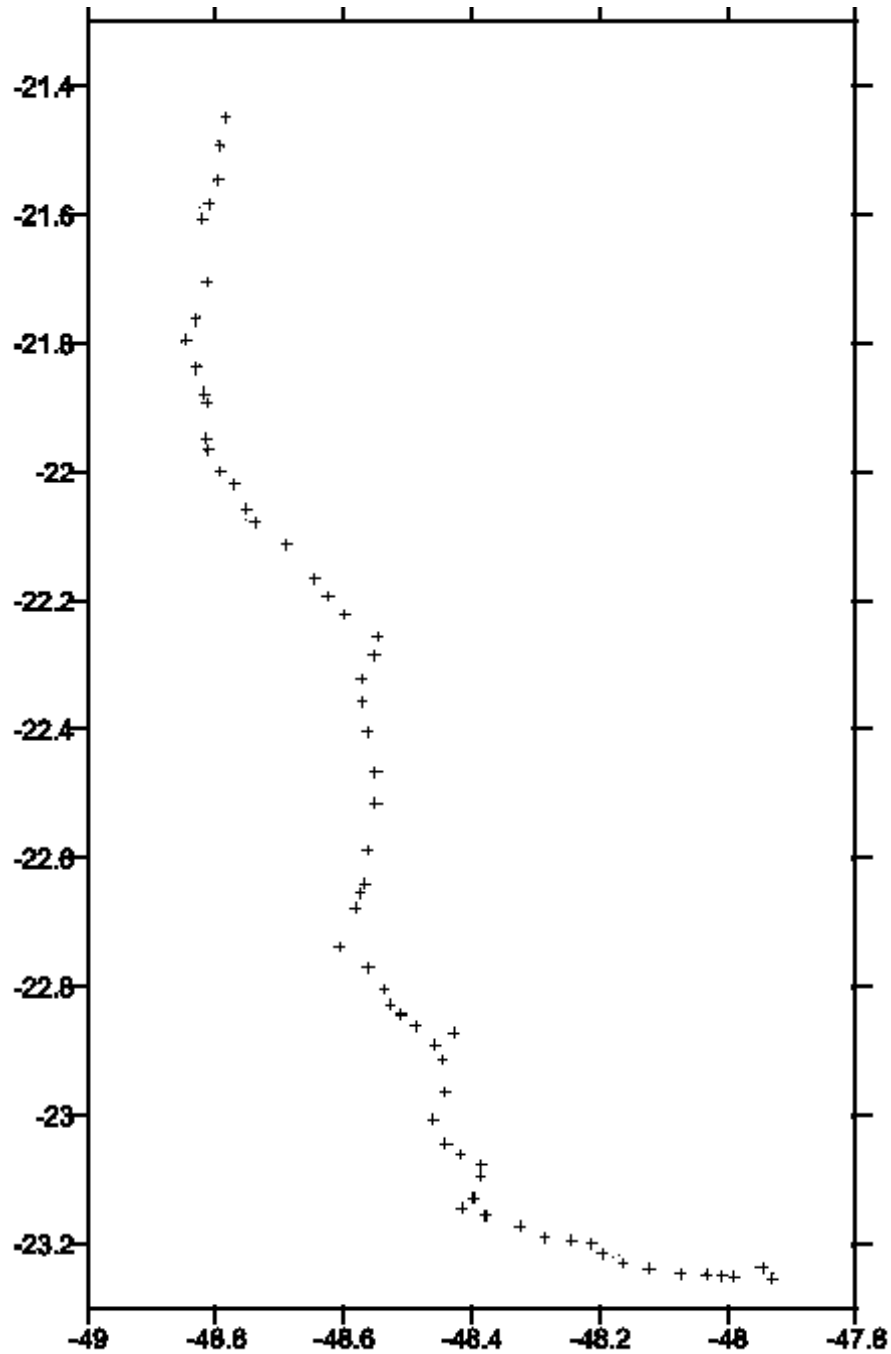


Figura 3.2 – Localização das RNs investigadas para a seleção.  
Fonte: Adaptada de Sá (1999).

As altitudes ortométrica das RNs selecionadas foram obtidas do memorial descritivo disponibilizado pelo IBGE (IBGE, 2002b). As altitudes de alta precisão fornecidas pelo IBGE são classificadas basicamente em 2 tipos: a) preliminares e b) ajustadas; contudo, não há informação dos respectivos erros padrões das altitudes ajustadas. Assim, os erros padrões das altitudes selecionadas foram estimados a partir do erro padrão da RN 2891P, adotada como estação de referência da linha, e da distância das RNs selecionadas em relação

à essa estação, usando a tolerância admissível no nivelamento geométrico. Na Tabela 3.1 encontram-se as RNs selecionadas na fase de reconhecimento, em função da distância ( $B$ ) em relação a estação à base (2891P), as respectivas altitudes ( $H$ ) e erros padrões estimados ( $\sigma_H$ ). Os valores de  $\sigma_H$  foram calculados com a utilização da expressão (5.2).

Tabela 3.1 – Relação das RNs posicionadas

RN	$B$ (km)	$H$ (m)	$(\sigma_H)$ (m)
2891P	0	590,4483	0,100
2891R	2,6	549,7845	0,100
2891V	6,9	571,8843	0,100
2891Z	10,3	607,8429	0,101
2892L	22,2	617,4974	0,101
2892M	23,0	599,3166	0,101
2892S	26,8	540,3426	0,101
2892V	33,9	670,1678	0,102
2893A	36,6	661,6571	0,102
2893L	44,4	667,1274	0,102
2893P	47,4	741,9815	0,103
2893R	48,2	877,4706	0,103
2895N	48,2	950,9547	0,103
2895R	52,2	940,7389	0,103
2895T	55,0	947,2406	0,103
2895U	57,5	907,4431	0,103
2895V	59,4	883,1940	0,103
2896A	62,3	833,9255	0,103
2896F	63,1	848,5481	0,103
2874T	72,0	753,9552	0,104
2899X	89,5	695,5964	0,105
2900F	100,6	483,9173	0,105
2900L	103,0	532,4255	0,106
2900M	105,3	532,2461	0,106
2900V	119,4	595,5354	0,106
2913N	140,3	528,5940	0,107
2913V	151,7	464,2323	0,108
2914A	159,3	555,6473	0,108
2914C	162,7	510,1373	0,109
2914F	165,8	514,7454	0,109
2914L	173,0	409,4658	0,109
2914R	182,4	448,5555	0,110
2905T	187,0	481,4883	0,110
2919J	191,8	545,9370	0,110
2919R	199,3	457,2989	0,110
2920A	206,1	559,8208	0,111
2920D	211,1	549,4852	0,111
2920G	215,3	495,3183	0,111
2954X	221,9	503,9149	0,112
2955G	230,6	535,2949	0,112
2951Z	233,3	600,4582	0,112
2951V	237,9	596,0410	0,112
2951M	247,2	579,4364	0,113
2951E	252,1	529,2669	0,113

A Figura 3.3 mostra a variação da altitude ortométrica ao longo da linha, a partir da altitude ortométrica nas RNs posicionadas, com referência a estação base 2891P.

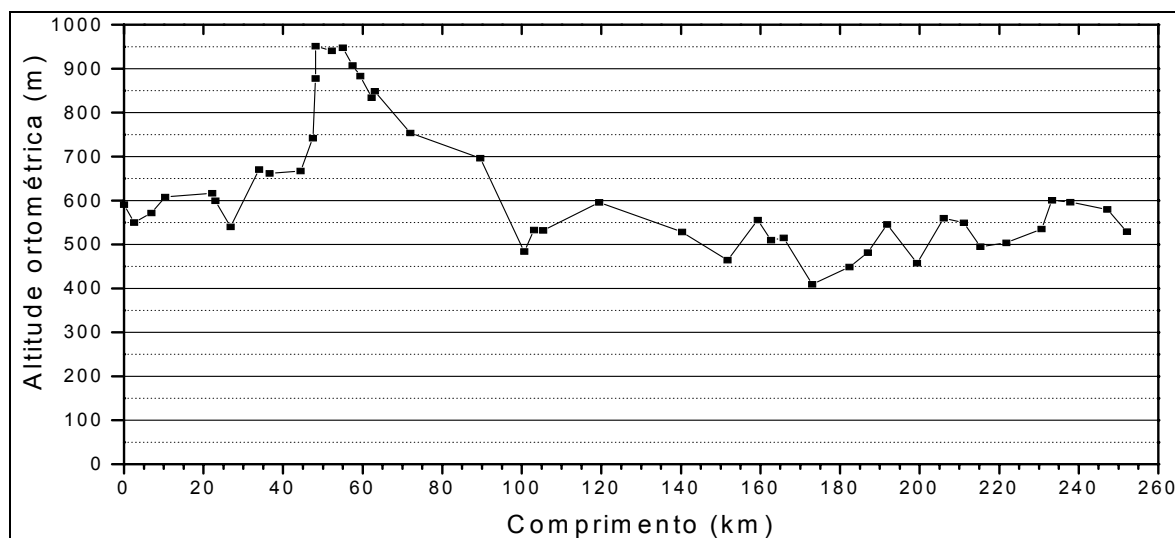


Figura 3.3 – Perfil das altitudes ortométricas posicionadas.

### 3.2 Redes GPS de referência

O Estado de São Paulo possui estações GPS pertencentes à RBMC (FORTES, 1997) e à Rede GPS do Estado de São Paulo (FONSECA Jr., 1996). Entretanto, os requisitos básicos deste trabalho quanto à disponibilidade das coordenadas geodésicas e da altitude ortométrica na estação que constitui a base para o posicionamento relativo usando GPS na região de estudo, o intervalo de gravação na coleta de dados, e a limitação de distâncias com o uso de receptores de uma frequência, eliminam praticamente todas as estações pertencentes às duas redes. Assim, foi implantada uma estação GPS na RN 2891P (Apêndice A), na cidade de Cesário Lange (Figura 4.1), para constituir a base no posicionamento das RNs que formam a linha.

### 3.3 Geóides gravimétricos disponíveis do Estado de São Paulo

No Estado de São Paulo, atualmente há dois geóides gravimétricos na forma digital com resolução espacial de 5' em latitude e longitude. Um determinado a partir do modelo geopotencial da OSU91A (*Ohio State University 1991 A*), dados gravimétricos continentais e oceânicos, e dados topográficos, usando a integral de Stokes (SÁ et. al., 1995); e outro obtido a partir do EGM96 (*Earth Gravitational Model 1996*), dados gravimétricos e topográficos atualizados, usando a colocação por mínimos quadrados (SOUZA, 2002). A rede GPS do Estado de São Paulo, visando o aprimoramento do geóide e o apoio básico local (SÁ, 1999; SÁ et al., 2001; 2002), está permitindo compatibilizar esses geóides gravimétricos com o do sistema altimétrico brasileiro, e fornecendo o erro relativo da altura geoidal, envolvida no nivelamento através do GPS. Assim, neste trabalho, foi adotado o geóide gravimétrico mais recente e o respectivo erro relativo da altura geoidal (SOUZA, 2002).

A Figura 3.4 ilustra o geóide gravimétrico adotado no programa GEOCOM para o cálculo da altura geoidal nas RNs selecionadas. A comparação das alturas geoidais determinadas a partir desse modelo com as fornecidas pelo GPS combinado com o nivelamento geométrico, proporcionam o erro relativo da altura geoidal, expresso por (SOUZA, 2002).

$$\Delta N_{ppm} = 10,84909727 e^{(-0,014218311 x)} + 1,6178265 \quad (3.1)$$

onde  $\Delta N_{ppm}$  representa o erro relativo em ppm (Figura 3.5a), e  $x$  a distância entre a estação de referência e o ponto de interesse, em quilômetros.

Para se obter o erro relativo da altura geoidal ( $\sigma_{\Delta N_i}$ ) correspondente a uma distância conhecida (em quilômetro), basta multiplicar o erro relativo em ppm pela respectiva distância, como mostra a Figura 3.5b.

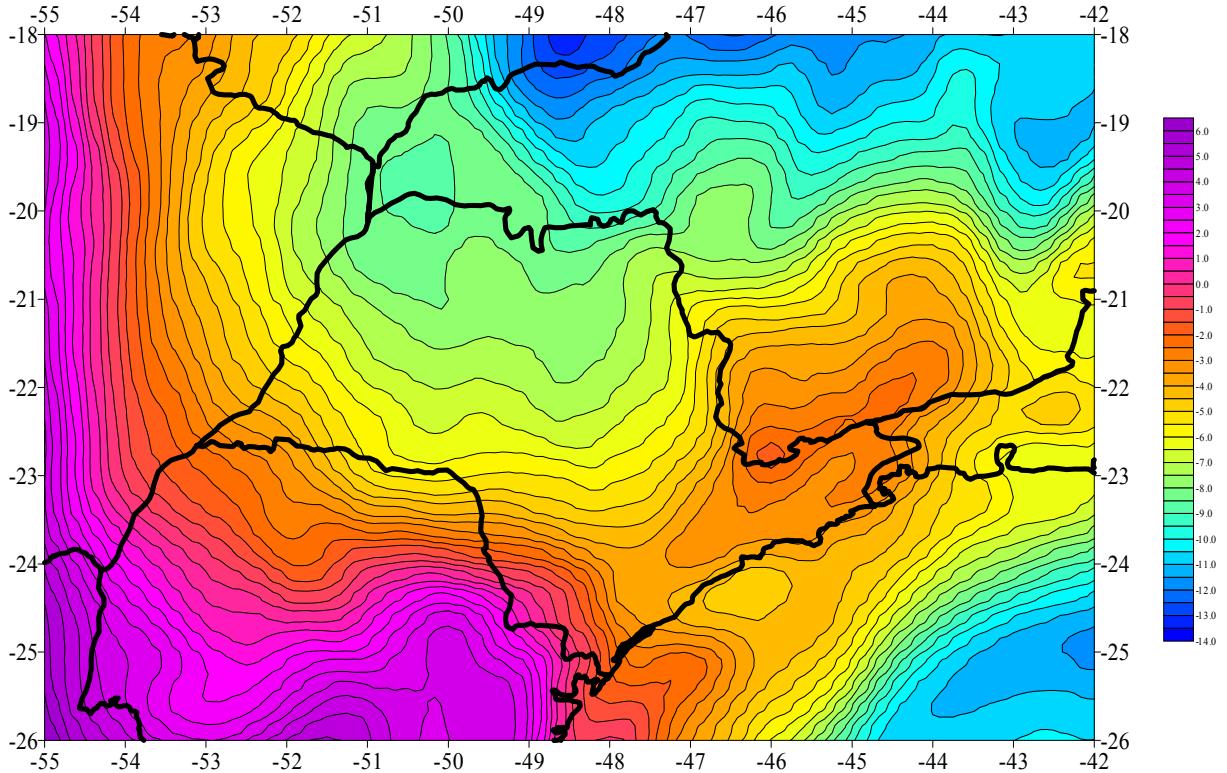


Figura 3.4 – Geóide gravimétrico no Estado de São Paulo (unidade: m).  
 Fonte: Adaptada de Souza (2002).

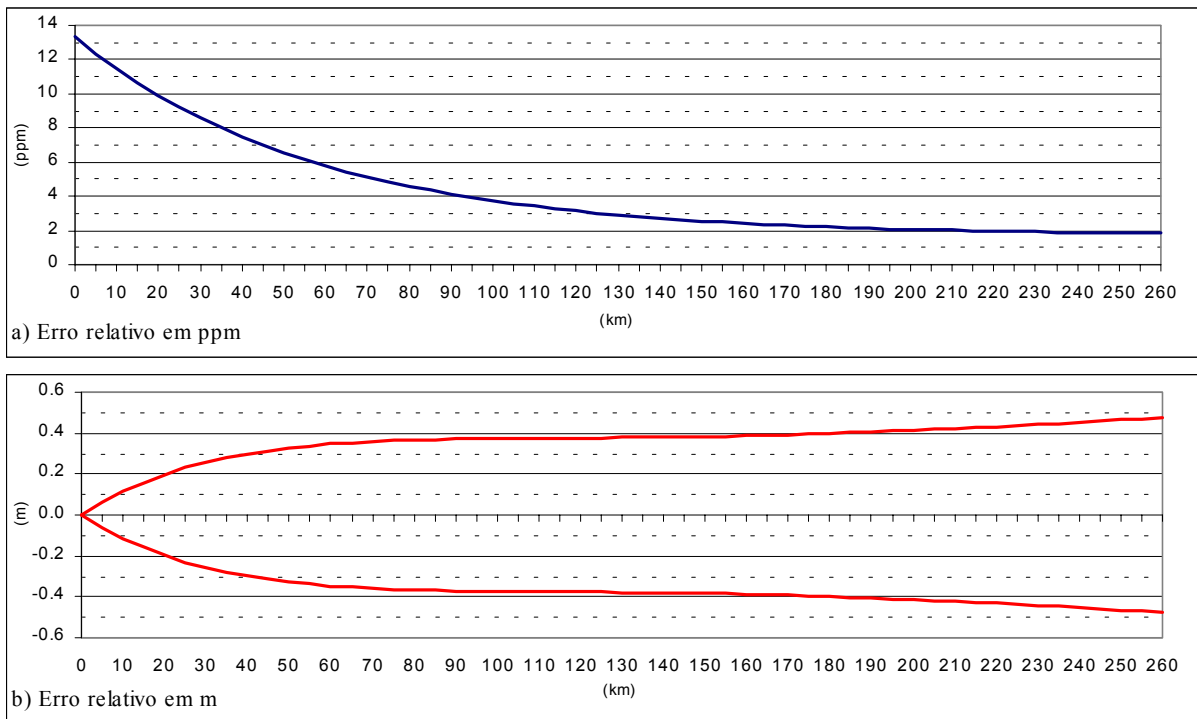


Figura 3.5 – Erro relativo do Geóide gravimétrico no Estado de São Paulo.  
 Fonte: Adaptada de Souza (2002).

## **4 METODOLOGIA**

Neste Capítulo, é apresentada a metodologia utilizada no desenvolvimento do trabalho, cujo objetivo é a realização e avaliação do nivelamento através do GPS. Assim, são descritas as atividades desenvolvidas em campo, o equipamento utilizado no posicionamento GPS e no nivelamento das RNs excêntricas, o processamento de todos os dados coletados, a determinação da altitude ortométrica através do GPS em todas as RNs selecionadas, e o cálculo das discrepâncias em relação às altitudes determinadas pelo IBGE.

### **4.1 Reconhecimento e seleção final das RNs**

A campanha para coleta dos dados foi realizada por uma equipe de três pessoas: o Prof. Nelsi Côgo de Sá, o Técnico de Laboratório Clarino do Divino Vieira, ambos do Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da USP (IAG/USP), e o Autor.

O trabalho de campo envolveu duas etapas: uma para o reconhecimento das RNs ao longo de toda a linha, e outra para a coleta de dados. Na primeira etapa, realizada no período de 3 dias, foram percorridos 300 km, iniciando em Cesário Lange e chegando a Pirangi, com o objetivo de avaliar as condições físicas e de visibilidade das RNs para o posicionamento usando GPS, e a necessidade de implantação de RNs excêntricas. Na segunda etapa, desenvolvida no período de 12 dias, foram realizados o nivelamento das estações excêntricas e o posicionamento de todos os pontos que passaram a constituir a linha para a realização do nivelamento e avaliação da metodologia. Os dados coletados correspondem às semanas GPS 1104 e 1105, e ao período entre os dias 066 e 076 do ano de 2001.

Neste trabalho, foram utilizados dois tipos de receptores GPS: um equipado com antena de duas frequências, que será denominado de L1L2, e outro equipado com antena de uma frequência, que será denominado L1.

O experimento envolveu a utilização de 3 receptores GPS, sendo dois receptores L1L2 e um receptor L1. Na realização do experimento, foram adotados os seguintes critérios: a) posicionamento relativo estático, com sessão de 60 minutos e intervalo de 5 segundos; b) uso simultâneo de um receptor L1L2, fixo na base adotada para a linha (RN 2891P) e dois receptores (L1L2 e L1) para a determinação das coordenadas das RNs que formam a linha; e e) ângulo de elevação fixado em 10 graus para os três receptores.

As coordenadas da estação de referência foram determinadas a partir das estações UEPP (Presidente Prudente) e PARA (Curitiba), ambas pertencentes à RBMC. A

altitude ortométrica da estação de referência corresponde à altitude preliminar da RN 2891P, fornecida pelo IBGE (1998b).

Para locomoção de pessoal e transporte de equipamento ao longo da linha foi utilizada uma Parati, modelo CL, de propriedade do IAG/USP.

As anotações de campo, para a documentação dos pontos posicionados, foram feitas em formulários apropriados durante a sessão de rastreo. As informações de interesse são basicamente a identificação da RN, os horários de início e fim da sessão, as alturas das antenas dos receptores (L1L2 e L1), e eventuais observações.

#### 4.2 Referências de nível posicionadas

Usando receptores GPS (L1L2 e L1) foram posicionadas 44 RNs que integram a RNFB, implantadas pelo IBGE. Essas RNs formam uma linha com aproximadamente 300 km de comprimento. A Figura 4.1 mostra a localização da área de estudo, a estação de referência 2891P (Cesário Lange), distante 380 e 280 km das estações UEPP (Presidente Prudente) e PARA (Curitiba), respectivamente.

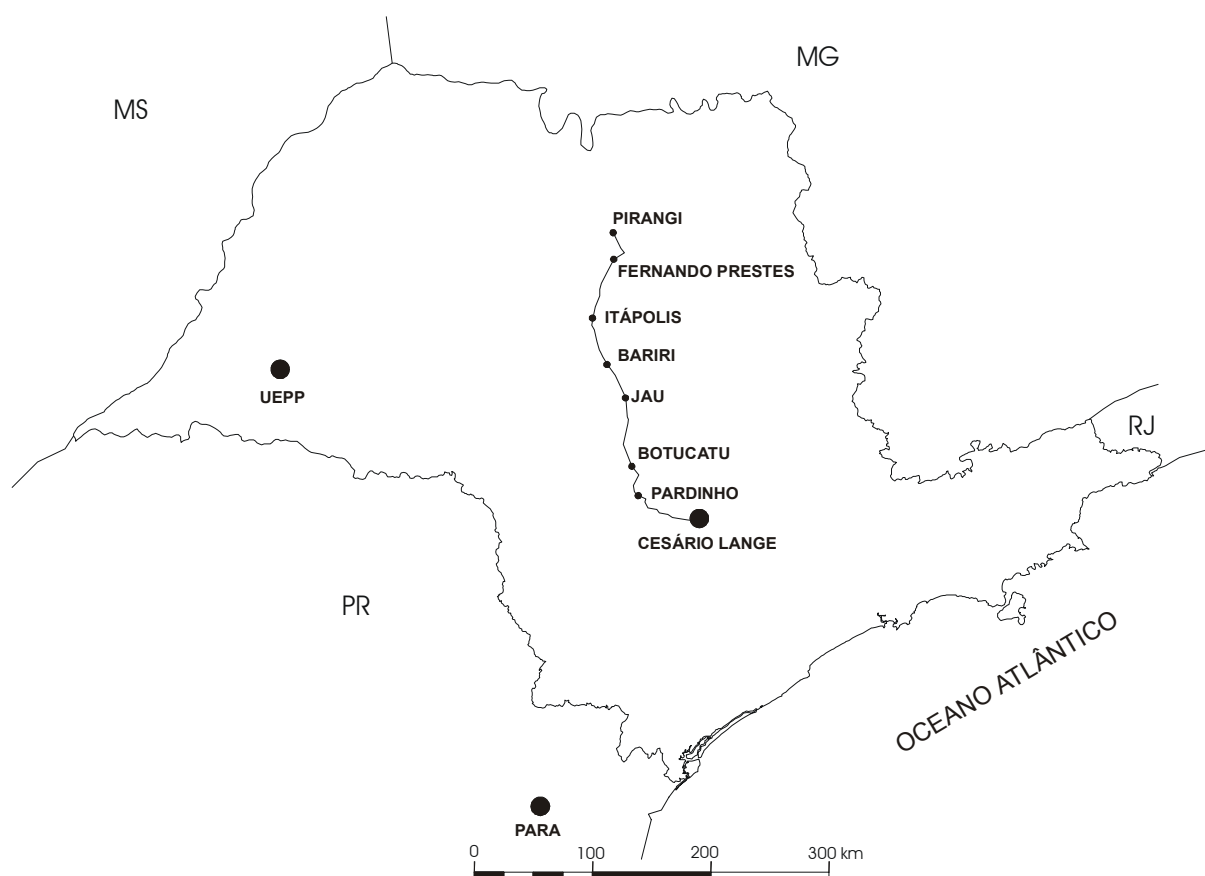


Figura 4.1 – Localização esquemática da linha para realização do nivelamento através do GPS.

A área de estudo é limitada geograficamente pelos paralelos 21° 03' e 23° 15' S, e pelos meridianos 47° 55' e 48° 52' W, compreendendo algumas cidades do interior do estado de São Paulo (Cesário Lange, Pardinho, Botucatu, Jaú, Bariri, Itápolis, Fernando Prestes, Pirangi e outras).

Na Tabela 4.1, encontram-se identificados os circuitos compostos pelas 44 RNs posicionadas para a realização do nivelamento através do GPS. Verifica-se que as RNs são identificadas por números e letras, sua localização corresponde as cidades e aos trechos. O memorial descritivo (Anexo A) contendo a localização e as altitudes ortométrica das RNs utilizadas neste trabalho foram obtidos do IBGE (IBGE, 2002b). Parte das altitudes contidas no arquivo (IBGE, 1998b) de dados altimétricos, resultaram do ajustamento do nivelamento mais recente efetuado pelo IBGE.

Tabela 4.1 – Circuito das RNs posicionadas

RN	Cidade	Trecho
2891	P R	Cesário Lange
	V Z	Tatui
2892	L M	Porangaba
	S	Torre de Pedra
	V	Bofete
2893	A	Bofete
	L	Pardinho
	P R	Pardinho
2895	N R	Pardinho
	T U V	Botucatu
	A F	Botucatu
2874	T	Botucatu
2899	X	São Manuel
2900	F	Iguaraçu do Tietê
	L M	Barra Bonita
	V	Jaú
2913	N V	Bariri
2914	A C F L	Itajú
	R	Ibitinga
2905	T	Ibitinga
2919	J	Ibitinga
	R	Itápolis
2920	A D G	Itápolis
2954	X	Vila Agulha
2955	G	Fernando Prestes
2951	E	Pirangi
	M	Pirangi
	V	Vista Alegre do Alto
	Z	Monte Alto

Entr.: Entroncamento

Com o memorial descritivo, foi realizado o reconhecimento das RNs inicialmente selecionadas. Após essa etapa de identificação e verificação das RNs existentes, haja vista que algumas RNs não foram localizadas ou foram destruídas, provavelmente em função da ampliação das rodovias, foi realizado o posicionamento das RNs com os receptores GPS.

Portanto, como foi descrito anteriormente, a fase de localização e identificação das RNs selecionadas necessitou de aproximadamente três dias. As dificuldades encontradas devem-se a alguns fatos: a) pouco detalhe na localização da RN, baseada em muitos casos apenas na medida de distância à RN anterior ou à subsequente, ou a acidentes geográficos; b) modificação do posicionamento das placas de quilometragem ao longo das rodovias, desfazendo-se assim a distância real descrita no memorial descritivo; c) mudanças de nomes das pessoas e/ou das propriedades (fazendas, sítios, etc.) dadas como referências na época do cadastramento. Nessa fase também, realizou-se a desobstrução das estações, eliminando-se as vegetações rasteiras e alguns galhos de árvores que pudessem refletir os sinais dos satélites, atenuando-se assim o efeito de multicaminho.

Com a etapa de reconhecimento das RNs concluída, o tempo gasto para realizar a coleta de dados GPS foi de aproximadamente 9 dias, tendo-se ocupado 44 RNs. A duração das sessões foi de 60 minutos, enquanto que o tempo gasto com deslocamento entre as RNs, montagem e desmontagem dos receptores/antenas foi em torno de 30 minutos. Desse modo, foi possível posicionar em média 5 RNs por dia.

A coleta de dados GPS foi realizada no período das 8:30 às 18:00h. Esse horário foi escolhido por dois motivos: limitação de memória no receptor L1L2 da base, e segurança nas operação de campo.

#### 4.2.1 Implantação das referências de nível excêntricas

Com a identificação das RNs obstruídas, que impossibilitavam a instalação da antena diretamente sobre o marco ou a chapa, foi programado o nivelamento geométrico, com lances (visadas) aproximadamente iguais, para a implantação da Referência de Nível Excêntrica (RNE). As RNEs foram materializadas com auxílio de piquetes, cravados no máximo a 50 m da respectiva RN, visando atender os requisitos de visibilidade e acesso ao local.

O nivelamento das RNEs foi realizado com um nível automático de fabricação Wild Heerbrugg Ltda, modelo *NA0*, com precisão nominal de 2,5mm/km, e uma mira convencional com resolução de 5 mm, ambos pertencentes ao IAG/USP. Para eliminar eventuais erros, e garantir o padrão do nivelamento geométrico, o desnível entre a RN e a RNE foi determinado através do nivelamento e contranivelamento. Nas visadas (ré/vante), foram lidos os Fios Superior (FS), Médio (FM) e Inferior (FI), correspondentes às divisões mais próximas da mira. As leituras foram anotados em formulários apropriados, associando-se a cada RNE o tipo de receptor (L1 e L1L2). A verticalidade da mira foi controlada com o auxílio do nível de cantoneira de bolha esférica.

No campo, foi realizado o cálculo preliminar para a verificação dos desníveis obtidos entre o nivelamento e o contranivelamento. Na seção 5.1, são apresentados as RNEs e as respectivas diferenças entre o nivelamento e o contranivelamento, bem como as distâncias de visadas (ré/vante).

A Figura 4.2 ilustra a implantação de uma RNE, com a utilização do nível WILD, modelo *NA0*, com o auxílio de uma mira convencional. A RN encontra-se sob uma árvore, caracterizando um local impróprio para a recepção do sinal GPS. Assim, foi realizado o nivelamento geométrico, materializando-se duas RNEs, correspondendo aos receptores L1L2 e L1. A localização da mira, identifica as posições dos respectivos pontos.

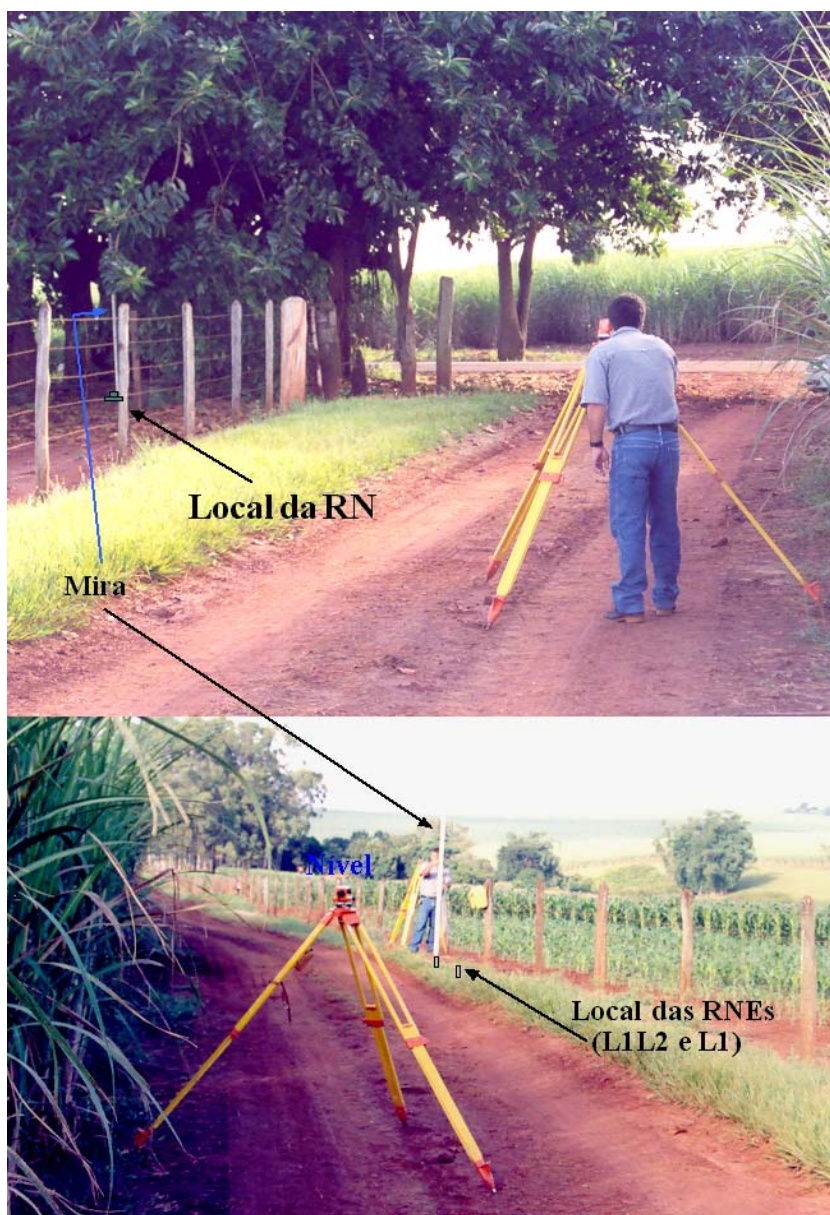


Figura 4.2 – Materialização das RNEs.

Na coleta de dados GPS, para as RNs onde não havia obstrução, o receptor L1L2 foi instalado com a antena sobre o marco da RN. O receptor L1 foi instalado sobre um ponto excêntrico materializado com piquete no mesmo nível da RN, utilizando-se uma régua de alumínio, com tamanho fixo de 1 m e um nível de bolha. A Figura 4.3 ilustra a fixação de um ponto excêntrico para o receptor L1, seguindo o procedimento descrito. A Figura 4.4 mostra os receptores GPS instalados, sendo o L1L2 sobre a RN e o L1 sobre o piquete. Esta sistemática foi necessária para que os receptores (L1L2 e L1) coletassem dados simultaneamente para reduzir o tempo de observação (trabalho de campo). O erro associado à fixação do piquete, com auxílio da régua de alumínio e o nível de bolha, é inferior a 1 cm.

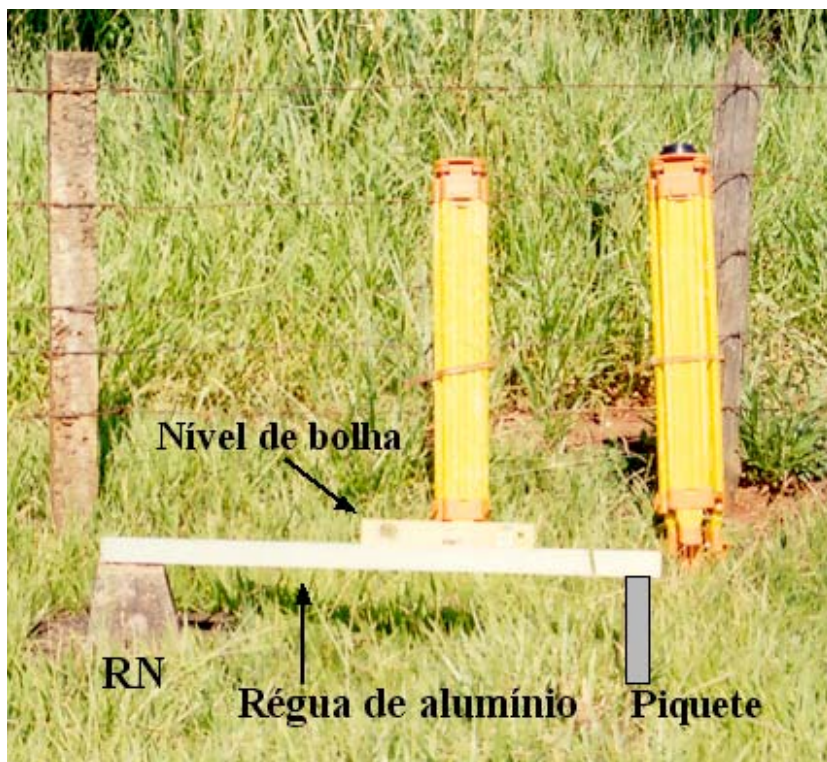


Figura 4.3 – Estabelecimento do ponto auxiliar para o receptor L1.

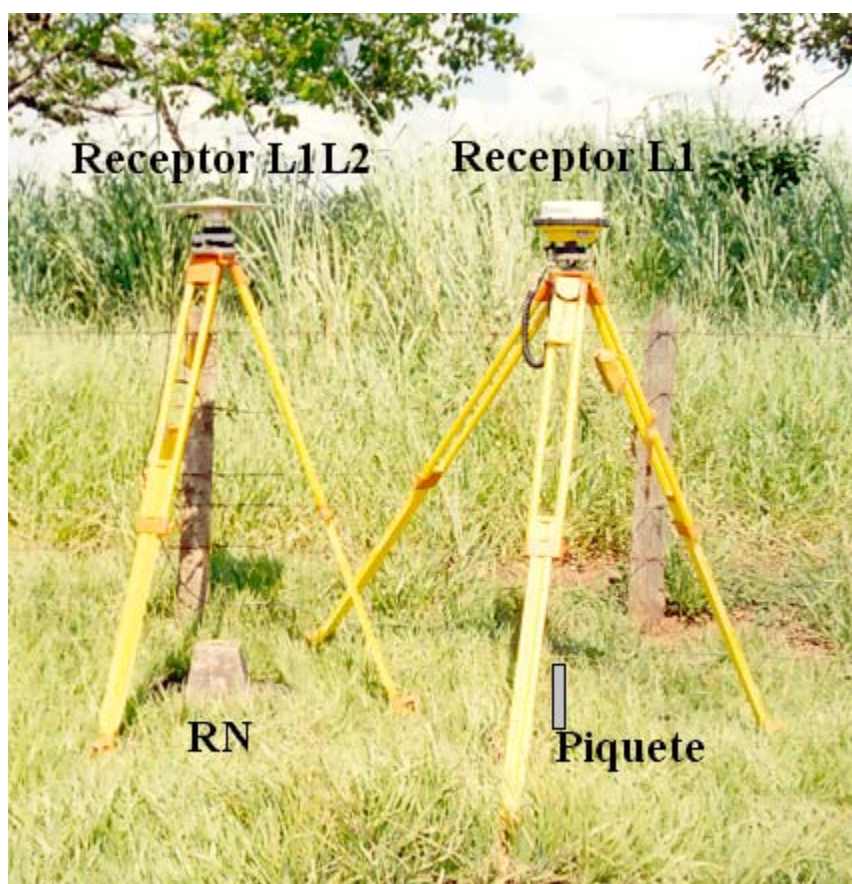


Figura 4.4 – Receptores GPS L1L2 e L1 em operação.

### 4.3 Especificações técnicas dos receptores e antenas GPS

Os receptores L1L2 são da marca *Ashtech*, modelo *Z-12*. O receptor L1 é da marca *Trimble Navigation Limited™*, modelo *4600LS Surveyor*. As antenas utilizadas nos receptores L1L2 e L1 tiveram as respectivas alturas, em relação aos pontos posicionados, determinadas de acordo com as recomendações dos seus fabricantes. Na Figura 4.5, é ilustrada a determinação das alturas para as antenas dos respectivos receptores. Nesse procedimento, houve o cuidado de se utilizar a trena de cada aparelho, para medição das respectivas alturas sempre após a instalação das antenas e ao final da sessão. A medida dessas alturas é do tipo “inclinada”, uma vez que o *software* utilizado no processamento dos dados GPS transforma a medida inclinada em “vertical”, correspondente à altura do centro geométrico da antena, do receptor, em relação ao ponto posicionado.

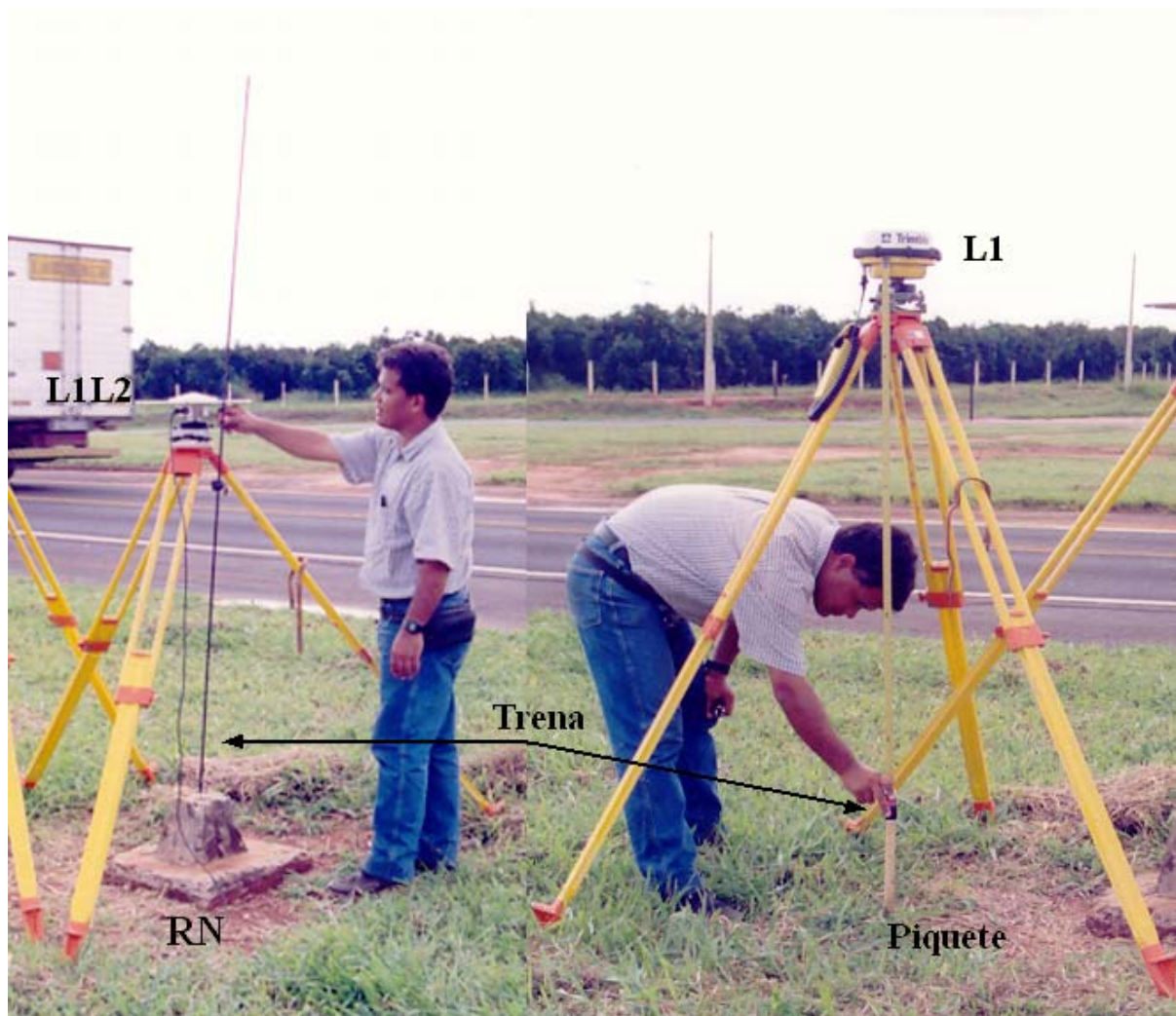


Figura 4.5 – Medições das alturas das antenas para os receptores L1L2 e L1.

Nas estações da RBMC (PARA e UEPP), atualmente, encontram-se receptores capazes de coletar dados GPS nas duas frequências (L1 e L2), modelo *4000SSI* da marca *Trimble* (IBGE, 2002a), cujas especificações são dadas nos Anexos B e C.

Na Tabela 4.2, são apresentadas as informações técnicas dos receptores e respectivas antenas, utilizados no experimento (ASHTECH, 1994; TRIMBLE, 1992c, 2002).

Tabela 4.2 – Informações técnicas dos receptores GPS

Receptor	4600LS	Z-12	4000SSI
Antena	4600LS Internal	Geodetic III Whopper	Dorne Margolin Model T
Fábrica	Trimble	Ashtech	Trimble
Frequências	L1	L1L2	L1L2
Canais	8	12	12
Memória <sup>(1)</sup>	21 h	10 h	12 h
Acurácia horizontal <sup>(1)</sup>	$\pm ( 5 \text{ mm} + 1 \text{ ppm} )$	$\pm ( 5 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm} )$	$\pm ( 5 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm} )$
Acurácia vertical <sup>(2)</sup>	$\pm ( 10 \text{ mm} + 2 \text{ ppm} )$	$\pm ( 10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm} )$	$\pm ( 10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm} )$
Proprietário	FUNDACTE/ FCT/UNESP <sup>(3)</sup>	IAG/USP	IBGE

<sup>(1)</sup> valor aproximado em horas, para intervalo de coleta de 5 segundos e no máximo 5 satélites.

<sup>(2)</sup> modo estático, tempo da sessão de 30 minutos e base de até 10 km.

<sup>(3)</sup> Fundação de Ciências Tecnologia e Ensino/Faculdade de Ciências e Tecnologia/Universidade Estadual Paulista.

#### 4.4 Organização dos arquivos de dados GPS

Os arquivos que contêm as observações GPS foram transferidos diariamente para um computador portátil. A transferência de dados dos receptores para o disco rígido do computador foi realizada com auxílio dos *softwares* de cada fabricante. Por segurança, todos os arquivos foram copiados em discos flexíveis.

Os arquivos transferidos foram renomeados com a identificação da RN ocupada. Para diferenciar os receptores utilizados (L1L2 e L1), foram utilizadas as letras *A* (*Ashtech*) e *T* (*Trimble*) para representarem as respectivas marcas. Os arquivos da estação de referência foram alterados para 2891Pxx, sendo “xx” correspondente ao dia (calendário civil) de coleta das observações. Depois de renomeados, os arquivos com as observações GPS foram convertidos para RINEX. O arquivo com observações GPS em formato padrão (RINEX) é processado em qualquer *software*, independente do fabricante do receptor e do *software*. Esse procedimento tornou-se necessário em razão dos dados GPS terem sido coletados com equipamentos de diferentes fabricantes (Tabela 4.2), tanto para os receptores GPS quanto para os *software* utilizados no processamento das observações.

Depois de renomeados e transformados para o formato *RINEX*, os arquivos das observações GPS foram organizados em pastas classificadas segundo o tipo de receptor e o dia de coleta. Por segurança, essa versão dos arquivos foi novamente copiada para CD (*compact disc*).

Os arquivos com as observações GPS das estações PARA e UEPP foram fornecidos pelo IBGE, através da Eng. Kátia Duarte Pereira, responsável pela RBMC. Como esses arquivos de dados GPS foram fornecidos pelo IBGE em formato *RINEX*, não houve necessidade de reformatação para integrá-los aos dados coletados na campanha de observação.

#### **4.5 Processamento dos dados GPS**

No processamento das observações GPS para a determinação das coordenadas das 44 RNs posicionadas com os receptores L1L2 e L1, foi utilizado o *software GPSurvey*, versão 2.35a, comercializado pela *Trimble*. Esse *software* encontra-se disponível aos usuários do Laboratório de Topografia e Geodésia (LATOGE0) da FCT/UNESP.

O uso de um *software* comercial para o processamento dos dados GPS constitui um requisito deste projeto, pois um dos objetivos é *propor estratégias para adequar o nivelamento através do GPS às aplicações cotidianas*, orientadas aos usuários comuns do GPS, que geralmente usam *softwares* comerciais.

A característica principal da maioria dos *softwares* comerciais está relacionada ao processamento das observações GPS, que é praticamente automática. As informações básicas que o usuário deve fornecer são: a) coordenadas da estação de referência; b) definição dos arquivos a serem combinados no processamento; c) escolha das estratégias básicas de processamento, etc.

O *GPSurvey* é um *software* de pós-processamento em ambiente Windows, com capacidade de processar observações de uma ou duas frequências; fornecer informações para planejamento de missões; transferir dados (receptor/computador); efetuar processamentos estático, estático rápido, cinemático, etc.; ajustar redes; mostrar graficamente os resultados; editar relatórios; transformar coordenadas e exportar dados nos formatos *American Standard Code for Information Interchange* (ASCII) ou *Drawing eXchange File* (DXF) (TRIMBLE, 1992a).

A Figura 4.6 ilustra a janela principal do *software GPSurvey*, e a Tabela 4.3 fornece a descrição da barra de ferramenta (menu).

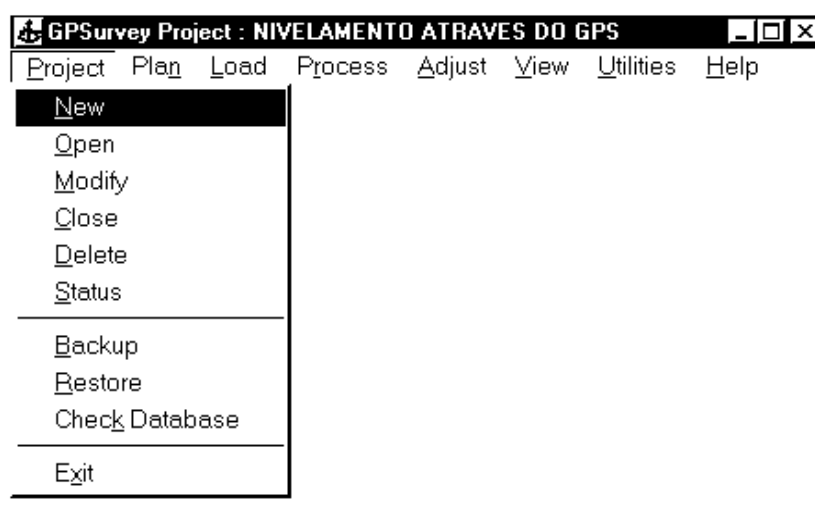


Figura 4.6 – Janela principal do software GPSurvey (2.35a).

Tabela 4.3 – Descrição dos menus do software GPSurvey (2.35a)

Menu	Descrição
Project	Gerenciamento de projetos
Plan	Planejamento de campo para a coleta de dados
Load	Transferência de dados GPS entre receptor e computador
Process	Processamento dos dados GPS (Módulo <i>WAVE</i> )
Adjust	Ajustamento de redes (Módulo <i>TRIMNET Plus</i> )
View	Módulo gráfico
Utilities	Módulo para impressão e/ou exportação de resultados
Help	Ajuda

O *software* foi utilizado em três etapas: a) para transferência entre receptor/computador, introdução das características individuais de cada estação (nome, altura da antena, etc.); b) para o processamento das observáveis GPS, com a introdução das coordenadas da estação de referência e as estratégias de processamento (intervalo de coleta, duração da sessão, tipo de observável, frequência, etc.); e c) para a impressão e/ou exportação dos resultados.

#### 4.6 Estratégias de processamento dos dados GPS

O processamento das observações GPS envolveu 3 etapas: 1) criação de um projeto principal, com todas as estações, correspondente aos receptores da estação de referência e aos receptores (L1L2 e L1) posicionados nas RNs; 2) *backup* do projeto principal, sem o processamento dos dados; e 3) criação de 24 projetos, a partir do projeto principal (*Restore*, cf. Figura 4.7), para a realização individual de cada modo de processamento.

O processamento dos dados GPS foi realizado considerando-se o posicionamento relativo estático, com as sessões variando de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 minutos e o intervalo de gravação das observáveis de 5 e 15 segundos. As observáveis correspondentes ao receptor de uma frequência foram processadas de dois modos: considerando-se apenas a pseudodistância, derivada do código C/A e a utilização da fase da onda portadora. Para o receptor de dupla frequência foi utilizada a combinação linear livre dos efeitos da ionosfera, para a pseudodistância, derivadas do código C/A e P, correspondendo às frequências L1 e L2, respectivamente; e para a fase (L0). Desse modo, foi realizado 24 combinação do processamento.

No processamento, foram utilizadas as efemérides transmitidas (*Broadcast Ephemerides*). Para reduzir os efeitos de primeira ordem da ionosfera, utilizou-se a combinação linear, entre os receptores de duas frequências. Os efeitos da troposfera foram corrigidos com o modelo de *Hopfield*, estimando um fator de escala a cada 2 horas.

A Figura 4.7 ilustra as etapas principais do processamento dos dados GPS no *GPSurvey*. Os arquivos com os dados GPS coletados na estação de referência e nas demais estações são identificados por 2891P, Receptor L1L2 e Receptor L1.

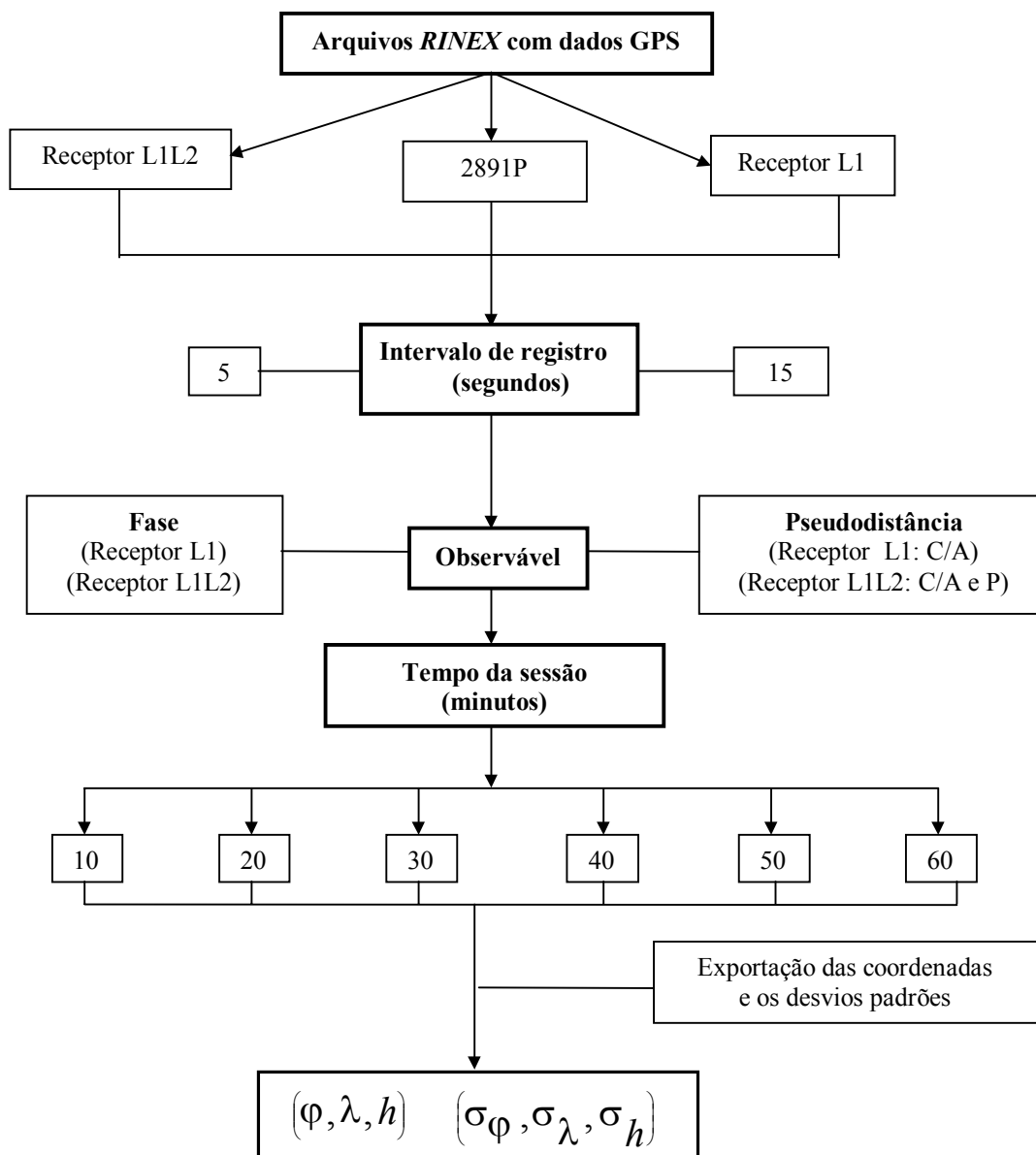


Figura 4.7 – Fluxograma do esquema de processamento utilizando o software GPSurvey (2.35a).

As informações complementares (identificação e altura da antena) de cada estação foram introduzidas no projeto principal, evitando-se assim a ocorrência de erros grosseiros. Tendo a combinação correta dos arquivos de cada receptor (L1L2, L1, 2891P), escolhe-se o intervalo de registro e o tipo de observável, e define-se o intervalo de tempo da sessão a ser processada (Apêndice B). Finalizando o processamento, deve-se exportar às coordenadas geodésicas de cada estação, para uso posterior no cálculo da altura geoidal, necessária na determinação da altitude ortométrica pelo programa GEOCOM. As coordenadas geodésicas foram exportadas no sistema de referência WGS84 – G873.

#### 4.7 Ajustamento da linha para o controle do nivelamento

As coordenadas da estação de referência deste trabalho (2891P) foram determinadas em relação às estações da RBMC de Presidente Prudente (UEPP) e Curitiba (PARA). Para isso, foi utilizada a observável da fase, resultante da combinação linear livre da ionosfera (L0), com coletadas a cada 15 segundos, e duração das sessões em média de 8 horas para os nove dias, e foram usadas as efemérides transmitidas. Nesse processamento, foram determinados 18 vetores, processados individualmente, em relação às estações UEPP e PARA.

Em função do modo de processamento dos dados GPS, determinaram-se 24 vezes as coordenadas da mesma RN, para cada receptor (L1L2 e L1). Para a verificação da altitude geométrica em cada ponto, foi realizado o processamento dos dados GPS referentes às 43 RNs ocupadas com o receptor L1L2. Nesse processamento, foram determinados 43 vetores, os quais foram processados individualmente, em relação à estação 2891P. As sessões tiveram duração de 60 minutos e observáveis coletadas a cada 15 segundos, utilizando-se efemérides transmitidas.

Com a conclusão do processamento, efetuou-se o ajustamento da rede GPS, formada pelas 46 estações (UEPP, PARA, 2891P e as 43 RNs), tendo como observáveis originais as componentes  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  e  $\Delta Z$  que foram transformadas em azimuth, distância e diferença de elevação, associada à respectiva matriz covariância (TRIMBLE, 1992a).

As altitudes geométrica ( $\hat{h}$ ) obtidas no ajustamento dessa rede foram consideradas como referências, permitindo a análise de todos os modos de processamento para as 43 RNs, que compõem a linha de nivelamento deste trabalho.

A discrepância de altitude geométrica ( $\Delta\hat{h}$ ) e o respectivo erro padrão ( $\sigma_{\Delta\hat{h}}$ ), para cada RN posicionada, usando os receptores L1L2 e L1, é expressa por.

$$\Delta\hat{h}_i = \hat{h}_i - h_i \quad \text{e} \quad (4.1)$$

$$\sigma_{\Delta\hat{h}_i} = \pm \sqrt{\sigma_{\hat{h}_i}^2 + \sigma_{h_i}^2} \quad (4.2)$$

onde  $\hat{h}_i$  e  $h_i$  representam, respectivamente, as altitudes geométrica ajustadas e as determinadas para cada modo de processamento,  $\sigma_{\hat{h}_i}$  é o erro padrão obtido no ajustamento, e

$\sigma_{h_i}$  é o desvio padrão da altitude geométrica obtida no processamento das observações GPS, correspondendo aos receptores L1L2 e L1.

#### **4.8 Nivelamento através do GPS**

O nivelamento por GPS foi realizado com posicionamento usando receptores GPS equipados com antenas de uma e de duas frequências, combinado com o modelo do geóide gravimétrico na forma digital, determinado recentemente para o Estado de São Paulo (SOUZA, 2002).

##### **4.8.1 Realização do nivelamento**

O nivelamento por GPS, que constitui o principal objetivo deste trabalho, envolve o posicionamento relativo das RNs da linha de nivelamento em relação a estação de referência  $(\Delta\varphi_i, \Delta\lambda_i, \Delta h_i)$ , e as diferenças entre as alturas geoidais na estação de referência e nas RNs  $(\Delta N_i)$ , calculadas a partir do geóide gravimétrico na forma digital. A relação entre a altitude ortométrica  $(H_{GPS_i})$  nos pontos de interesse com a diferença de altitude geométrica  $(\Delta h_i = h_i - h_A)$  e de altura geoidal  $(\Delta N_i = N_i - N_A)$ , ilustrada na Figura 4.8, é expressa por.

$$H_{GPS_i} = H_A + \Delta h_i - \Delta N_i \quad (4.3)$$

onde os subscritos  $A$  e  $i$  indicam a estação de referência e o ponto de interesse, respectivamente.

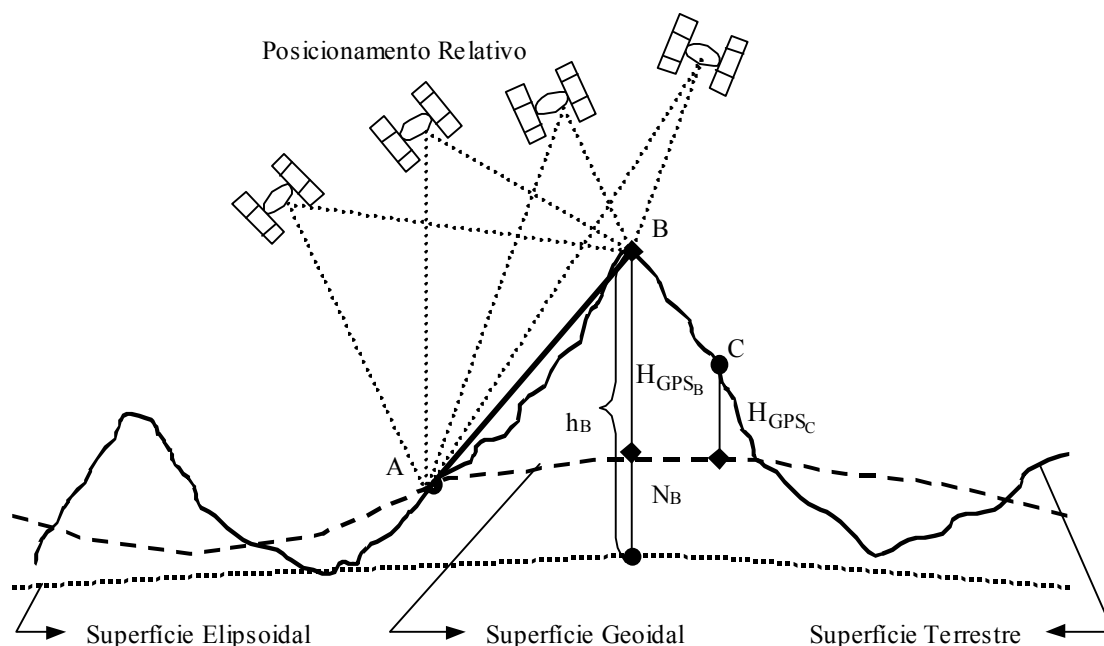


Figura 4.8 – Representação esquemática do nivelamento através do GPS.

A Figura 4.8, ilustra o nivelamento através do GPS. Os dados conhecidos para a estação de referência, representada por A, correspondem às coordenadas geodésicas  $(\varphi_A, \lambda_A, h_A)$ , altitude ortométrica ( $H_A$ ) e altura geoidal ( $N_A$ ). Para as outras estações, os dados conhecidos correspondem às coordenadas geodésicas  $(\varphi_i, \lambda_i, h_i)$  e a respectiva altura geoidal ( $N_i$ ). Os dados calculados correspondem às diferenças de altitude geométrica ( $\Delta h_i = h_i - h_A$ ) e da altura geoidal ( $\Delta N_i = N_i - N_A$ ), entre as estações de referência (A) e as demais (i). Os dados determinados são as altitudes ortométricas nos pontos (B, C, ... i), identificados por  $H_{GPS_B}$ ,  $H_{GPS_C}$ , ...,  $H_{GPS_i}$ , respectivamente.

Na Figura 4.9, apresenta-se o fluxograma com as etapas principais do programa GEOCOM, para determinações de  $\Delta N_i$  e  $H_i$  de cada RN. Nesse caso, os valores são relativos à estação de referência 2891P. Os dados conhecidos correspondem as coordenadas geodésica de cada ponto, sendo que, para a estação de referência deve-se informar também a altitude ortométrica. O arquivo criado com os resultados será constituído por  $\varphi_i, \lambda_i, h_i, \Delta N_i$  e  $H_{GPS_i}$  de cada RN.

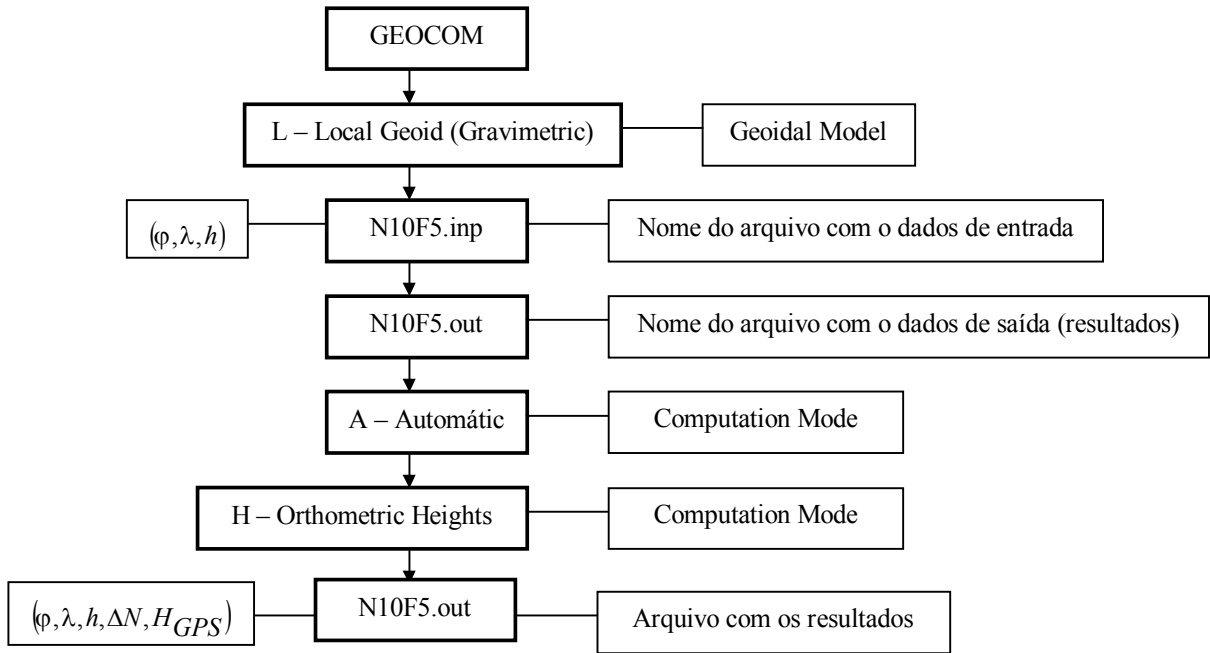


Figura 4.9 – Fluxograma do esquema de utilização do programa GEOCOM.

#### 4.8.2 Avaliação do nivelamento

A avaliação do nivelamento consiste basicamente na análise estatística das discrepâncias entre as altitudes ortométrica obtidas com o nivelamento geométrico ( $H$ ) e com o GPS ( $H_{GPS}$ ), utilizando o geóide gravimétrico na forma digital, determinado para o Estado de São Paulo e regiões adjacentes (SOUZA, 2002).

O geóide fornece  $\Delta N_i$  e o respectivo erro relativo ( $\sigma_{\Delta N_i}$ ). Com base na expressão (4.3), obtém-se a discrepância da altitude ortométrica ( $\Delta H$ ) para cada RN posicionada através do GPS.

$$\Delta H_i = H_i - H_{GPS_i} = H_i - (H_A + \Delta h_i - \Delta N_i) \quad \text{e} \quad (4.4)$$

$$\Delta h_i = h_i - h_A \quad (4.5)$$

A propagação das variâncias observacionais fornece diretamente o erro padrão associado à discrepância.

$$\sigma_{\Delta H_i} = \pm \sqrt{\sigma_{H_i}^2 + \sigma_{H_A}^2 + \sigma_{\Delta h_i}^2 + \sigma_{\Delta N_i}^2} \quad (4.6)$$

onde  $\sigma_{H_i}$  e  $\sigma_{H_A}$  são os erros padrões do nivelamento geométrico para a RN de interesse ( $i$ ) e a estação de referência ( $A$ ), respectivamente; e  $\sigma_{\Delta h_i}$  é o obtido a partir dos desvios padrões das observações  $\left(\sigma_{\Delta h_i} = \pm\sqrt{\sigma_{h_i}^2 + \sigma_{h_A}^2}\right)$ .

A expressão (3.1) fornece erro relativo ( $\sigma_{\Delta N}$ ) do geóide; a partir do processamento dos dados GPS coletados com os receptores (L1L2 e L1) obtém-se o desvio padrão ( $\sigma_h$ ); a expressão (5.2) fornece o erro padrão ( $\sigma_H$ ) do nivelamento geométrico.

#### 4.8.3 Controle do nivelamento

Substituindo  $h_i$  por  $\hat{h}_i$  na expressão (4.5) determinou-se  $\left(\Delta H_i^*\right)$  para cada RN e, a partir da propagação das variâncias observacionais, expressa por (4.6), calculou-se  $\sigma_{\Delta H_i^*}$  para cada discrepância. Com os resultados de  $\Delta H_i^*$  pode-se avaliar os resultados obtidos com o nivelamento através do GPS. Para isso, foram calculados os parâmetros estatísticos usuais, a média  $\left(\Delta \bar{H}^*\right)$ , o desvio padrão  $\left(\hat{\sigma}_{\Delta H^*}\right)$  e a raiz quadrada do erro quadrático médio (*mean square error*)  $\left(MSE_{\Delta H^*}\right)$  (MIKHAIL e ACKERMANN, 1976).

$$\Delta \bar{H}^* = \frac{\sum \Delta H_i^*}{n} \quad (4.7)$$

$$\hat{\sigma}_{\Delta H^*} = \sqrt{\frac{\sum \left(\Delta H_i^* - \Delta \bar{H}^*\right)^2}{n-1}} \quad (4.8)$$

$$MSE_{\Delta H^*} = \sqrt{\hat{\sigma}_{\Delta H^*}^2 + \Delta \bar{H}^{*2}} \quad (4.9)$$

onde  $n$  é o número total de RNs avaliadas.

A média  $\left(\Delta \bar{H}^*\right)$  quantifica a tendência (efeito sistemático), e  $\hat{\sigma}_{\Delta H^*}$  indica a dispersão das discrepâncias em torno da média  $\left(\Delta \bar{H}^*\right)$ . O valor de  $MSE_{\Delta H^*}$  refere-se ao grau de concordância de uma estimativa e o seu valor “verdadeiro” e está vinculada aos efeitos aleatórios e sistemáticos (MIKHAIL e ACKERMANN, 1976).

Para identificar e excluir possíveis erros grosseiros, foi adotado o seguinte critério de rejeição:  $\left( \left| \Delta H_i^* \right| \geq 3\hat{\sigma}_{\Delta H^*} \right)$ . Assim, as RNs cujas discrepâncias não satisfizeram esse critério foram eliminadas da análise do nivelamento obtido com os receptores L1L2 e L1.

O nivelamento por GPS será avaliado a partir das discrepâncias de altitude ortométrica  $(\Delta H_i)$ , expressão (4.4), e o respectivo  $\sigma_{\Delta H_i^*}$  estimado para  $\Delta H_i^*$  a partir de  $\hat{h}_i$ .

#### *4.8.4 Definição de estratégias para a realização do nivelamento*

Um dos objetivos deste trabalho é recomendar estratégias para realização do trabalho em campo e do processamento dos dados GPS, envolvidos no nivelamento por GPS, para orientação dos usuários interessados em obter altitude ortométrica através do GPS. A definição dessas estratégias, será fundamentada na análise das discrepâncias da altitude ortométrica expressa em (4.4) correspondentes às séries de altitudes determinadas com especificações dos seguintes critérios: a) tipo de receptor a ser usado (L1L2 ou L1); b) definição do tipo de observável GPS a serem utilizadas no processamento; c) intervalo de coleta das observáveis; d) duração da sessão; e e) comprimento do vetor base.

## 5 RESULTADOS

Neste Capítulo, são apresentados os resultados, na forma de tabelas, para o nivelamento geométrico das RNEs, o multicaminho em cada estação de referência, as discrepâncias entre altitudes geométrica e os resultados do nivelamento realizado nas RNs com o uso do GPS.

### 5.1 Referências de nível excêntricas

Na Tabela 5.1, encontram-se as informações correspondentes às RNEs, levantadas com os receptores L1L2 e L1. Essas informações consistem da identificação do ponto (RNE), da distância desse ponto à estação de referência (B), da altitude ortométrica da RNE (H), para cada receptor (L1L2 e L1), e da diferença do desnível entre o nivelamento e contranivelamento (DDn). As RNEs estão listadas em ordem crescente da distância em relação à estação base (B). No Apêndice C, encontram-se os respectivos comprimentos de visadas (ré e vante) para o nivelamento e contranivelamento de cada RNE.

Tabela 5.1 – Informações das Referências de Nível Excêntricas

RNE	B	L1L2		L1	
	(km)	H (m)	DDn (m)	H (m)	DDn (m)
2892L	22,2	616,6704	0,004	616,6759	0,003
2892V	33,9	670,7223	0,001	670,7273	0,001
2893P	47,4	739,7685	0	739,7460	-0,001
2895R	52,2	940,1754	-0,001	940,2399	0
2895T	55,0	946,1471	-0,003	946,1301	-0,005
2895V	59,4	883,1470	0	883,1395	-0,001
2896A	62,3	835,3715	0	835,3770	-0,001
2899X	89,5	696,0234	0	696,0214	0
2900M	105,3	529,4391	-0,008	529,5986	-0,005
2913N	140,3	527,6430	-0,002	527,6400	0
2914C	162,7	509,4098	0,003	509,4113	0,002
2914F	165,8	515,3374	0	515,3254	0
2920D	211,1	549,9627	0,005	549,9232	0,002
2920G	215,3	496,3183	0	496,3133	0
2954X	221,9	502,1294	-0,001	502,1714	-0,001
2955G	230,6	534,8794	0,001	534,8849	0
2951V	237,9	592,9830	0,006	592,9785	0,007
	Máximo		0,006		0,007
	Mínimo		-0,008		-0,005

## 5.2 Altitudes ortométrica preliminares

A Tabela 5.2 contém as altitudes ortométrica consideradas de referencia ( $H_i$ ), seus erros padrões ( $\sigma_{H_i}$ ) e o comprimento em relação a estação base (B), para as estações posicionadas com os receptores L1L2 e L1, identificadas por  $H_{L1L2}$  e  $H_{L1}$ , respectivamente. Para compatibilizar o referencial altimétrico foi usada a correção subtrativa de 0,259 m, na transformação das altitudes ortométrica iniciais (Tabela 3.1 e Tabela 5.1), ditas “ajustadas”, nas altitudes ditas “preliminares”. Estas foram utilizadas na comparação com as determinadas por GPS ( $H_{GPS_i}$ ), usando os receptores L1L2 e L1.

As razões pelas quais se optou pela utilização das altitudes preliminares são: a falta do erro padrão das altitudes ajustadas, e as distorções inadmissíveis no ajustamento das altitudes em relação às preliminares, chegando a 0,80 m, como ilustra a Figura 2.9.

Os erros padrões correspondentes às altitudes ortométrica ( $\sigma_{H_i}$ ) contidas na Tabela 5.2 foram obtidas a partir das recomendações encontradas nas *Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos* (IBGE, 1998a).

$$\sigma_H = 3mm \sqrt{k} \quad (5.1)$$

onde  $k$  representa a distância entre as RNs, em quilômetros. O erro padrão para a estação de referência 2891P ( $\sigma_{H_{2891P}} = 10\text{ cm}$ ) foi obtido por interpolação a partir da Figura 2.9.

A metodologia empregada para a determinação dos valores de  $k$ , na expressão (5.1), envolveu as seguintes etapas:

- cálculo das distâncias individuais ( $D_{ind_j}$ ) entre as RNs, e da distância total acumulada  $\left( D_{ac_j} = \sum_{j=1}^{n-1} D_{ind_j} \right)$  para cada RN em relação a estação base;
- determinação do fator de proporcionalidade  $\left( F_j = \frac{D_{ac_j}}{B_j} \right)$ ;
- o produto de  $B_j$  por  $F_j$ , fornece uma aproximação das distâncias niveladas, em função de  $B_j$ . O valor da média de  $F_j$  foi  $1,222 \pm 0,078$ . Com isso, a expressão (5.1) foi modificada para ser usada neste trabalho, isto é:

$$\sigma_{H_j} = \pm \sqrt{\left( 3mm \sqrt{1,222 B_j} \right)^2 + \sigma_{H_{2891P}}^2} \quad (5.2)$$

onde  $B_j$  é o comprimento em relação a estação base (2891P), em quilômetros,  $n$  é o número total de RNs e  $\sigma_{H_j}$  é o erro padrão para cada RN.

Tabela 5.2 – Altitudes ortométrica do IBGE utilizadas como referência

RN	B (km)	$H_{LIL2}$ (m)	$H_{LI}$ (m)	$\sigma_H$ (m)
2891R	2,6	549,5255	549,5255	0,100
2891V	6,9	571,6253	571,6253	0,100
2891Z	10,3	607,5839	607,5839	0,101
2892L (E)	22,2	616,4114	616,4169	0,101
2892M	23,0	599,0576	599,0576	0,101
2892S	26,8	540,0836	540,0836	0,101
2892V (E)	33,9	670,4633	670,4683	0,102
2893A	36,6	661,3981	661,3981	0,102
2893L	44,4	666,8684	666,8684	0,102
2893P (E)	47,4	739,5095	739,4870	0,103
2893R	48,2	877,2116	877,2116	0,103
2895N	48,2	950,6957	950,6957	0,103
2895R (E)	52,2	939,9164	939,9809	0,103
2895T (E)	55,0	945,8881	945,8711	0,103
2895U	57,5	907,1841	907,1841	0,103
2895V (E)	59,4	882,8880	882,8805	0,103
2896A (E)	62,3	835,1125	835,1180	0,103
2896F	63,1	848,2891	848,2891	0,103
2874T	72,0	753,6962	753,6962	0,104
2899X (E)	89,5	695,7644	695,7624	0,105
2900F	100,6	483,6583	483,6583	0,105
2900L	103,0	532,1665	532,1665	0,106
2900M (E)	105,3	529,1801	529,3396	0,106
2900V	119,4	595,2764	595,2764	0,106
2913N (E)	140,3	527,3840	527,3810	0,107
2913V	151,7	463,9733	463,9733	0,108
2914A	159,3	555,3883	555,3883	0,108
2914C (E)	162,7	509,1508	509,1523	0,109
2914F (E)	165,8	515,0784	515,0664	0,109
2914L	173,0	409,2068	409,2068	0,109
2914R	182,4	448,2965	448,2965	0,110
2905T	187,0	481,2293	481,2293	0,110
2919J	191,8	545,6780	545,6780	0,110
2919R	199,3	457,0399	457,0399	0,110
2920A	206,1	559,5618	559,5618	0,111
2920D (E)	211,1	549,7037	549,6642	0,111
2920G (E)	215,3	496,0593	496,0543	0,111
2954X (E)	221,9	501,8704	501,9124	0,112
2955G (E)	230,6	534,6204	534,6259	0,112
2951Z	233,3	600,1992	600,1992	0,112
2951V (E)	237,9	592,7240	592,7195	0,112
2951M	247,2	579,1774	579,1774	0,113
2951E	252,1	529,0079	529,0079	0,113

### 5.3 Multicaminho nas estações de referência

Na seção 2.3.1, foram descritos os fatores que degradam a precisão do posicionamento por GPS. O erro associado ao multicaminho foi estimado para as frequências L1 e L2 com o auxílio do *software* TEQC (UNAVCO, 2002). A Tabela 5.3 mostra os valores de MP1 e MP2 correspondentes aos multicaminhos nas frequências L1 e L2, respectivamente. Assim, foram determinados MP1 e MP2 para as estações 2891P, UEPP e PARA. Os dados GPS são aqueles coletados durante toda campanha, ou seja, durante os nove dias de coleta, com duração das sessões em torno de 8 horas, e com intervalo de coleta de 15 segundos. Os arquivos *RINEX* da estação 2891P foram reamostrados de 5 para 15 segundos, também com o auxílio do TEQC.

Tabela 5.3 – Multicaminhos nas estações de referências

Estação	2891P		UEPP		PARA	
Receptor	Z-XII		4000 SSI		4000 SSI	
Frequência	MP1	MP2	MP1	MP2	MP1	MP2
Dias do Ano	(m)		(m)		(m)	
066	0,135	0,195	0,265	0,782	0,234	0,893
067	0,138	0,194	0,257	0,760	0,232	0,832
068	0,131	0,182	0,259	0,780	0,230	0,837
071	0,141	0,214	0,269	0,814	0,230	0,791
072	0,140	0,196	0,273	0,814	0,234	0,864
073	0,139	0,196	0,269	0,795	0,232	0,840
074	0,143	0,203	0,264	0,787	0,233	0,872
075	0,162	0,212	0,274	0,869	0,240	0,904
076	0,137	0,200	0,272	0,840	0,235	0,877
Média	0,141	0,199	0,267	0,805	0,233	0,856
Desvio Padrão	0,009	0,010	0,006	0,034	0,003	0,035

Analisando a Tabela 5.3, observa-se MP1, correspondentes às mesmas estações, permanece quase constantes em todos os dias. Mas MP2 apresenta variações, o que pode ser verificado nos respectivos desvios padrões. Além disso, os valores de MP1 e MP2 são diferentes conforme os tipos de receptores. Isso ocorre, provavelmente, porque as técnicas e algoritmos utilizados pelos fabricantes para acessar as portadoras são diferentes, bem como devido ao próprio multicaminho na estação.

#### 5.4 Ajustamentos da rede GPS

Para os 18 vetores formados com as estações (UEPP–2891P) e (PARA–2891P), processados individualmente para determinação das coordenadas da estação de referência 2891P, as respectivas ambigüidades não foram solucionadas. Provavelmente em função do longo comprimento de base, do tempo da sessão e dos efeitos da refração ionosférica.

Os dados GPS coletados permitiram a combinação de vários modos de processamento, com as seguintes variações: a) escolha das observáveis GPS (fase ou pseudodistância); b) variações do tempo das sessões (10, 20, 30, 40, 50 e 60 minutos); c) variações do intervalo de coleta das observáveis (5 e 15 segundos). Desse modo, para cada tipo de receptor (L1L2 e L1), foram determinadas 1032 posições, das 43 RNs, ou seja, para cada RN e receptor foi possível determinar 24 vezes as coordenadas da mesma.

Para o controle dessas posições, principalmente a altitude geométrica, utilizou-se os resultados obtidos no processamento e ajustamento dos vetores formados com as estações de referência (UEPP–2891P, PARA–2891P e 2891P–RNs), utilizando a combinação L0 para a fase. Esses resultados foram considerados como referência, para fins de análise de todos os modos de processamento. A metodologia proposta para a realização deste processamento e ajustamento foi abordada na seção 4.7.

Esse processamento permitiu a determinação de 61 vetores independentes, considerando os 18 em relação às estações UEPP-2891P e PARA-2891P, e 43 em relação às estações 2891P-RNs. De todos os processamentos, apenas 33 vetores tiveram as ambigüidades solucionadas, tendo como referência a estação 2891P, correspondendo também aos vetores inferiores a 200 km.

Após o processamento dos 61 vetores independentes, realizou-se o ajustamento da rede. Em seguida, foi iniciado o processo de detecção de erros, utilizando testes de hipóteses e análise da matriz covariância das observações. Como nenhuma observação foi rejeitada, o ajustamento foi aceito no controle de qualidade, com  $\alpha = 5\%$ , após a introdução de um fator de escala (*Alternative Scalar Set Applied Globally* = 12,8) na matriz covariância.

O ajustamento das coordenadas da estação 2891P forneceu, para a latitude, longitude e altitude geométrica, respectivamente, os seguintes erros padrões  $\pm 0,9$  cm,  $\pm 0,9$  cm e  $\pm 2,17$  cm, ao nível de confiança de 68,3%, que corresponde a  $1\sigma$  (TRIMBLE, 1992b).

O ajustamento realizado para a determinação das coordenadas da estação 2891P e das 43 RNs, que formam a linha de nivelamento deste trabalho, são coerentes com os realizados por Sá et al. (2001), que utiliza o *software GeoGenius* (SP, 2000).

A Figura 5.1 ilustra a representação simplificada dos vetores formados com as três estações de referência e as 43 RNs da linha. Os vetores da estação 2891P em relação à UEPP e PARA são de aproximadamente 377 e 278 km, respectivamente. Entre a estação 2891P e as RNs da linha, os vetores variaram de 2,6 a 252 km. Em relação as estações 2891P, UEPP e PARA, verifica-se que foram formados 18 vetores independentes.

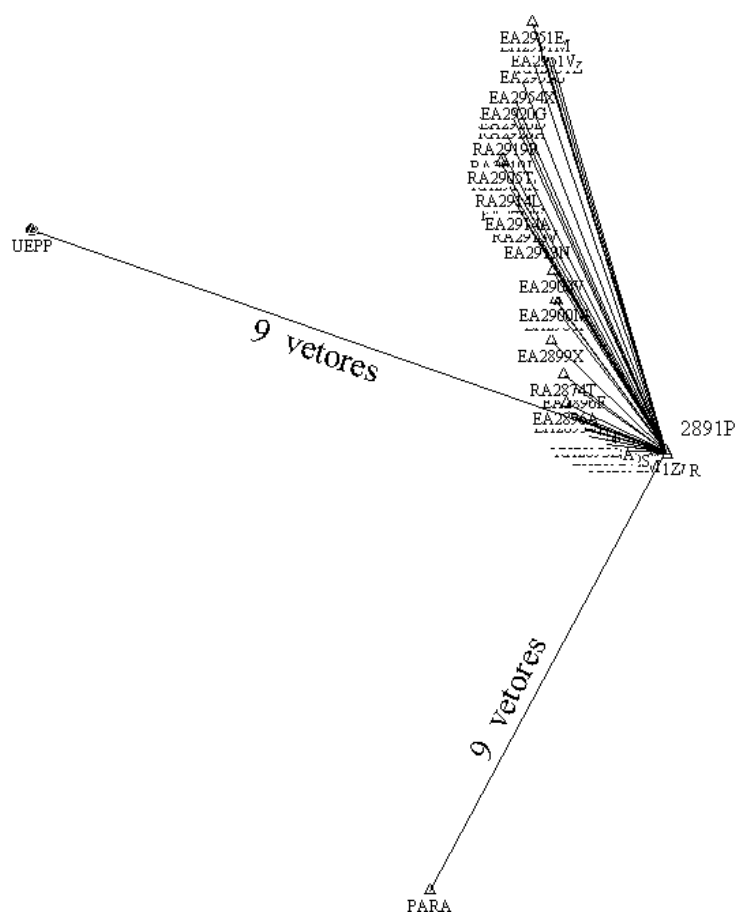


Figura 5.1 – Ilustração da representação dos vetores em relação às estações de referência e as demais RNs.

Na Tabela 5.4 apresentam-se as coordenadas geodésicas ajustadas  $(\varphi, \lambda, \hat{h})$  e os respectivos erros padrões  $(\sigma_{\varphi}, \sigma_{\lambda}, \sigma_{\hat{h}})$ , obtidas no processamento dos dados GPS, utilizando a combinação L0 para a fase. Para a determinação das coordenadas de 2891P, o tempo da sessão, em média, foi de 8 horas, e para as demais RNs, que formam a linha de nivelamento, foi de 60 minutos. Em ambos casos foram usadas as efemérides transmitidas. As estações que se encontram na referida tabela constituem a linha de nivelamento do trabalho.

Os comprimentos dos vetores estão associados à estação de referência 2891P. Utilizou-se  $\hat{h}_i$  para avaliar as não ajustadas determinadas com os receptores L1L2 e L1, de acordo com a seção 4.6.

Tabela 5.4 – Coordenadas geodésicas ajustadas e os respectivos erros padrões

RN	Vetor (km)	Latitude (° ' ")		$\sigma_{\varphi}$ (m)	Longitude (° ' ")			$\sigma_{\lambda}$ (m)	$\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\hat{h}}$ (m)	
2891P	0	-23	13	51,437314	0,009	-47	56	54,892687	0,008	585,8037	0,022
2891R	2,6	-23	15	6,382142	0,014	-47	56	16,100403	0,012	545,1832	0,031
2891V	6,9	-23	14	53,224137	0,014	-48	0	47,848969	0,013	567,2318	0,041
2891Z	10,3	-23	14	45,028693	0,014	-48	2	52,867949	0,012	603,1921	0,032
2892L (E)	22,2	-23	13	45,424547	0,012	-48	9	56,325333	0,013	611,8691	0,043
2892M	23,0	-23	13	37,463248	0,014	-48	10	22,336377	0,013	594,5022	0,035
2892S	26,8	-23	12	13,929900	0,022	-48	12	31,425029	0,021	535,5238	0,062
2892V (E)	33,9	-23	11	35,427848	0,018	-48	16	39,198752	0,034	665,7915	0,046
2893A	36,6	-23	9	59,312640	0,023	-48	17	58,070377	0,017	656,6679	0,060
2893L	44,4	-23	9	25,645776	0,019	-48	22	28,974307	0,020	662,2299	0,065
2893P (E)	47,4	-23	7	17,462984	0,017	-48	23	47,075308	0,015	734,8648	0,040
2893R	48,2	-23	6	39,831166	0,020	-48	24	2,629166	0,020	872,5844	0,062
2895N	48,2	-23	5	21,529641	0,036	-48	23	37,215695	0,025	945,9665	0,099
2895R (E)	52,2	-23	4	26,626911	0,024	-48	25	45,857561	0,021	934,9780	0,071
2895T (E)	55,0	-23	3	51,630442	0,017	-48	27	14,205926	0,017	941,2891	0,056
2895U	57,5	-23	3	12,332837	0,022	-48	28	32,342010	0,019	902,5762	0,050
2895V (E)	59,4	-23	1	58,961617	0,022	-48	29	14,826273	0,022	878,3195	0,066
2896A (E)	62,3	-22	59	31,089539	0,029	-48	29	55,744190	0,021	830,5248	0,061
2896F	63,1	-22	54	25,272897	0,033	-48	27	17,089982	0,025	843,4419	0,085
2874T	72,0	-22	50	34,611329	0,031	-48	30	42,356364	0,023	748,6670	0,076
2899X (E)	89,5	-22	40	36,873260	0,020	-48	35	2,638451	0,021	690,3262	0,074
2900F	100,6	-22	30	55,134025	0,022	-48	33	8,729445	0,022	477,9497	0,053
2900L	103,0	-22	29	3,429910	0,125	-48	32	51,307634	0,230	526,2495	0,197
2900M	105,3	-22	27	51,866171	0,020	-48	33	22,620673	0,015	523,3816	0,051
2900V	119,4	-22	19	16,758466	0,142	-48	34	23,792917	0,222	589,3902	0,299
2913N (E)	140,3	-22	8	57,898856	0,024	-48	39	36,932724	0,025	521,0530	0,086
2913V	151,7	-22	4	3,634052	0,028	-48	43	42,008359	0,025	457,4507	0,075
2914A	159,3	-22	0	34,599596	0,052	-48	46	0,647603	0,030	549,0299	0,107
2914C (E)	162,7	-21	58	54,624601	0,028	-48	46	51,020215	0,022	502,8886	0,074
2914F (E)	165,8	-21	57	19,989513	0,039	-48	47	35,359789	0,036	508,2491	0,118
2914L	173,0	-21	53	30,220885	0,032	-48	48	51,235558	0,025	402,8597	0,085
2914R	182,4	-21	48	24,954472	0,033	-48	50	18,630741	0,020	442,3419	0,060
2905T	187,0	-21	46	14,885449	0,020	-48	51	37,775652	0,023	474,7958	0,074
2919J	191,8	-21	42	58,796340	0,025	-48	51	9,534905	0,020	539,2741	0,052
2919R	199,3	-21	37	45,301217	0,036	-48	49	55,427583	0,028	450,3980	0,104
2920A	206,1	-21	32	43,727591	0,071	-48	47	51,540506	0,142	552,9077	0,247
2920D (E)	211,1	-21	29	43,163207	0,107	-48	47	44,287747	0,186	543,2460	0,218
2920G (E)	215,3	-21	27	1,497698	0,088	-48	47	14,095678	0,132	489,4540	0,140
2954X (E)	221,9	-21	22	9,227945	0,147	-48	44	37,954838	0,681	495,0450	0,188
2955G (E)	230,6	-21	15	53,006106	0,114	-48	41	10,403527	0,466	527,5499	0,341
2951Z	233,3	-21	12	48,612104	0,080	-48	36	3,054070	0,137	593,2489	0,125
2951V (E)	237,9	-21	10	42,660554	0,121	-48	37	53,149775	0,232	585,6740	0,307
2951M	247,2	-21	6	10,410945	0,148	-48	40	18,393847	0,256	571,8432	0,301
2951E	252,1	-21	3	44,836993	0,141	-48	41	38,547688	0,199	521,8681	0,253
UEPP		-22	7	11,665220	FIXED	-51	24	30,744340	FIXED	431,1081	FIXED
PARA		-25	26	54,135000	FIXED	-49	13	51,460230	FIXED	925,9027	FIXED

#### 5.4.1 Controle do receptor L1L2 para a combinação linear L0

Nas Tabelas 5.5a e 5.5b encontram-se as discrepâncias de altitude geométrica ( $\Delta\hat{h}$ ) e os respectivos erros padrões ( $\sigma_{\Delta\hat{h}}$ ) para o receptor L1L2. O processamento foi efetuado para as sessões de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 minutos, utilizando a combinação L0, com os intervalos de 5 e 15 segundos. Essas discrepâncias de altitude geométrica e os erros padrões correspondentes foram expressos por (4.1) e (4.2). Os valores de  $\hat{h}_i$  e  $\sigma_{\hat{h}_i}$  encontram-se na Tabela 5.4, e  $h_i$  e  $\sigma_{h_i}$  no Apêndice D.

De forma similar às expressões (4.7), (4.8) e (4.9), calculou-se também os parâmetros estatísticos para os conjuntos de  $\Delta\hat{h}$ , em cada sessão, obtendo-se a média das discrepâncias de altitudes geométrica ( $\Delta\bar{h}$ ), o desvio padrão ( $\hat{\sigma}_{\Delta h}$ ) e a raiz quadrada do erro quadrático médio ( $MSE_{\Delta h}$ ), dados por.

$$\Delta\bar{h} = \frac{\sum \Delta\hat{h}_i}{n} \quad (5.3)$$

$$\hat{\sigma}_{\Delta h} = \sqrt{\frac{\sum (\Delta\hat{h}_i - \Delta\bar{h})^2}{n-1}} \quad (5.4)$$

$$MSE_{\Delta h} = \sqrt{\hat{\sigma}_{\Delta h}^2 + \Delta\bar{h}^2} \quad (5.5)$$

onde  $n$  é o número total de RNs avaliadas.

Essa metodologia foi adotada também para os resultados obtidos com os processamentos dos dados coletados com os receptores L1L2 e L1, utilizando a fase ou pseudodistância, para todas as sessões (10, 20, 30, 40, 50 e 60 minutos), e os intervalos de coleta (5 e 15 segundos).

Os valores destacados nas Tabelas 5.5 a 5.8 correspondem aos valores máximos e mínimos para cada intervalo do tempo da sessão (10, 20, 30, 40, 50 e 60 minutos).

Tabela 5.5a – Discrepância da altitude geométrica para o receptor L1L2, usando L0 e intervalo de 5 segundos

Vetor (km)	10 min		20 min		30 min		40 min		50 min		60 min	
	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)
2,6	0,009	0,031	-0,001	0,031	0,001	0,031	-0,002	0,031	0,001	0,031	0,000	0,031
6,9	-0,015	0,042	-0,022	0,041	-0,007	0,041	-0,002	0,041	0,001	0,041	0,002	0,041
10,3	-0,004	0,032	0,006	0,032	-0,004	0,032	-0,002	0,032	-0,002	0,032	0,000	0,032
22,2	-0,002	0,043	-0,002	0,043	-0,002	0,043	-0,002	0,043	0,000	0,043	0,000	0,043
23,0	-0,010	0,035	-0,005	0,035	-0,003	0,035	-0,002	0,035	0,000	0,035	-0,001	0,035
26,8	-0,070	0,063	-0,254	0,063	-0,245	0,063	-0,243	0,062	-0,239	0,062	0,000	0,062
33,9	0,041	0,048	-0,192	0,047	-0,182	0,047	0,001	0,046	-0,002	0,046	-0,002	0,046
36,6	-0,055	0,061	-0,036	0,061	-0,010	0,061	0,021	0,061	0,046	0,061	-0,002	0,061
44,4	-0,003	0,065	-0,001	0,065	0,000	0,065	0,003	0,065	0,008	0,065	0,010	0,065
47,4	-0,143	0,040	-0,145	0,040	-0,158	0,040	-0,041	0,040	-0,025	0,040	-0,002	0,040
48,2	-0,077	0,063	0,135	0,062	0,142	0,062	0,085	0,062	0,088	0,062	0,001	0,062
48,2	-0,263	0,099	-0,387	0,099	-0,140	0,099	-0,108	0,099	-0,027	0,099	0,000	0,099
52,2	0,403	0,072	0,415	0,072	0,429	0,072	0,449	0,072	0,456	0,072	0,001	0,072
55,0	0,513	0,057	0,054	0,056	0,026	0,056	0,024	0,056	0,019	0,056	-0,002	0,056
57,5	0,565	0,050	-0,315	0,050	-0,322	0,050	-0,152	0,050	-0,009	0,050	-0,001	0,050
59,4	0,123	0,118	-0,202	0,066	0,131	0,066	-0,007	0,066	-0,009	0,066	0,001	0,066
62,3	-0,386	0,061	-0,009	0,061	-0,013	0,061	-0,001	0,061	-0,001	0,061	-0,001	0,061
63,1	0,782	0,085	-0,070	0,085	-0,078	0,085	-0,301	0,085	-0,076	0,085	0,000	0,085
72,0	0,369	0,077	0,402	0,077	0,147	0,077	0,003	0,077	0,068	0,077	-0,001	0,077
89,5	-0,059	0,075	-0,079	0,074	-0,063	0,074	-0,076	0,074	-0,064	0,074	0,001	0,074
100,6	-0,081	0,053	-0,095	0,053	-0,097	0,053	-0,096	0,053	-0,057	0,053	-0,002	0,053
103,0	-0,249	0,197	0,139	0,197	0,187	0,197	0,192	0,197	-0,092	0,197	-0,001	0,197
105,3	-0,130	0,051	0,346	0,051	-0,112	0,051	0,001	0,051	-0,002	0,051	0,000	0,051
119,4	-0,123	0,299	-0,310	0,299	-0,265	0,299	-0,001	0,299	0,013	0,299	-0,003	0,299
140,3	0,095	0,086	-0,341	0,087	-0,308	0,087	-0,207	0,087	-0,002	0,086	0,002	0,086
151,7	0,336	0,076	-0,053	0,076	-0,206	0,076	-0,022	0,075	-0,060	0,075	0,000	0,075
159,3	0,350	0,107	0,007	0,107	0,021	0,107	-0,001	0,107	0,002	0,107	-0,001	0,107
162,7	0,164	0,074	0,089	0,074	0,083	0,074	0,085	0,074	-0,021	0,074	0,004	0,074
165,8	1,147	0,118	1,228	0,118	0,983	0,118	0,999	0,118	-0,044	0,119	-0,008	0,119
173,0	0,101	0,085	0,084	0,085	0,224	0,085	-0,128	0,085	-0,157	0,085	0,005	0,085
182,4	0,042	0,060	0,135	0,060	-0,001	0,060	0,001	0,060	-0,002	0,060	0,000	0,060
187,0	-0,023	0,075	0,000	0,074	0,282	0,074	0,024	0,074	0,075	0,074	0,000	0,074
191,8	0,134	0,052	0,244	0,052	0,169	0,052	0,165	0,052	0,021	0,052	-0,006	0,052
199,3	0,134	0,104	0,032	0,104	0,089	0,104	0,013	0,104	0,022	0,104	0,000	0,104
206,1	0,277	0,328	0,538	0,263	0,322	0,252	0,135	0,250	0,019	0,248	0,006	0,247
211,1	0,127	0,245	0,165	0,226	0,167	0,221	-0,077	0,220	-0,048	0,219	-0,009	0,218
215,3	-0,299	0,172	-0,021	0,149	0,100	0,144	0,056	0,142	0,028	0,141	-0,006	0,141
221,9	0,262	0,206	0,071	0,193	0,047	0,191	0,046	0,190	0,020	0,189	0,004	0,189
230,6	-0,296	0,362	0,155	0,351	0,275	0,345	0,110	0,344	0,052	0,342	-0,005	0,342
233,3	-0,043	0,167	-0,105	0,135	-0,117	0,128	-0,060	0,126	-0,022	0,126	-0,009	0,126
237,9	0,136	0,334	-0,585	0,314	-0,585	0,309	-0,331	0,314	-0,142	0,308	-0,001	0,308
247,2	0,084	0,313	-0,228	0,309	-0,298	0,305	-0,133	0,304	-0,074	0,302	-0,004	0,302
252,1	0,438	0,320	0,163	0,268	0,001	0,257	0,033	0,254	0,037	0,254	-0,009	0,254
Máximo	1,147		1,228		0,983		0,999		0,456		0,010	
Mínimo	-0,386		-0,585		-0,585		-0,331		-0,239		-0,009	
$\Delta\bar{h}$	0,100		0,022		0,014		0,011		-0,005		-0,001	
$\bar{\sigma}_{\Delta h}$	0,294		0,289		0,247		0,202		0,094		0,004	
$MSE_{\Delta h}$	0,311		0,290		0,247		0,202		0,094		0,004	

Tabela 5.5b – Discrepância da altitude geométrica para o receptor L1L2, usando L0 e intervalo de 15 segundos

Vetor (km)	10 min		20 min		30 min		40 min		50 min		60 min	
	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)
2,6	0,005	0,031	0,002	0,031	0,000	0,031	-0,004	0,031	0,000	0,031	0,000	0,031
6,9	-0,016	0,042	-0,022	0,041	-0,007	0,041	-0,003	0,041	0,000	0,041	0,000	0,041
10,3	0,005	0,032	0,006	0,032	-0,004	0,032	-0,002	0,032	-0,002	0,032	0,000	0,032
22,2	-0,002	0,043	-0,003	0,043	-0,002	0,043	-0,003	0,043	0,000	0,043	0,000	0,043
23,0	-0,012	0,035	-0,004	0,035	-0,003	0,035	-0,002	0,035	0,000	0,035	0,000	0,035
26,8	-0,068	0,063	-0,058	0,062	0,023	0,062	-0,089	0,062	-0,012	0,062	0,000	0,062
33,9	0,040	0,048	-0,192	0,047	-0,182	0,047	0,002	0,046	-0,002	0,046	-0,001	0,046
36,6	-0,054	0,061	-0,036	0,061	-0,008	0,061	0,023	0,061	0,048	0,061	-0,001	0,061
44,4	-0,004	0,065	-0,001	0,065	0,001	0,065	0,003	0,065	0,008	0,065	0,010	0,065
47,4	-0,140	0,040	-0,143	0,040	-0,155	0,040	-0,038	0,040	-0,023	0,040	-0,001	0,040
48,2	-0,080	0,063	0,133	0,062	0,141	0,062	0,084	0,062	0,088	0,062	0,000	0,062
48,2	-0,384	0,099	-0,388	0,099	-0,137	0,099	-0,108	0,099	-0,026	0,099	-0,001	0,099
52,2	0,397	0,072	0,413	0,072	0,427	0,072	0,448	0,072	0,455	0,072	0,000	0,072
55,0	0,535	0,057	0,056	0,056	0,027	0,056	0,026	0,056	0,020	0,056	0,000	0,056
57,5	-0,347	0,050	-0,313	0,050	-0,150	0,050	-0,150	0,050	-0,007	0,050	-0,001	0,050
59,4	0,124	0,066	-0,203	0,066	0,129	0,066	-0,010	0,066	-0,010	0,066	-0,001	0,066
62,3	-0,385	0,061	-0,007	0,061	-0,010	0,061	0,000	0,061	0,000	0,061	0,000	0,061
63,1	0,054	0,085	-0,070	0,085	-0,312	0,085	-0,301	0,085	-0,074	0,085	0,000	0,085
72,0	0,371	0,077	0,402	0,077	0,146	0,077	0,150	0,077	0,069	0,077	0,000	0,077
89,5	-0,063	0,075	-0,082	0,074	-0,065	0,074	-0,076	0,074	-0,065	0,074	0,000	0,074
100,6	-0,083	0,053	-0,092	0,053	-0,094	0,053	-0,093	0,053	-0,054	0,053	-0,002	0,053
103,0	-0,249	0,197	0,139	0,197	0,187	0,197	0,217	0,197	-0,127	0,197	-0,002	0,197
105,3	-0,133	0,051	0,345	0,051	-0,113	0,051	0,027	0,051	-0,003	0,051	0,000	0,051
119,4	-0,768	0,299	-0,311	0,299	-0,268	0,299	-0,003	0,299	0,011	0,299	-0,003	0,299
140,3	0,485	0,086	-0,349	0,087	-0,310	0,087	-0,206	0,087	0,011	0,086	0,000	0,086
151,7	0,338	0,076	-0,053	0,076	-0,207	0,076	-0,022	0,075	-0,058	0,075	0,002	0,075
159,3	0,154	0,107	0,004	0,107	0,019	0,107	0,000	0,107	0,003	0,107	0,000	0,107
162,7	0,162	0,074	0,086	0,074	0,081	0,074	0,082	0,074	-0,025	0,074	0,001	0,074
165,8	1,914	0,118	1,226	0,118	0,980	0,118	1,000	0,118	0,028	0,118	-0,002	0,119
173,0	0,098	0,085	0,082	0,085	0,220	0,085	-0,132	0,085	-0,113	0,085	0,001	0,085
182,4	0,043	0,060	0,135	0,060	0,000	0,060	0,001	0,060	-0,002	0,060	0,001	0,060
187,0	0,218	0,074	-0,003	0,074	0,278	0,074	0,096	0,074	0,074	0,074	0,000	0,074
191,8	0,135	0,052	0,246	0,052	0,172	0,052	0,169	0,052	0,026	0,052	-0,002	0,052
199,3	0,284	0,104	0,082	0,104	0,088	0,104	0,012	0,104	0,024	0,104	0,000	0,104
206,1	0,264	0,320	0,506	0,262	0,314	0,251	0,130	0,250	0,013	0,248	0,002	0,247
211,1	0,117	0,244	0,166	0,226	0,168	0,221	-0,071	0,220	-0,045	0,219	-0,005	0,218
215,3	-0,231	0,170	-0,015	0,149	0,095	0,143	0,058	0,142	0,032	0,141	-0,005	0,141
221,9	0,238	0,206	0,066	0,193	0,046	0,191	0,044	0,190	0,017	0,189	0,001	0,189
230,6	-0,282	0,360	0,116	0,352	0,252	0,345	0,105	0,344	0,064	0,342	0,000	0,342
233,3	-0,049	0,166	-0,101	0,135	-0,117	0,128	-0,056	0,126	-0,021	0,126	-0,006	0,126
237,9	0,197	0,331	-0,607	0,314	-0,594	0,309	-0,337	0,313	-0,128	0,308	-0,001	0,308
247,2	0,022	0,313	-0,214	0,309	-0,287	0,305	-0,118	0,303	-0,065	0,302	-0,002	0,302
252,1	0,367	0,316	0,152	0,268	0,000	0,257	0,045	0,254	-0,013	0,254	-0,004	0,254
Máximo	1,914		1,226		0,980		1,000		0,455		0,010	
Mínimo	-0,768		-0,607		-0,594		-0,337		-0,128		-0,006	
$\bar{\Delta h}$	0,075		0,025		0,018		0,021		0,003		0,000	
$\bar{\sigma}_{\Delta h}$	0,383		0,285		0,243		0,200		0,085		0,002	
$MSE_{\Delta h}$	0,390		0,286		0,243		0,201		0,085		0,002	

Em todas as sessões, os processamentos da combinação L0 tiveram as ambigüidades solucionadas, para vetores inferiores a 200 km, considerando ambas as de coleta. Isto corresponde a aproximadamente 80% dos vetores em cada sessão.

Deve-se ressaltar que para os vetores inferiores a 10 km utilizou-se no processamento apenas da portadora L1, pois a combinação L0 apresenta ruído maior do que a L1, não oferecendo vantagens no processamento de bases curtas. Isto ocorre porque os efeitos da ionosfera são praticamente eliminados no posicionamento relativo de bases curtas, com a utilização apenas de uma portadora (MONICO, 2000).

Analisando as Tabelas 5.5a e 5.5b observa-se que, em geral, as discrepâncias de altitude geométrica ( $\Delta\hat{h}$ ) possuem erros padrões praticamente iguais ( $\sigma_{\Delta\hat{h}}$ ). Para os intervalos de 5 e 15 segundos, nota-se que os valores máximos e mínimos para  $\Delta\hat{h}$ , nas respectivas sessões, ocorreram para os mesmos comprimentos dos vetores. Verifica-se também que os valores da precisão ( $\hat{\sigma}_{\Delta h}$ ) e exatidão ( $MSE_{\Delta h}$ ) melhoram com o aumento do intervalo de tempo da sessão e, a partir de 20 minutos, esses valores são praticamente iguais, considerando as respectivas sessões, em ambos intervalos de coletas (5 e 15 segundos).

Contudo, para a sessão de 10 minutos, existe uma divergência entre os valores de  $\Delta\hat{h}$ , para os vetores de 48,2; 57,5; 63,1; 119,4; 140,3; 159,3; 187,0 e 199,3 km, o que contribui para grande diferença entre os  $MSE_{\Delta h}$ , apresentados na respectiva sessão, para os intervalos de 5 segundos (0,311 m) e de 15 segundos (0,390 m), em relação às outras sessões. Pode-se observar também que para o vetor de 26,8 km, às sessões de 20, 30, 40 e 50 minutos, e ambos intervalos de coleta, há uma divergência entre as respectivas  $\Delta h$ .

Entretanto, os valores de  $\Delta\hat{h}$  são altamente correlacionados, apresentando seguintes coeficientes de correlação: 0,76; 0,99; 0,97; 0,99; 0,92 e 0,90, respectivamente para as sessões de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 minutos, indicando que os resultados para os dois intervalos de coleta (5 e 15 segundos) são praticamente iguais. Em outras palavras, intervalo de coleta com intervalo pequeno só tem sentido para ocupação de poucos minutos.

#### 5.4.2 Controle do receptor L1L2 para a pseudodistância

As Tabelas 5.6a e 5.6b mostram  $\Delta\hat{h}$  e os respectivos  $\sigma_{\hat{h}}$ , obtidos da discrepância entre  $\hat{h}$  (Tabela 5.4) e  $h$ , determinada com o receptor L1L2, utilizando a observável da combinação da pseudodistância livre dos efeitos da ionosfera para os intervalos de 5 e 15 segundos, respectivamente. Os valores de  $h_i$  e  $\sigma_{h_i}$ , encontram-se no Apêndice E.

Tabela 5.6a – Discrepância da altitude geométrica para o receptor L1L2 para pseudodistância e intervalo de 5 segundos

Vetor (km)	10 min		20 min		30 min		40 min		50 min		60 min	
	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)
2,6	-0,240	0,186	-0,059	0,094	0,063	0,077	0,138	0,071	0,097	0,063	0,157	0,055
6,9	-0,219	0,435	-1,071	0,291	-0,457	0,251	-0,298	0,192	-0,306	0,161	-0,283	0,139
10,3	-0,139	0,290	-0,690	0,154	-0,864	0,150	-0,572	0,136	-0,423	0,127	-0,320	0,121
22,2	-0,065	0,640	0,398	0,390	0,755	0,327	0,648	0,280	0,528	0,261	0,525	0,273
23,0	0,273	0,581	0,594	0,315	0,435	0,232	0,272	0,186	0,213	0,165	0,287	0,151
26,8	-1,824	0,617	-0,784	0,393	0,118	0,328	0,293	0,256	0,656	0,224	0,524	0,205
33,9	0,137	0,557	-0,439	0,337	0,055	0,347	0,190	0,277	0,351	0,236	0,555	0,206
36,6	1,070	0,891	-0,549	0,565	0,355	0,480	0,666	0,442	0,436	0,371	0,606	0,329
44,4	-0,132	0,467	-0,731	0,344	-0,493	0,293	-0,538	0,298	-0,651	0,279	-0,627	0,243
47,4	0,944	0,431	0,526	0,256	0,405	0,206	-0,066	0,196	-0,202	0,165	-0,107	0,143
48,2	-0,766	0,822	-0,137	0,512	0,055	0,405	-0,184	0,334	-0,137	0,289	-0,413	0,249
48,2	1,116	0,529	1,068	0,359	1,090	0,330	0,734	0,306	0,629	0,274	0,416	0,257
52,2	-1,541	0,792	-0,238	0,495	0,320	0,396	0,424	0,290	0,427	0,239	0,560	0,212
55,0	3,316	0,960	2,860	0,570	1,134	0,396	0,681	0,297	0,240	0,267	0,480	0,227
57,5	0,863	0,253	0,328	0,245	0,097	0,216	0,235	0,212	0,286	0,181	0,518	0,174
59,4	0,023	0,689	0,471	0,407	0,586	0,330	0,291	0,279	0,328	0,241	0,530	0,215
62,3	0,323	0,340	0,469	0,259	0,113	0,205	0,216	0,176	0,216	0,176	0,216	0,176
63,1	1,288	0,700	0,440	0,445	0,753	0,344	0,883	0,303	0,462	0,290	0,266	0,267
72,0	-0,616	0,586	-0,612	0,429	-0,452	0,370	-0,062	0,303	0,106	0,260	0,151	0,217
89,5	0,423	0,470	0,559	0,368	1,518	0,337	1,241	0,278	1,186	0,242	0,795	0,234
100,6	-0,379	0,324	-0,047	0,285	0,103	0,231	0,142	0,206	0,118	0,189	-0,143	0,179
103,0	1,576	0,671	1,595	0,482	2,265	0,404	2,180	0,369	1,606	0,355	1,079	0,338
105,3	-0,712	0,278	-0,423	0,217	-0,116	0,205	-0,253	0,189	-0,366	0,172	-0,271	0,161
119,4	0,077	0,798	0,370	0,678	0,805	0,559	0,350	0,500	-0,429	0,459	-0,654	0,422
140,3	0,988	0,228	1,030	0,498	0,784	0,429	0,246	0,331	0,986	0,279	0,800	0,251
151,7	1,743	0,478	1,148	0,295	1,135	0,212	0,875	0,192	0,971	0,172	0,916	0,157
159,3	-2,543	0,603	-2,578	0,435	-0,984	0,415	0,052	0,380	-0,528	0,336	-0,227	0,318
162,7	1,827	0,492	1,937	0,717	0,731	0,493	1,570	0,401	0,707	0,342	0,458	0,286
165,8	1,762	0,579	0,548	0,387	0,362	0,279	0,608	0,256	0,935	0,242	0,823	0,224
173,0	3,123	0,357	1,339	0,332	0,651	0,267	0,473	0,242	0,238	0,228	0,000	0,218
182,4	-1,768	0,446	-1,168	0,359	-0,997	0,288	-0,980	0,242	-0,815	0,217	-0,828	0,195
187,0	2,138	0,859	0,915	0,596	0,833	0,420	0,437	0,306	0,171	0,266	0,048	0,238
191,8	1,077	0,337	0,182	0,284	-0,069	0,228	-0,114	0,209	0,124	0,173	0,234	0,158
199,3	-0,888	0,485	0,362	0,394	0,367	0,306	0,516	0,263	0,766	0,229	0,554	0,214
206,1	0,852	0,540	0,193	0,446	0,085	0,375	0,325	0,342	0,500	0,325	0,795	0,316
211,1	1,161	0,819	1,734	0,599	1,249	0,491	0,938	0,454	0,800	0,412	0,254	0,365
215,3	-1,364	0,650	-0,300	0,435	0,326	0,351	0,086	0,313	0,339	0,312	-0,007	0,288
221,9	3,354	1,881	1,591	0,970	0,665	0,678	0,743	0,825	0,723	0,478	0,058	0,430
230,6	2,269	0,733	2,177	0,551	1,604	0,500	0,963	0,456	1,131	0,434	1,288	0,433
233,3	2,136	0,462	0,960	0,363	0,958	0,308	1,161	0,264	1,108	0,234	0,975	0,208
237,9	0,127	0,604	0,297	0,464	0,423	0,447	0,603	0,412	0,725	0,387	0,586	0,376
247,2	2,997	0,733	1,884	0,691	1,086	0,573	0,816	0,508	0,962	0,459	0,102	0,426
252,1	-3,612	0,680	-1,710	0,450	-1,291	0,370	-0,932	0,354	-0,362	0,356	-0,343	0,350
Máximo	3,354		2,860		2,265		2,180		1,606		1,288	
Mínimo	-3,612		-2,578		-1,291		-0,980		-0,815		-0,828	
$\Delta\bar{h}$	0,469		0,336		0,385		0,372		0,346		0,264	
$\bar{\sigma}_{\Delta h}$	1,549		1,069		0,726		0,609		0,549		0,490	
$MSE_{\Delta h}$	1,619		1,121		0,822		0,713		0,649		0,556	

Tabela 5.6b – Discrepância da altitude geométrica para o receptor L1L2 para pseudodistância e intervalo de 15 segundos

Vetor (km)	10 min		20 min		30 min		40 min		50 min		60 min	
	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)
2,6	-0,227	0,189	-0,063	0,093	0,062	0,077	0,138	0,069	0,097	0,062	0,153	0,055
6,9	-0,358	0,438	-1,126	0,297	-0,473	0,253	-0,331	0,192	-0,325	0,161	-0,283	0,139
10,3	-0,580	0,174	-0,703	0,154	-0,856	0,150	-0,574	0,135	-0,430	0,127	-0,316	0,120
22,2	0,072	0,614	0,415	0,394	0,730	0,329	0,620	0,281	0,501	0,262	0,493	0,274
23,0	0,529	0,479	0,612	0,316	0,413	0,235	0,274	0,188	0,222	0,166	0,289	0,152
26,8	-1,354	0,539	-0,726	0,385	0,135	0,315	0,304	0,255	0,655	0,223	0,517	0,204
33,9	0,157	0,523	-0,448	0,338	0,083	0,347	0,198	0,275	0,363	0,235	0,561	0,206
36,6	1,301	0,905	-0,616	0,561	0,313	0,478	0,638	0,442	0,425	0,371	0,602	0,330
44,4	-0,135	0,458	-0,749	0,340	-0,506	0,293	-0,545	0,298	-0,661	0,279	-0,635	0,242
47,4	0,902	0,432	0,533	0,257	0,401	0,207	-0,079	0,197	-0,217	0,165	-0,128	0,145
48,2	-0,681	0,803	-0,096	0,517	0,058	0,398	-0,214	0,327	-0,139	0,286	-0,423	0,248
48,2	1,080	0,505	1,070	0,360	1,015	0,330	0,713	0,305	0,564	0,274	0,407	0,257
52,2	-1,481	1,342	-0,229	0,491	0,353	0,392	0,390	0,289	0,399	0,236	0,586	0,209
55,0	3,274	0,886	2,812	0,569	1,126	0,394	0,676	0,298	0,229	0,265	0,469	0,230
57,5	0,810	0,241	0,326	0,244	0,088	0,215	0,194	0,211	0,314	0,181	0,506	0,173
59,4	0,042	0,678	0,503	0,412	0,575	0,336	0,306	0,278	0,333	0,240	0,555	0,215
62,3	0,322	0,335	0,464	0,257	0,109	0,204	0,220	0,175	0,212	0,178	0,212	0,178
63,1	1,296	0,646	0,438	0,436	0,752	0,341	0,879	0,300	0,456	0,287	0,265	0,265
72,0	-0,524	0,577	-0,632	0,427	-0,430	0,367	-0,055	0,301	0,109	0,260	0,265	0,235
89,5	0,409	0,464	0,536	0,364	1,531	0,336	1,209	0,278	1,160	0,242	0,798	0,224
100,6	-0,435	0,326	-0,053	0,284	0,093	0,230	0,128	0,206	0,116	0,189	-0,151	0,179
103,0	1,596	0,669	1,584	0,481	2,270	0,403	2,171	0,370	1,592	0,357	1,072	0,338
105,3	-0,653	0,276	-0,420	0,216	-0,125	0,203	-0,196	0,187	-0,368	0,171	-0,276	0,161
119,4	0,194	0,728	0,368	0,677	0,785	0,557	0,319	0,500	-0,457	0,458	-0,700	0,420
140,3	-0,312	0,720	0,944	0,506	0,823	0,428	0,320	0,330	1,034	0,279	0,844	0,251
151,7	1,669	0,487	1,152	0,292	1,138	0,225	0,861	0,190	0,970	0,171	0,906	0,157
159,3	-2,641	0,605	-2,604	0,435	-0,944	0,412	0,048	0,376	-0,529	0,334	-0,190	0,319
162,7	1,831	0,488	1,967	0,719	0,672	0,501	1,533	0,404	0,708	0,343	0,429	0,287
165,8	1,767	0,556	0,575	0,387	0,361	0,283	0,625	0,259	0,933	0,242	0,829	0,223
173,0	3,057	0,363	1,319	0,331	0,673	0,267	0,490	0,241	0,255	0,228	-0,005	0,218
182,4	-1,776	0,447	-1,137	0,360	-0,991	0,289	-0,971	0,242	-0,816	0,217	-0,829	0,195
187,0	1,783	0,914	0,721	0,607	0,736	0,410	0,383	0,308	0,119	0,268	0,027	0,239
191,8	1,049	0,337	0,152	0,284	-0,069	0,228	-0,106	0,209	0,129	0,174	0,226	0,158
199,3	-0,859	0,481	0,366	0,392	0,352	0,306	0,513	0,263	0,764	0,229	0,522	0,215
206,1	0,859	0,536	0,182	0,444	0,063	0,372	0,311	0,340	0,498	0,325	0,796	0,315
211,1	1,154	0,813	1,699	0,602	1,232	0,492	0,948	0,457	0,772	0,413	0,275	0,365
215,3	-1,366	0,665	-0,312	0,435	0,326	0,351	0,084	0,312	0,329	0,313	-0,017	0,288
221,9	3,353	1,883	0,901	0,965	0,696	0,677	0,734	0,823	0,719	0,479	0,049	0,430
230,6	2,257	0,750	2,098	0,554	1,505	0,498	0,907	0,455	1,096	0,433	1,257	0,433
233,3	2,178	0,457	0,982	0,362	0,965	0,308	1,166	0,264	1,110	0,234	0,971	0,208
237,9	0,094	0,584	0,297	0,485	0,437	0,448	0,616	0,410	0,736	0,387	0,585	0,376
247,2	2,959	0,737	1,926	0,689	1,129	0,572	0,814	0,507	0,967	0,458	0,116	0,426
252,1	-3,517	0,693	-1,734	0,457	-1,275	0,370	-0,916	0,354	-0,391	0,358	-0,345	0,352
Máximo	3,353		2,812		2,270		2,171		1,592		1,257	
Mínimo	-3,517		-2,604		-1,275		-0,971		-0,816		-0,829	
$\Delta\bar{h}$	0,444		0,309		0,380		0,366		0,338		0,262	
$\hat{\sigma}_{\Delta\hat{h}}$	1,522		1,052		0,717		0,602		0,550		0,491	
$MSE_{\Delta\hat{h}}$	1,586		1,096		0,812		0,705		0,646		0,557	

Analisando as Tabelas 5.6a e 5.6b, observa-se que as discrepâncias de altitude geométrica ( $\Delta\hat{h}$ ) possuem praticamente os mesmos erros padrões ( $\sigma_{\Delta\hat{h}}$ ). Para os intervalos de 5 e 15 segundos, os valores máximos e mínimos de  $\Delta\hat{h}$ , nas respectivas sessões, ocorreram para os mesmos comprimentos dos vetores. As tabelas mostram também que os valores da precisão ( $\hat{\sigma}_{\Delta h}$ ) e exatidão ( $MSE_{\Delta h}$ ) melhoram com o aumento da sessão. Contudo, para a sessão de 10 minutos os valores de  $\Delta h$  são mais divergentes. Verifica-se também que o valor da média das discrepâncias ( $\Delta\bar{h}$ ) aumenta, quando comparados com as Tabela 5.5a e 5.5b.

Entretanto, os valores de  $\Delta\hat{h}$  são altamente correlacionados, apresentando os coeficientes de correlação em torno de 0,99 para todas as sessões, indicando, novamente, que os resultados para os intervalos de 5 e 15 segundos são coerentes.

#### 5.4.3 Controle do receptor L1 para a fase

Nas Tabelas 5.7a e 5.7b, são apresentados  $\Delta\hat{h}$  e os respectivos  $\sigma_{\Delta\hat{h}}$ , obtidos da discrepância entre  $\hat{h}_i$  (Tabela 5.4)  $h_i$  e, determinada com o receptor L1, utilizando a fase com os intervalos de 5 e 15 segundos, respectivamente. Os valores de  $h_i$  e  $\sigma_{h_i}$  encontram-se no Apêndice F.

Tabela 5.7a – Discrepância da altitude geométrica para o receptor L1, usando a fase e intervalo de 5 segundos

Vetor (km)	10 min		20 min		30 min		40 min		50 min		60 min	
	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)
2,6	0,112	0,031	0,111	0,031	0,107	0,031	0,103	0,031	0,106	0,031	0,105	0,031
6,9	-0,030	0,076	0,097	0,058	0,093	0,041	0,098	0,041	0,102	0,041	0,105	0,041
10,3	0,138	0,033	0,134	0,032	0,131	0,032	0,134	0,032	0,133	0,032	0,134	0,032
22,2	0,302	0,062	0,129	0,043	0,125	0,043	0,121	0,043	0,120	0,043	0,116	0,043
23,0	0,048	0,056	0,153	0,035	0,148	0,035	0,137	0,035	0,138	0,035	0,137	0,035
26,8	-0,297	0,081	-0,179	0,067	-0,045	0,066	-0,060	0,063	-0,037	0,063	-0,053	0,062
33,9	0,094	0,131	0,237	0,072	0,273	0,061	0,275	0,054	0,304	0,051	0,331	0,050
36,6	-0,401	0,138	0,303	0,104	0,083	0,079	0,086	0,072	0,095	0,069	0,093	0,067
44,4	-0,092	0,100	0,104	0,065	0,114	0,065	0,201	0,066	0,159	0,066	0,077	0,065
47,4	0,374	0,151	0,359	0,068	0,349	0,054	0,286	0,050	0,319	0,046	0,281	0,044
48,2	-0,386	0,129	0,133	0,089	0,106	0,076	0,216	0,070	0,298	0,067	0,320	0,065
48,2	-0,234	0,247	-0,180	0,244	-0,049	0,196	-0,031	0,167	-0,001	0,143	0,196	0,127
52,2	1,354	0,358	1,000	0,184	0,136	0,121	0,457	0,101	0,868	0,094	0,523	0,102
55,0	0,527	0,087	0,005	0,075	0,161	0,056	0,176	0,056	0,174	0,056	0,061	0,058
57,5	0,143	0,126	0,016	0,050	0,250	0,060	0,129	0,065	0,006	0,062	-0,037	0,058
59,4	0,159	0,135	0,239	0,104	0,376	0,085	0,304	0,076	0,170	0,071	0,084	0,068
62,3	-0,076	0,206	0,084	0,114	0,283	0,079	0,291	0,070	0,310	0,066	0,287	0,065
63,1	1,028	0,232	0,113	0,162	0,024	0,110	0,089	0,099	0,160	0,099	0,055	0,098
72,0	-1,017	0,246	-0,052	0,158	-0,192	0,125	-0,127	0,124	-0,223	0,112	-0,326	0,109
89,5	0,293	0,146	0,068	0,106	-0,139	0,095	-0,034	0,088	0,017	0,084	0,015	0,080
100,6	0,851	0,240	1,095	0,132	0,869	0,093	0,771	0,084	0,488	0,082	0,373	0,079
103,0	-0,798	0,222	-0,185	0,211	0,005	0,204	0,239	0,201	0,344	0,200	0,353	0,199
105,3	-0,512	0,126	0,373	0,114	0,437	0,098	0,388	0,081	0,296	0,072	0,219	0,067
119,4	-0,575	0,518	0,568	0,350	-0,103	0,318	-0,730	0,326	-1,017	0,320	-1,525	0,316
140,3	0,594	0,168	0,035	0,132	0,163	0,114	0,205	0,102	0,157	0,097	0,108	0,096
151,7	0,160	0,214	1,822	0,196	1,193	0,149	0,880	0,134	0,474	0,123	0,224	0,111
159,3	0,124	0,258	-1,016	0,188	-0,156	0,150	-0,151	0,129	-0,085	0,122	-0,149	0,113
162,7	-0,061	0,348	0,181	0,252	-0,025	0,212	0,384	0,243	0,726	0,190	0,742	0,163
165,8	1,564	0,529	0,700	0,283	0,673	0,213	-0,031	0,202	-0,999	0,207	-1,661	0,174
173,0	0,123	0,667	0,190	0,405	1,406	0,297	1,353	0,233	0,635	0,203	0,360	0,180
182,4	-1,574	0,549	-1,557	0,406	-1,052	0,379	-0,864	0,501	-0,931	0,523	-1,956	0,535
187,0	-0,475	0,212	0,059	0,142	-0,007	0,116	-0,090	0,102	-0,018	0,096	-0,200	0,089
191,8	0,112	0,111	0,853	0,137	1,040	0,129	0,816	0,102	0,857	0,094	0,574	0,087
199,3	-1,861	0,240	-1,146	0,186	0,297	0,177	0,659	0,144	0,700	0,127	0,863	0,120
206,1	-0,349	0,602	0,244	0,408	-0,588	0,322	-0,683	0,285	-0,635	0,269	-0,613	0,262
211,1	3,590	0,269	2,068	0,335	1,021	0,264	0,895	0,247	1,309	0,238	0,626	0,264
215,3	1,676	0,835	-2,881	0,364	-1,214	0,801	-0,482	0,580	-1,899	0,415	-1,063	0,339
221,9	0,373	0,255	0,247	0,216	0,083	0,205	-0,023	0,197	0,238	0,200	0,150	0,197
230,6	-0,863	0,416	-1,233	0,433	0,180	0,395	0,275	0,359	0,189	0,351	-0,037	0,346
233,3	1,815	0,250	1,076	0,268	-0,291	0,234	-0,223	0,176	-0,291	0,160	-0,082	0,151
237,9	-1,802	0,413	-0,567	0,353	-0,302	0,328	-0,169	0,363	-0,076	0,337	-0,098	0,331
247,2	2,661	0,354	2,966	0,387	1,784	0,359	0,998	0,356	1,334	0,320	0,711	0,315
252,1	-0,592	0,515	-0,795	0,479	-1,207	0,254	-0,626	0,599	-0,739	0,469	-0,493	0,452
Máximo	3,590		2,966		1,784		1,353		1,334		0,863	
Mínimo	-1,861		-2,881		-1,214		-0,864		-1,899		-1,956	
$\Delta\bar{h}$	0,145		0,139		0,152		0,155		0,100		-0,002	
$\bar{\sigma}_{\Delta h}$	1,045		0,937		0,589		0,458		0,596		0,591	
$MSE_{\Delta h}$	1,055		0,948		0,608		0,483		0,605		0,591	

Tabela 5.7b – Discrepância da altitude geométrica para o receptor L1, usando a fase e intervalo de 15 segundos

Vetor (km)	10 min		20 min		30 min		40 min		50 min		60 min	
	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)
2,6	0,030	0,031	0,029	0,031	0,026	0,031	0,018	0,031	0,022	0,031	0,021	0,031
6,9	0,157	0,108	0,019	0,058	0,020	0,041	0,023	0,041	0,026	0,041	0,026	0,041
10,3	0,143	0,146	0,052	0,032	0,049	0,032	0,052	0,032	0,051	0,032	0,052	0,032
22,2	0,251	0,043	0,072	0,047	0,049	0,043	0,045	0,043	0,044	0,043	0,041	0,043
23,0	-0,021	0,057	0,081	0,035	0,074	0,035	0,063	0,035	0,062	0,035	0,059	0,035
26,8	-0,375	0,082	-0,110	0,062	-0,108	0,066	-0,126	0,063	-0,103	0,063	-0,052	0,062
33,9	-0,006	0,131	0,177	0,071	0,207	0,061	0,208	0,054	0,236	0,051	0,263	0,050
36,6	-0,452	0,143	0,218	0,103	-0,003	0,079	0,007	0,072	0,013	0,069	0,015	0,067
44,4	-0,149	0,100	0,029	0,065	0,039	0,065	0,127	0,066	0,088	0,066	0,077	0,065
47,4	0,293	0,150	0,271	0,068	0,272	0,054	0,211	0,049	0,245	0,046	0,206	0,044
48,2	-0,417	0,132	0,061	0,090	0,030	0,077	0,141	0,070	0,216	0,067	0,239	0,065
48,2	-0,293	0,242	-0,265	0,243	-0,138	0,194	-0,112	0,167	-0,083	0,143	0,118	0,127
52,2	1,334	0,343	0,993	0,181	0,082	0,119	0,405	0,100	0,822	0,093	0,856	0,090
55,0	0,306	0,093	-0,061	0,075	0,094	0,056	0,109	0,056	0,106	0,056	-0,011	0,058
57,5	0,017	0,123	-0,066	0,050	0,176	0,060	0,055	0,065	-0,070	0,063	-0,110	0,058
59,4	0,085	0,130	0,162	0,103	0,298	0,085	0,213	0,076	0,080	0,071	0,003	0,068
62,3	-0,155	0,201	0,022	0,114	0,264	0,061	0,205	0,070	0,222	0,066	0,200	0,065
63,1	0,760	0,299	0,032	0,163	-0,055	0,110	0,022	0,100	0,086	0,099	-0,011	0,098
72,0	-1,068	0,250	-0,125	0,158	-0,262	0,124	-0,113	0,123	-0,213	0,111	-0,309	0,109
89,5	0,294	0,145	-0,011	0,106	-0,211	0,095	-0,106	0,088	-0,054	0,083	-0,057	0,080
100,6	0,494	0,202	1,017	0,130	0,796	0,093	0,693	0,084	0,415	0,082	0,372	0,079
103,0	-0,872	0,221	-0,254	0,211	-0,076	0,204	0,156	0,201	0,260	0,200	0,266	0,199
105,3	-0,610	0,124	0,272	0,114	0,339	0,099	0,290	0,081	0,202	0,072	0,134	0,068
119,4	-0,653	0,531	0,544	0,350	-0,104	0,318	-0,726	0,326	-1,012	0,319	-1,536	0,316
140,3	0,381	0,165	-0,048	0,133	0,087	0,114	0,133	0,102	0,078	0,097	0,027	0,096
151,7	0,261	0,206	1,730	0,196	1,099	0,150	0,807	0,134	0,399	0,123	0,245	0,110
159,3	0,011	0,257	-1,073	0,188	-0,239	0,149	-0,237	0,129	-0,169	0,122	-0,147	0,113
162,7	-0,113	0,347	0,200	0,251	0,546	0,239	0,382	0,244	0,738	0,189	0,746	0,163
165,8	1,648	0,504	0,628	0,283	0,603	0,213	-0,128	0,203	-1,076	0,207	-1,663	0,173
173,0	-0,218	0,699	0,185	0,402	1,388	0,297	1,310	0,232	0,780	0,194	0,612	0,168
182,4	-1,416	0,535	-1,628	0,401	-1,026	0,379	-0,847	0,499	-0,910	0,522	-1,917	0,535
187,0	-0,560	0,212	-0,013	0,142	-0,082	0,116	-0,161	0,102	-0,092	0,096	-0,202	0,088
191,8	0,008	0,108	0,793	0,138	0,956	0,130	0,738	0,102	0,784	0,095	0,490	0,088
199,3	-2,029	0,229	-1,196	0,184	0,222	0,177	0,577	0,142	0,624	0,127	0,788	0,119
206,1	-0,327	0,661	0,128	0,402	-0,650	0,320	-0,741	0,284	-0,702	0,269	-0,684	0,262
211,1	3,578	0,270	2,056	0,334	1,014	0,264	0,894	0,247	1,310	0,238	0,604	0,268
215,3	1,773	0,838	-2,835	0,366	-1,158	0,798	-0,539	0,578	-1,921	0,414	-1,070	0,339
221,9	0,298	0,255	0,170	0,216	0,051	0,206	0,114	0,203	0,161	0,200	0,071	0,197
230,6	-0,909	0,412	-1,307	0,431	0,118	0,394	0,191	0,359	0,107	0,351	-0,109	0,346
233,3	1,702	0,248	0,979	0,267	-0,362	0,232	-0,299	0,175	-0,363	0,160	-0,153	0,151
237,9	-1,750	0,409	-0,603	0,354	-0,389	0,328	-0,167	0,363	-0,077	0,337	-0,100	0,331
247,2	2,210	0,371	2,895	0,387	1,725	0,359	1,015	0,357	1,270	0,327	0,715	0,315
252,1	-0,697	0,514	-1,009	0,459	-1,372	0,338	-0,554	0,605	-0,761	0,468	-0,507	0,453
Máximo	3,578		2,895		1,725		1,310		1,310		0,856	
Mínimo	-2,029		-2,835		-1,372		-0,847		-1,921		-1,917	
$\Delta\bar{h}$	0,068		0,075		0,102		0,101		0,043		-0,032	
$\bar{\sigma}_{\Delta h}$	1,022		0,933		0,590		0,450		0,594		0,593	
$MSE_{\Delta h}$	1,024		0,936		0,599		0,461		0,596		0,594	

Nas sessões de 30 a 60 minutos, os processamentos da L1 tiveram as ambigüidades solucionadas, para os vetores inferiores a 25 km; para as sessões de 10 e 20 minutos, apenas os vetores inferiores a 5 km tiveram as ambigüidades fixadas. Isso corresponde, respectivamente, a 11,63 e 2,33% do total de vetores envolvidos, em ambos intervalos de coletas (5 e 15 segundos).

Analisando as Tabelas 5.7a e 5.7b, observa-se que os valores de  $\Delta\hat{h}$  possuem praticamente os mesmos  $\sigma_{\Delta\hat{h}}$ . Para os intervalos de 5 e 15 segundos, nota-se que os valores máximos e mínimos de  $\Delta\hat{h}$ , nas respectivas sessões, ocorreram para os mesmos comprimentos de vetores, exceto para os valores máximo das sessões de 50 e 60 minutos, e os valores de mínimos para as sessões de 30 minutos. Essas Tabelas mostram que  $\hat{\sigma}_{\Delta h}$  e  $MSE_{\Delta h}$  melhoram com o aumento do tempo da sessão. Verifica-se também que esses valores são praticamente iguais, considerando as respectivas sessões, em ambos intervalos de coletas.

Novamente, os valores de  $\Delta\hat{h}$  são altamente correlacionados, apresentando os coeficientes de correlação em torno de 0,99 para todas as sessões, indicando coerência para os intervalos de 5 e 15 segundos.

#### 5.4.4 Controle do receptor L1 para a pseudodistância

As Tabelas 5.8a e 5.8b contêm  $\Delta\hat{h}$  e os respectivos  $\sigma_{\Delta\hat{h}}$ , obtidos da discrepância entre  $\hat{h}_i$  (Tabela 5.4) e  $h_i$ , determinada com o receptor L1, utilizando a pseudodistância e os intervalos de coleta de 5 e 15 segundos. As altitudes geométrica ( $h_i$ ) e os respectivos desvios padrões ( $\sigma_{h_i}$ ) encontram-se no Apêndice G.

Tabela 5.8a – Discrepância da altitude geométrica para o receptor L1, usando pseudodistância e intervalo de 5 segundos

Vetor (km)	10 min		20 min		30 min		40 min		50 min		60 min	
	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)
2,6	0,954	0,215	0,944	0,143	0,851	0,116	0,802	0,103	0,666	0,100	0,363	0,099
6,9	-0,695	0,348	-0,850	0,235	-1,603	0,160	-1,804	0,136	-1,555	0,127	-1,308	0,119
10,3	-0,870	0,191	-0,616	0,141	-0,712	0,109	-0,610	0,097	-0,574	0,089	-0,438	0,087
22,2	-0,355	0,242	-0,267	0,185	-0,258	0,170	-0,214	0,157	-0,143	0,154	-0,002	0,160
23,0	1,544	0,266	1,643	0,201	1,562	0,161	1,471	0,133	1,413	0,117	1,302	0,105
26,8	-0,688	0,199	-0,823	0,151	-0,675	0,138	-0,648	0,131	-0,690	0,125	-0,676	0,123
33,9	-0,812	0,276	-0,676	0,200	-0,446	0,157	-0,432	0,134	-0,378	0,118	-0,375	0,106
36,6	0,146	0,304	0,609	0,208	0,764	0,188	0,913	0,165	1,025	0,146	1,095	0,140
44,4	-0,110	0,253	-0,259	0,202	-0,238	0,180	-0,133	0,177	0,050	0,176	0,285	0,163
47,4	0,542	0,172	0,396	0,115	0,453	0,102	0,374	0,099	0,045	0,107	-0,170	0,108
48,2	0,305	0,419	-0,421	0,331	-0,449	0,266	-0,632	0,218	-0,694	0,188	-0,751	0,163
48,2	0,337	0,253	0,283	0,205	0,089	0,177	-0,060	0,164	-0,131	0,154	-0,068	0,147
52,2	0,665	0,300	0,548	0,222	0,633	0,182	0,836	0,161	0,967	0,142	0,924	0,133
55,0	1,547	0,542	2,067	0,372	1,987	0,267	1,751	0,216	1,611	0,185	1,571	0,160
57,5	1,428	0,205	0,486	0,135	0,521	0,115	0,488	0,106	0,403	0,104	0,088	0,105
59,4	-0,644	0,421	-0,526	0,304	-0,633	0,239	-1,549	0,174	-1,390	0,156	-1,160	0,150
62,3	-0,310	0,223	-0,562	0,151	-0,497	0,128	-0,442	0,116	-0,354	0,109	-0,155	0,104
63,1	1,984	0,320	1,874	0,248	1,717	0,215	1,437	0,206	1,119	0,191	0,903	0,178
72,0	0,832	0,333	0,722	0,230	0,260	0,192	0,028	0,178	-0,018	0,173	0,160	0,155
89,5	-0,255	0,356	0,148	0,306	0,831	0,294	1,084	0,252	1,121	0,208	1,257	0,184
100,6	0,528	0,189	0,334	0,143	0,385	0,126	0,291	0,112	-0,028	0,114	-0,273	0,113
103,0	-0,026	0,444	0,093	0,349	-0,367	0,290	-1,153	0,244	-1,059	0,232	-0,833	0,227
105,3	0,199	0,211	0,102	0,164	0,394	0,141	0,449	0,128	0,523	0,123	0,576	0,117
119,4	-0,109	0,552	-0,399	0,372	-0,364	0,354	-0,164	0,350	-0,085	0,340	-0,024	0,330
140,3	0,577	0,420	1,137	0,328	1,493	0,282	1,438	0,228	1,402	0,195	1,487	0,172
151,7	-0,671	0,262	-0,509	0,183	-0,524	0,157	-0,413	0,142	-0,277	0,132	-0,187	0,122
159,3	-0,590	0,300	-0,356	0,237	-0,231	0,201	-0,010	0,186	0,188	0,174	0,380	0,168
162,7	1,738	0,354	1,443	0,286	1,057	0,251	0,978	0,212	0,731	0,190	0,465	0,173
165,8	1,419	0,308	1,501	0,249	1,637	0,220	-0,242	0,311	-0,110	0,302	0,216	0,290
173,0	3,202	0,251	3,282	0,198	2,663	0,244	2,226	0,225	1,863	0,204	1,486	0,190
182,4	1,631	0,236	1,532	0,189	1,457	0,164	1,320	0,152	1,241	0,138	1,289	0,125
187,0	0,896	0,492	1,793	0,382	1,834	0,283	1,694	0,224	1,712	0,197	1,877	0,171
191,8	0,621	0,159	0,492	0,124	0,458	0,110	0,298	0,106	0,326	0,100	0,407	0,095
199,3	-0,121	0,454	-0,534	0,297	-1,744	0,194	-1,725	0,193	-1,499	0,190	-1,292	0,181
206,1	1,567	0,439	1,376	0,345	1,052	0,314	1,019	0,292	1,200	0,280	1,500	0,272
211,1	2,269	0,527	1,384	0,416	0,814	0,355	0,471	0,321	0,199	0,296	0,137	0,273
215,3	1,346	0,321	1,363	0,257	1,745	0,225	-1,242	0,494	-0,347	0,447	0,273	0,396
221,9	2,900	0,613	2,292	0,402	2,033	0,314	1,951	0,274	2,025	0,248	1,914	0,236
230,6	0,588	0,387	0,607	0,382	0,415	0,369	0,231	0,363	-0,015	0,362	0,035	0,361
233,3	-1,091	0,261	-1,630	0,211	-1,573	0,197	-1,267	0,189	-1,033	0,185	-0,765	0,178
237,9	0,458	0,436	0,093	0,371	0,293	0,342	0,498	0,340	0,663	0,332	0,803	0,327
247,2	2,483	0,553	1,533	0,449	0,572	0,397	-0,401	0,356	-0,201	0,339	0,381	0,332
252,1	0,884	0,479	-1,094	0,505	-1,394	0,425	-1,041	0,385	-0,175	0,352	0,511	0,327
Máximo	3,202		3,282		2,663		2,226		2,025		1,914	
Mínimo	-1,091		-1,630		-1,744		-1,804		-1,555		-1,308	
$\Delta\bar{h}$	0,610		0,478		0,378		0,183		0,227		0,307	
$\bar{\sigma}_{\Delta h}$	1,064		1,058		1,064		1,025		0,913		0,844	
$MSE_{\Delta h}$	1,226		1,161		1,129		1,042		0,941		0,898	

Tabela 5.8b – Discrepância da altitude geométrica para o receptor L1, usando pseudodistância e intervalo de 15 segundos

Vetor (km)	10 min		20 min		30 min		40 min		50 min		60 min	
	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)	$\Delta\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\Delta\hat{h}}$ (m)
2,6	0,995	0,200	0,946	0,141	0,849	0,114	0,790	0,102	0,653	0,099	0,355	0,098
6,9	-0,476	0,345	-0,801	0,237	-1,741	0,156	-1,844	0,134	-1,604	0,126	-1,309	0,119
10,3	-0,914	0,184	-0,642	0,141	-0,706	0,110	-0,618	0,096	-0,573	0,088	-0,443	0,086
22,2	-0,289	0,249	-0,244	0,185	-0,254	0,170	-0,204	0,157	-0,123	0,155	0,018	0,151
23,0	1,533	0,269	1,629	0,205	1,561	0,165	1,478	0,135	1,420	0,117	1,313	0,105
26,8	-0,733	0,197	-0,874	0,151	-0,699	0,138	-0,667	0,132	-0,706	0,125	-0,680	0,123
33,9	-0,832	0,273	-0,670	0,202	-0,456	0,158	-0,438	0,134	-0,382	0,118	-0,377	0,107
36,6	0,179	0,299	0,598	0,209	0,745	0,187	0,889	0,165	1,021	0,146	1,075	0,140
44,4	-0,059	0,257	-0,213	0,204	-0,213	0,181	-0,113	0,177	0,074	0,177	0,314	0,164
47,4	0,572	0,163	0,420	0,116	0,474	0,103	0,369	0,100	0,067	0,107	-0,137	0,109
48,2	0,236	0,422	-0,409	0,326	-0,448	0,260	-0,649	0,215	-0,725	0,185	-0,717	0,162
48,2	0,409	0,255	0,291	0,206	0,100	0,178	-0,072	0,166	-0,128	0,155	-0,080	0,148
52,2	0,465	0,312	0,479	0,226	0,551	0,188	0,790	0,162	0,933	0,143	0,903	0,133
55,0	1,724	0,565	2,096	0,380	1,993	0,270	1,751	0,219	1,608	0,187	1,552	0,163
57,5	1,440	0,210	0,423	0,132	0,464	0,115	0,441	0,106	0,316	0,111	0,051	0,108
59,4	-0,597	0,416	-0,535	0,304	-0,705	0,239	-1,655	0,173	-1,406	0,158	-1,155	0,151
62,3	-0,291	0,220	-0,615	0,149	-0,553	0,128	-0,486	0,116	-0,398	0,109	-0,178	0,105
63,1	2,069	0,321	1,927	0,248	1,748	0,216	1,441	0,206	1,127	0,191	0,906	0,178
72,0	0,820	0,325	0,764	0,225	0,276	0,190	0,031	0,179	0,000	0,173	0,061	0,167
89,5	-0,144	0,368	0,103	0,305	0,771	0,292	1,057	0,251	1,100	0,207	1,235	0,184
100,6	0,595	0,191	0,327	0,142	0,381	0,126	0,297	0,112	0,013	0,114	-0,255	0,114
103,0	-0,062	0,442	0,122	0,347	-0,359	0,288	-1,076	0,244	-1,046	0,231	-0,827	0,227
105,3	0,165	0,213	0,112	0,165	0,356	0,141	0,429	0,130	0,509	0,124	0,575	0,119
119,4	-0,142	0,517	-0,339	0,373	-0,295	0,354	-0,123	0,349	-0,054	0,340	0,013	0,330
140,3	0,534	0,417	0,975	0,325	1,482	0,283	1,444	0,228	1,409	0,194	1,488	0,173
151,7	-0,671	0,263	-0,522	0,182	-0,551	0,158	-0,404	0,143	-0,283	0,132	-0,190	0,122
159,3	-0,552	0,302	-0,317	0,236	-0,199	0,198	0,015	0,184	0,222	0,173	0,403	0,167
162,7	1,615	0,388	1,449	0,290	1,062	0,254	0,974	0,215	0,706	0,192	0,442	0,175
165,8	1,382	0,311	1,514	0,250	1,641	0,219	-0,257	0,312	-0,070	0,301	0,247	0,289
173,0	3,187	0,256	3,245	0,201	2,640	0,244	2,202	0,226	1,845	0,204	1,460	0,189
182,4	1,646	0,231	1,540	0,189	1,436	0,163	1,296	0,152	1,207	0,137	0,779	0,164
187,0	0,906	0,479	1,815	0,376	1,886	0,281	1,731	0,222	1,752	0,195	1,893	0,170
191,8	0,609	0,162	0,465	0,123	0,461	0,110	0,281	0,106	0,308	0,100	0,373	0,096
199,3	-0,119	0,442	-0,571	0,293	-1,750	0,193	-1,726	0,193	-1,500	0,189	-1,301	0,181
206,1	1,560	0,439	1,405	0,345	1,077	0,315	1,011	0,293	1,218	0,281	1,524	0,273
211,1	2,304	0,523	1,438	0,413	0,879	0,354	0,505	0,320	0,218	0,295	0,158	0,272
215,3	1,317	0,323	1,342	0,259	1,750	0,226	-1,242	0,493	-0,361	0,446	0,258	0,395
221,9	2,927	0,621	2,313	0,403	2,023	0,315	1,983	0,274	2,046	0,248	1,923	0,237
230,6	0,621	0,388	0,627	0,403	0,457	0,369	0,194	0,364	0,003	0,362	0,045	0,360
233,3	-1,133	0,262	-1,635	0,209	-1,583	0,197	-1,263	0,188	-1,025	0,185	-0,758	0,177
237,9	0,420	0,435	0,100	0,370	0,234	0,352	0,433	0,340	0,593	0,331	0,784	0,327
247,2	2,465	0,555	1,522	0,447	0,663	0,397	-0,385	0,357	-0,163	0,338	0,397	0,331
252,1	0,928	0,480	-1,068	0,502	-1,352	0,423	-1,029	0,384	-0,226	0,355	0,472	0,330
Máximo	3,187		3,245		2,640		2,202		2,046		1,923	
Mínimo	-1,133		-1,635		-1,750		-1,844		-1,604		-1,309	
$\Delta\bar{h}$	0,619		0,478		0,374		0,176		0,223		0,293	
$\bar{\sigma}_{\Delta h}$	1,062		1,059		1,073		1,028		0,916		0,831	
$MSE_{\Delta h}$	1,229		1,162		1,136		1,043		0,942		0,881	

Nas Tabelas 5.8a e 5.8b, observa-se que os valores de  $\Delta\hat{h}$  possuem os mesmos  $\sigma_{\Delta\hat{h}}$ . Para os intervalos de 5 e 15 segundos, nota-se que os máximos e mínimos de  $\Delta\hat{h}$ , nas respectivas sessões, ocorreram para os mesmos comprimentos dos vetores.

Observa-se nas respectivas Tabelas que os valores de  $\hat{\sigma}_{\Delta h}$  e  $MSE_{\Delta h}$  decrescem com o aumento do tempo da sessão, e os valores são praticamente semelhantes, quando comparados nas respectivas sessões para os intervalos de 5 e 15 segundos. Observa-se também que o processamento da pseudodistância proporciona um aumento na média das discrepâncias ( $\Delta\bar{h}$ ). Os respectivos valores de  $\Delta\hat{h}$  são altamente correlacionados, apresentando os coeficientes de correlação em torno de 0,99 para todas as sessões, o que indica coerência para os intervalos de 5 e 15 segundos.

Pelo que indica a análise de verificação das altitudes geométrica, correspondentes aos receptores L1L2 e L1, os resultados entre os respectivos intervalos do tempo das sessões são semelhantes, em ambos intervalos de coleta de dados (5 e 15 segundos) avaliadas neste Capítulo. Assim, para a determinação das altitudes ortométrica da linha de estudo, usando GPS, e na avaliação dos resultados, serão utilizados apenas os resultados correspondentes ao intervalo de coleta de 15 segundos.

### 5.5 Controle e avaliação do nivelamento através do GPS

As altitudes ortométrica determinadas com a combinação dos receptores L1L2 e L1, usando o geóide gravimétrico (SOUZA, 2002), foram comparadas com as altitudes do nivelamento geométrico de precisão realizado pelo IBGE (1998b), contidas na Tabela 5.2, consideradas como “verdadeiras”, para avaliação do nivelamento por GPS.

Na seção 4.8.3, utilizou-se  $\hat{h}_i$  (Tabela 5.4) para determinação das discrepâncias de altitude ortométrica ( $\Delta H_i^*$ ). Para o conjunto dos módulos dessas discrepância, foi determinado o desvio padrão ( $\hat{\sigma}_{H_i^*}$ ), com o qual foi estabelecido o critério de rejeição  $|\Delta H_i^*| \geq 3\hat{\sigma}_{H_i^*}$ , para se identificar eventuais erros grosseiros nas altitudes das RNs.

Na Tabela 5.9, são apresentados  $H_{GPS}^*$ ,  $\Delta H_i^*$ , e os respectivos erros padrões  $\sigma_{H_{GPS}^*}$  e  $\hat{\sigma}_{\Delta H_i^*}$ , o critério de rejeição corresponde a  $3\hat{\sigma}_{\Delta H_i^*} = 0,551$ . A estação destacada nessa tabela foi eliminada da análise do nivelamento através do GPS. Essa estação possui 99,7% de probabilidade de está eivada de algum tipo de erro grosseiro.

Tabela 5.9 – Altitude Ortométrica determinada com GPS para avaliação

RN	Vetor	$H_{GPS}^*$	$\sigma_{H_{GPS}^*}$	$(\Delta H^* = H_{IBGE} - H_{GPS}^*)$	$\sigma_{\Delta H^*}$
	(km)	(m)	(m)	(m)	(m)
2891R	2,6	549,5258	0,112	-0,0003	0,150
2891V	6,9	571,6034	0,138	0,0219	0,170
2891Z	10,3	607,5836	0,159	0,0003	0,188
2892L	22,2	616,3331	0,240	0,0783	0,261
2892M	23,0	598,9682	0,243	0,0894	0,263
2892S	26,8	540,0538	0,269	0,0298	0,287
2892V	33,9	670,3227	0,298	0,1406	0,315
2893A	36,6	661,2381	0,311	0,1600	0,327
2893L	44,4	666,7696	0,336	0,0988	0,351
2893P	47,4	739,4202	0,340	0,0893	0,355
2893R	48,2	877,1414	0,345	0,0702	0,360
2895N	48,2	950,5536	0,353	0,1421	0,368
2895R	52,2	939,5702	0,356	0,3462	0,370
2895T	55,0	945,8801	0,358	0,0080	0,372
2895U	57,5	907,1692	0,361	0,0149	0,376
2895V	59,4	882,9468	0,367	-0,0588	0,381
2896A	62,3	835,2444	0,370	-0,1319	0,384
2896F	63,1	848,4654	0,376	-0,1763	0,390
2874T	72,0	753,7553	0,383	-0,0591	0,397
2899X	89,5	695,9053	0,392	-0,1409	0,406
2900F	100,6	483,8440	0,391	-0,1857	0,405
2900L	103,0	532,2111	0,435	-0,0446	0,448
2900M	105,3	529,3813	0,392	-0,2012	0,406
2900V	119,4	595,5569	0,491	-0,2805	0,503
2913N	140,3	527,4701	0,404	-0,0861	0,418
2913V	151,7	463,8902	0,405	0,0831	0,419
2914A	159,3	555,5055	0,415	-0,1172	0,429
2914C	162,7	509,3712	0,409	-0,2204	0,423
2914F	165,8	514,7412	0,420	0,3372	0,434
2914L	173,0	409,3778	0,416	-0,1710	0,430
2914R	182,4	448,8855	0,417	-0,5890	0,431
2905T	187,0	481,3599	0,422	-0,1306	0,436
2919J	191,8	545,8769	0,423	-0,1989	0,437
2919R	199,3	457,0385	0,438	0,0014	0,451
2920A	206,1	559,6000	0,496	-0,0382	0,509
2920D	211,1	549,9611	0,487	-0,2574	0,499
2920G	215,3	496,1917	0,461	-0,1324	0,474
2954X	221,9	501,8238	0,484	0,0466	0,496
2955G	230,6	534,4088	0,568	0,2116	0,579
2951Z	233,3	600,1413	0,474	0,0579	0,487
2951V	237,9	592,5933	0,555	0,1307	0,566
2951M	247,2	578,7779	0,560	0,3995	0,572
2951E	252,1	528,8291	0,541	0,1788	0,553
			Máximo	0,399	
			Mínimo	-0,589	
			$\Delta \bar{H}^*$	-0,011	
			$\hat{\sigma}_{\Delta H^*}$	0,184	
			$MSE_{\Delta H^*}$	0,184	

Na Tabela 5.9, observa-se que a RN 2914R foi a única rejeitada no conjunto, o que representa um percentual de aproximadamente 2% do número de RNs da linha.

Na Tabela 5.10, encontram-se a altitude ortométrica fornecida pelo IBGE ( $H$ ), a altitude geométrica ajustada ( $\hat{h}$ ), as diferenças de altitude geométrica ( $\Delta h$ ) e de altura geoidal ( $\Delta N$ ) usadas para estimar a altitude ortométrica nessa RN, a discrepância de altitude ortométrica ( $\Delta H^*$ ), e os respectivos erros padrões. A altitude ortométrica da RN 2914R corresponde a segunda altitude mais baixa (Figura 3.3). Deste modo, uns dos critérios adotados na escolha das RNs (seção 3.1), com base na maior variação possível da altitude ortométrica entre as RNs escolhidas, não foi comprometido.

Tabela 5.10 – Quantitativos da RN eliminada

RN (eliminada)	Vetor (km)	$H$ (m)	$\sigma_H$ (m)	$\hat{h}$ (m)	$\sigma_{\hat{h}}$ (m)	$\Delta h$ (m)	$\sigma_{\Delta h}$ (m)	$\Delta N$ (m)	$\sigma_{\Delta N}$ (m)	$\Delta H^*$ (m)	$\sigma_{\Delta H^*}$ (m)
2914R	182,4	448,2965	0,110	442,3419	0,060	-143,4618	0,064	-7,422	0,400	-0,589	0,431

A Tabela 5.11 mostra os resultados ( $H_{GPS_i}^*$ ,  $\Delta H_i^*$ ,  $\sigma_{H_{GPS_i}^*}$  e  $\hat{\sigma}_{\Delta H_i^*}$ ) com as RNs escolhidas para avaliação do nivelamento através do GPS. Os parâmetros estatísticos foram recalculados usando apenas as RNs escolhidas.

Tabela 5.11 – Altitude Ortométrica determinada com GPS para as RNs escolhidas

RN	Vetor (km)	$H_{GPS}^*$ (m)	$\sigma_{H_{GPS}^*}$ (m)	$(\Delta H^* = H_{IBGE} - H_{GPS}^*)$ (m)	$\sigma_{\Delta H^*}$ (m)
2891R	2,6	549,5258	0,112	-0,0003	0,150
2891V	6,9	571,6034	0,138	0,0219	0,170
2891Z	10,3	607,5836	0,159	0,0003	0,188
2892L	22,2	616,3331	0,240	0,0783	0,261
2892M	23,0	598,9682	0,243	0,0894	0,263
2892S	26,8	540,0538	0,269	0,0298	0,287
2892V	33,9	670,3227	0,298	0,1406	0,315
2893A	36,6	661,2381	0,311	0,1600	0,327
2893L	44,4	666,7696	0,336	0,0988	0,351
2893P	47,4	739,4202	0,340	0,0893	0,355
2893R	48,2	877,1414	0,345	0,0702	0,360
2895N	48,2	950,5536	0,353	0,1421	0,368
2895R	52,2	939,5702	0,356	0,3462	0,370
2895T	55,0	945,8801	0,358	0,0080	0,372
2895U	57,5	907,1692	0,361	0,0149	0,376
2895V	59,4	882,9468	0,367	-0,0588	0,381
2896A	62,3	835,2444	0,370	-0,1319	0,384
2896F	63,1	848,4654	0,376	-0,1763	0,390
2874T	72,0	753,7553	0,383	-0,0591	0,397
2899X	89,5	695,9053	0,392	-0,1409	0,406
2900F	100,6	483,8440	0,391	-0,1857	0,405
2900L	103,0	532,2111	0,435	-0,0446	0,448
2900M	105,3	529,3813	0,392	-0,2012	0,406
2900V	119,4	595,5569	0,491	-0,2805	0,503
2913N	140,3	527,4701	0,404	-0,0861	0,418
2913V	151,7	463,8902	0,405	0,0831	0,419
2914A	159,3	555,5055	0,415	-0,1172	0,429
2914C	162,7	509,3712	0,409	-0,2204	0,423
2914F	165,8	514,7412	0,420	0,3372	0,434
2914L	173,0	409,3778	0,416	-0,1710	0,430
2905T	187,0	481,3599	0,422	-0,1306	0,436
2919J	191,8	545,8769	0,423	-0,1989	0,437
2919R	199,3	457,0385	0,438	0,0014	0,451
2920A	206,1	559,6000	0,496	-0,0382	0,509
2920D	211,1	549,9611	0,487	-0,2574	0,499
2920G	215,3	496,1917	0,461	-0,1324	0,474
2954X	221,9	501,8238	0,484	0,0466	0,496
2955G	230,6	534,4088	0,568	0,2116	0,579
2951Z	233,3	600,1413	0,474	0,0579	0,487
2951V	237,9	592,5933	0,555	0,1307	0,566
2951M	247,2	578,7779	0,560	0,3995	0,572
2951E	252,1	528,8291	0,541	0,1788	0,553
			Máximo	0,399	
			Mínimo	-0,280	
			$\Delta \bar{H}^*$	0,003	
			$\bar{\sigma}_{\Delta H^*}$	0,162	
			$MSE_{\Delta H^*}$	0,162	

### 5.5.1 Discrepâncias de altitude ortométrica para os receptores L1L2 e L1

A altitude ortométrica fornecida pelo IBGE (Tabela 5.2) foi comparada com a altitude ortométrica determinada através do GPS. Com base nas expressões (4.4) e (4.6), a discrepância de altitude determinada para o receptor *L1L2*, utilizando a fase (*F*), para o intervalo da sessão (*S*) é dada por.

$$\Delta H_{(L1L2)S_i}^F = H_i - H_{(L1L2)S_i}^F \quad (5.6)$$

a propagação das variâncias observacionais fornece o erro padrão dessa discrepância.

$$\sigma_{\Delta H_{(L1L2)S_i}^F} = \pm \sqrt{\sigma_{H_i}^2 + \sigma_{H_{(L1L2)S_i}^F}^2} \quad (5.7)$$

A discrepância para a pseudodistância (*PD*) e o respetivo erro padrão são dados por.

$$\Delta H_{(L1L2)S_i}^{PD} = H_i - H_{(L1L2)S_i}^{PD} \quad (5.8)$$

$$\sigma_{\Delta H_{(L1L2)S_i}^{PD}} = \pm \sqrt{\sigma_{H_i}^2 + \sigma_{H_{(L1L2)S_i}^{PD}}^2} \quad (5.9)$$

A discrepância de altitude determinada para o receptor *L1*, utilizando a fase (*F*) é dada por.

$$\Delta H_{(L1)S_i}^F = H_i - H_{(L1)S_i}^F \quad (5.10)$$

A propagação das variâncias observacionais fornece o erro padrão dessa discrepância.

$$\sigma_{\Delta H_{(L1)S_i}^F} = \pm \sqrt{\sigma_{H_i}^2 + \sigma_{H_{(L1)S_i}^F}^2} \quad (5.11)$$

A discrepância para a pseudodistância (*PD*) e o respetivo erro padrão são dados por.

$$\Delta H_{(L1)S_i}^{PD} = H_i - H_{(L1)S_i}^{PD} \quad (5.12)$$

$$\sigma_{\Delta H_{(L1)S_i}^{PD}} = \pm \sqrt{\sigma_{H_i}^2 + \sigma_{H_{(L1)S_i}^{PD}}^2} \quad (5.13)$$

onde *S* corresponde aos intervalos do tempo da sessão (10, 20, 30, 40, 50 e 60 minutos).

De forma similar, às expressões (4.7), (4.8) e (4.9), calculou-se também os parâmetros estatísticos ( $\Delta \bar{H}$ ,  $\hat{\sigma}_{\Delta H}$  e  $MSE_{\Delta H}$ ) para os conjuntos de  $\Delta H_i$ , considerando-se  $h_i$ , para fins de análise de todos os modos de processamento.

As altitudes ortométrica determinadas com os receptores *L1L2* e *L1* e seus erros padrões, encontram-se nos Apêndices H e I, respectivamente. As discrepâncias e os erros para o receptor *L1L2* encontram-se nas Tabelas 5.12a e 5.12b, correspondendo à fase *L0*

e à pseudodistância L0. Para o receptor L1, as discrepâncias e os erros padrões encontram-se nas Tabelas 5.13a e 5.13b, para a fase e a pseudodistância, respectivamente.

Tabela 5.12a – Discrepância da altitude ortométrica para o receptor L1L2 utilizando a L0

Vetor (km)	10 min		20 min		30 min		40 min		50 min		60 min	
	$\Delta H$ (m)	$\sigma_{\Delta H}$ (m)	$\Delta H$ (m)	$\sigma_{\Delta H}$ (m)	$\Delta H$ (m)	$\sigma_{\Delta H}$ (m)	$\Delta H$ (m)	$\sigma_{\Delta H}$ (m)	$\Delta H$ (m)	$\sigma_{\Delta H}$ (m)	$\Delta H$ (m)	$\sigma_{\Delta H}$ (m)
2,6	0,000	0,147	0,003	0,145	0,005	0,145	0,009	0,145	0,005	0,145	0,005	0,145
6,9	0,043	0,166	0,050	0,164	0,035	0,164	0,030	0,164	0,028	0,164	0,027	0,164
10,3	0,000	0,186	0,000	0,184	0,010	0,184	0,008	0,184	0,008	0,184	0,006	0,184
22,2	0,086	0,257	0,086	0,256	0,086	0,256	0,086	0,256	0,084	0,256	0,084	0,256
23,0	0,107	0,261	0,099	0,260	0,098	0,260	0,097	0,260	0,095	0,260	0,095	0,260
26,8	0,103	0,281	0,093	0,280	0,012	0,280	0,124	0,280	0,047	0,280	0,035	0,280
33,9	0,106	0,312	0,338	0,311	0,328	0,311	0,144	0,311	0,148	0,311	0,147	0,311
36,6	0,219	0,321	0,202	0,321	0,174	0,321	0,142	0,321	0,117	0,321	0,166	0,321
44,4	0,109	0,345	0,105	0,345	0,104	0,345	0,101	0,345	0,096	0,345	0,094	0,345
47,4	0,235	0,353	0,238	0,352	0,250	0,352	0,133	0,352	0,118	0,352	0,096	0,352
48,2	0,156	0,355	-0,057	0,354	-0,065	0,354	-0,008	0,354	-0,012	0,354	0,076	0,354
48,2	0,531	0,355	0,535	0,354	0,285	0,354	0,256	0,354	0,173	0,354	0,148	0,354
52,2	-0,045	0,363	-0,061	0,363	-0,075	0,363	-0,096	0,363	-0,104	0,363	0,352	0,363
55,0	-0,522	0,369	-0,042	0,368	-0,013	0,368	-0,012	0,368	-0,007	0,368	0,014	0,368
57,5	0,368	0,372	0,333	0,372	0,171	0,372	0,171	0,372	0,027	0,372	0,021	0,372
59,4	-0,178	0,375	0,149	0,375	-0,183	0,375	-0,043	0,375	-0,043	0,375	-0,053	0,375
62,3	0,259	0,379	-0,119	0,379	-0,116	0,379	-0,127	0,379	-0,126	0,379	-0,126	0,379
63,1	-0,225	0,380	-0,101	0,380	0,141	0,380	0,130	0,380	-0,097	0,380	-0,171	0,380
72,0	-0,425	0,389	-0,455	0,389	-0,200	0,389	-0,203	0,389	-0,122	0,389	-0,054	0,389
89,5	-0,073	0,399	-0,053	0,398	-0,071	0,398	-0,059	0,398	-0,070	0,398	-0,135	0,398
100,6	-0,098	0,402	-0,088	0,401	-0,087	0,401	-0,087	0,401	-0,127	0,401	-0,179	0,401
103,0	0,210	0,402	-0,178	0,402	-0,226	0,402	-0,256	0,402	0,088	0,402	-0,037	0,402
105,3	-0,063	0,403	-0,541	0,402	-0,083	0,402	-0,223	0,402	-0,193	0,402	-0,195	0,402
119,4	0,493	0,405	0,036	0,404	-0,007	0,404	-0,272	0,404	-0,286	0,404	-0,272	0,405
140,3	-0,565	0,409	0,268	0,408	0,230	0,408	0,125	0,408	-0,091	0,408	-0,081	0,408
151,7	-0,250	0,412	0,141	0,412	0,295	0,412	0,110	0,412	0,147	0,412	0,087	0,412
159,3	-0,266	0,415	-0,116	0,414	-0,131	0,414	-0,111	0,415	-0,115	0,415	-0,111	0,415
162,7	-0,377	0,417	-0,301	0,416	-0,295	0,416	-0,297	0,416	-0,190	0,416	-0,216	0,416
165,8	-1,571	0,418	-0,883	0,417	-0,637	0,417	-0,657	0,417	0,315	0,417	0,344	0,417
173,0	-0,263	0,422	-0,247	0,421	-0,385	0,421	-0,033	0,421	-0,052	0,421	-0,166	0,421
187,0	-0,343	0,430	-0,122	0,430	-0,404	0,430	-0,222	0,430	-0,199	0,430	-0,126	0,430
191,8	-0,328	0,434	-0,439	0,433	-0,365	0,433	-0,363	0,433	-0,220	0,433	-0,191	0,433
199,3	-0,277	0,439	-0,075	0,439	-0,082	0,439	-0,005	0,439	-0,017	0,439	0,007	0,439
206,1	-0,296	0,489	-0,539	0,453	-0,347	0,447	-0,163	0,446	-0,046	0,445	-0,035	0,445
211,1	-0,369	0,463	-0,418	0,453	-0,419	0,450	-0,181	0,450	-0,207	0,449	-0,247	0,449
215,3	0,104	0,463	-0,111	0,455	-0,222	0,453	-0,185	0,453	-0,159	0,453	-0,122	0,453
221,9	-0,186	0,466	-0,014	0,461	0,007	0,460	0,008	0,459	0,035	0,459	0,051	0,459
230,6	0,499	0,483	0,101	0,476	-0,035	0,471	0,112	0,470	0,153	0,469	0,218	0,468
233,3	0,113	0,483	0,164	0,473	0,180	0,471	0,120	0,471	0,085	0,470	0,069	0,470
237,9	-0,060	0,492	0,743	0,480	0,730	0,477	0,473	0,480	0,264	0,476	0,137	0,476
247,2	0,382	0,494	0,619	0,491	0,692	0,489	0,523	0,487	0,470	0,487	0,407	0,486
252,1	-0,183	0,527	0,032	0,499	0,184	0,494	0,139	0,492	0,197	0,492	0,189	0,492
Máximo	0,531		0,743		0,730		0,523		0,470		0,407	
Mínimo	-1,571		-0,883		-0,637		-0,657		-0,286		-0,272	
$\Delta\bar{H}$	-0,068		-0,015		-0,010		-0,013		0,005		0,008	
$\bar{\sigma}_{\Delta H}$	0,365		0,310		0,273		0,213		0,157		0,162	
$MSE_{\Delta H}$	0,371		0,310		0,273		0,213		0,157		0,162	

Tabela 5.12b – Discrepância da altitude ortométrica para o receptor L1L2 utilizando a pseudodistância

Vetor (km)	10 min		20 min		30 min		40 min		50 min		60 min	
	$\Delta H$ (m)	$\sigma_{\Delta H}$ (m)	$\Delta H$ (m)	$\sigma_{\Delta H}$ (m)	$\Delta H$ (m)	$\sigma_{\Delta H}$ (m)	$\Delta H$ (m)	$\sigma_{\Delta H}$ (m)	$\Delta H$ (m)	$\sigma_{\Delta H}$ (m)	$\Delta H$ (m)	$\sigma_{\Delta H}$ (m)
2,6	0,233	0,238	0,068	0,171	-0,057	0,163	-0,133	0,160	-0,092	0,156	-0,148	0,154
6,9	0,386	0,466	1,154	0,337	0,500	0,300	0,359	0,250	0,352	0,228	0,310	0,212
10,3	0,586	0,253	0,709	0,239	0,862	0,236	0,580	0,227	0,436	0,222	0,321	0,219
22,2	0,012	0,665	-0,332	0,468	-0,646	0,415	-0,536	0,379	-0,417	0,365	-0,409	0,373
23,0	-0,434	0,545	-0,517	0,409	-0,318	0,349	-0,180	0,320	-0,127	0,307	-0,194	0,300
26,8	1,389	0,605	0,761	0,472	-0,100	0,417	-0,269	0,374	-0,620	0,353	-0,481	0,341
33,9	-0,011	0,607	0,594	0,457	0,063	0,464	-0,052	0,413	-0,217	0,387	-0,415	0,371
36,6	-1,136	0,958	0,781	0,644	-0,148	0,573	-0,473	0,543	-0,260	0,487	-0,436	0,456
44,4	0,239	0,570	0,853	0,480	0,610	0,448	0,649	0,451	0,765	0,439	0,740	0,417
47,4	-0,807	0,556	-0,438	0,435	-0,307	0,407	0,173	0,402	0,311	0,388	0,222	0,379
48,2	0,757	0,876	0,172	0,624	0,018	0,530	0,289	0,479	0,215	0,451	0,498	0,428
48,2	-0,932	0,609	-0,923	0,496	-0,867	0,474	-0,565	0,457	-0,416	0,437	-0,259	0,427
52,2	1,833	1,389	0,581	0,606	-0,001	0,530	-0,038	0,459	-0,047	0,427	-0,234	0,413
55,0	-3,260	0,958	-2,799	0,675	-1,113	0,537	-0,662	0,471	-0,215	0,450	-0,455	0,431
57,5	-0,789	0,441	-0,306	0,443	-0,067	0,427	-0,174	0,425	-0,294	0,411	-0,486	0,408
59,4	-0,095	0,772	-0,556	0,553	-0,628	0,499	-0,359	0,463	-0,386	0,441	-0,608	0,428
62,3	-0,449	0,502	-0,590	0,454	-0,235	0,426	-0,346	0,413	-0,338	0,414	-0,338	0,414
63,1	-1,467	0,745	-0,608	0,572	-0,922	0,504	-1,050	0,477	-0,627	0,469	-0,436	0,456
72,0	0,470	0,692	0,579	0,573	0,377	0,529	0,001	0,486	-0,162	0,462	-0,318	0,448
89,5	-0,544	0,608	-0,671	0,535	-1,667	0,516	-1,344	0,481	-1,295	0,461	-0,933	0,451
100,6	0,255	0,514	-0,128	0,489	-0,274	0,460	-0,309	0,448	-0,296	0,441	-0,029	0,436
103,0	-1,635	0,755	-1,623	0,595	-2,309	0,535	-2,210	0,510	-1,631	0,501	-1,111	0,487
105,3	0,457	0,485	0,224	0,454	-0,071	0,448	0,000	0,441	0,173	0,435	0,080	0,430
119,4	-0,469	0,778	-0,643	0,730	-1,060	0,621	-0,594	0,570	0,182	0,533	0,425	0,501
140,3	0,232	0,824	-1,025	0,645	-0,904	0,586	-0,401	0,518	-1,115	0,487	-0,924	0,472
151,7	-1,580	0,634	-1,063	0,500	-1,050	0,463	-0,772	0,448	-0,881	0,440	-0,818	0,434
159,3	2,530	0,726	2,493	0,592	0,832	0,575	-0,160	0,550	0,417	0,522	0,078	0,512
162,7	-2,046	0,638	-2,181	0,827	-0,887	0,647	-1,748	0,575	-0,923	0,534	-0,644	0,500
165,8	-1,424	0,686	-0,232	0,557	-0,018	0,490	-0,282	0,477	-0,591	0,469	-0,486	0,459
173,0	-3,222	0,550	-1,484	0,529	-0,838	0,492	-0,656	0,478	-0,420	0,472	-0,160	0,467
187,0	-1,908	1,007	-0,846	0,740	-0,862	0,590	-0,509	0,524	-0,244	0,502	-0,152	0,486
191,8	-1,243	0,547	-0,346	0,516	-0,125	0,487	-0,087	0,478	-0,322	0,464	-0,420	0,459
199,3	0,866	0,643	-0,359	0,580	-0,346	0,525	-0,507	0,501	-0,757	0,484	-0,515	0,478
206,1	-0,892	0,651	-0,215	0,578	-0,096	0,525	-0,344	0,503	-0,531	0,492	-0,829	0,486
211,1	-1,406	0,903	-1,951	0,719	-1,484	0,630	-1,200	0,602	-1,024	0,570	-0,527	0,536
215,3	1,239	0,792	0,185	0,612	-0,453	0,555	-0,211	0,532	-0,456	0,532	-0,110	0,518
221,9	-3,301	1,929	-0,849	1,052	-0,644	0,796	-0,682	0,924	-0,667	0,636	0,003	0,600
230,6	-2,040	0,816	-1,881	0,641	-1,288	0,592	-0,690	0,557	-0,879	0,539	-1,040	0,539
233,3	-2,114	0,644	-0,918	0,580	-0,901	0,548	-1,103	0,525	-1,046	0,510	-0,908	0,499
237,9	0,042	0,688	-0,161	0,606	-0,300	0,577	-0,480	0,548	-0,599	0,531	-0,449	0,523
247,2	-2,554	0,830	-1,521	0,787	-0,724	0,688	-0,409	0,635	-0,562	0,596	0,289	0,572
252,1	3,701	0,812	1,918	0,622	1,459	0,561	1,100	0,551	0,575	0,554	0,529	0,549
Máximo	3,701		2,493		1,459		1,100		0,765		0,740	
Mínimo	-3,301		-2,799		-2,309		-2,210		-1,631		-1,111	
$\Delta \bar{H}$	-0,489		-0,336		-0,404		-0,390		-0,358		-0,280	
$\bar{\sigma}_{\Delta H}$	1,500		1,052		0,714		0,600		0,518		0,450	
$MSE_{\Delta H}$	1,578		1,105		0,821		0,716		0,630		0,531	

Tabela 5.13a – Discrepância da altitude ortométrica para o receptor L1 utilizando a fase

Vetor	10 min		20 min		30 min		40 min		50 min		60 min	
(km)	$\Delta H$ (m)	$\sigma_{\Delta H}$ (m)	$\Delta H$ (m)	$\sigma_{\Delta H}$ (m)	$\Delta H$ (m)	$\sigma_{\Delta H}$ (m)	$\Delta H$ (m)	$\sigma_{\Delta H}$ (m)	$\Delta H$ (m)	$\sigma_{\Delta H}$ (m)	$\Delta H$ (m)	$\sigma_{\Delta H}$ (m)
2,6	-0,025	0,147	-0,024	0,145	-0,021	0,145	-0,013	0,145	-0,017	0,145	-0,016	0,145
6,9	-0,130	0,194	0,008	0,169	0,008	0,164	0,005	0,164	0,002	0,164	0,002	0,164
10,3	-0,137	0,234	-0,046	0,184	-0,043	0,184	-0,046	0,184	-0,045	0,184	-0,046	0,184
22,2	-0,162	0,257	0,017	0,257	0,040	0,256	0,044	0,256	0,045	0,256	0,048	0,256
23,0	0,116	0,265	0,014	0,260	0,021	0,260	0,032	0,260	0,033	0,260	0,036	0,260
26,8	0,410	0,286	0,145	0,280	0,143	0,281	0,161	0,280	0,138	0,280	0,088	0,280
33,9	0,157	0,335	-0,026	0,315	-0,056	0,313	-0,057	0,312	-0,085	0,311	-0,111	0,311
36,6	0,618	0,346	-0,053	0,331	0,168	0,324	0,159	0,323	0,152	0,322	0,150	0,322
44,4	0,253	0,354	0,076	0,345	0,065	0,345	-0,023	0,345	0,017	0,345	0,027	0,345
47,4	-0,221	0,381	-0,199	0,356	-0,200	0,354	-0,139	0,353	-0,172	0,353	-0,134	0,353
48,2	0,492	0,373	0,015	0,360	0,046	0,357	-0,066	0,355	-0,140	0,355	-0,163	0,354
48,2	0,441	0,418	0,413	0,418	0,286	0,392	0,260	0,379	0,231	0,369	0,030	0,363
52,2	-0,918	0,494	-0,577	0,399	0,334	0,375	0,011	0,369	-0,406	0,368	-0,440	0,367
55,0	-0,310	0,376	0,058	0,371	-0,098	0,368	-0,112	0,368	-0,110	0,368	0,007	0,368
57,5	0,003	0,389	0,087	0,372	-0,155	0,373	-0,034	0,374	0,091	0,374	0,130	0,373
59,4	-0,146	0,392	-0,222	0,383	-0,359	0,379	-0,274	0,377	-0,141	0,376	-0,064	0,375
62,3	0,034	0,425	-0,143	0,391	-0,385	0,379	-0,326	0,380	-0,343	0,380	-0,321	0,379
63,1	-0,931	0,476	-0,203	0,404	-0,116	0,386	-0,193	0,383	-0,257	0,383	-0,160	0,383
72,0	1,014	0,456	0,071	0,413	0,209	0,401	0,059	0,401	0,159	0,397	0,256	0,396
89,5	-0,432	0,418	-0,127	0,405	0,074	0,403	-0,032	0,401	-0,084	0,400	-0,081	0,399
100,6	-0,674	0,446	-1,197	0,418	-0,977	0,408	-0,873	0,406	-0,596	0,406	-0,553	0,405
103,0	0,833	0,414	0,215	0,408	0,037	0,405	-0,195	0,404	-0,299	0,403	-0,305	0,403
105,3	0,574	0,418	-0,309	0,415	-0,375	0,411	-0,327	0,407	-0,239	0,405	-0,170	0,404
119,4	0,378	0,597	-0,819	0,443	-0,171	0,419	0,451	0,425	0,737	0,420	1,261	0,417
140,3	-0,464	0,432	-0,036	0,420	-0,171	0,415	-0,217	0,412	-0,162	0,411	-0,111	0,410
151,7	-0,172	0,455	-1,642	0,449	-1,010	0,431	-0,719	0,426	-0,311	0,423	-0,156	0,419
159,3	-0,123	0,476	0,961	0,442	0,127	0,427	0,125	0,421	0,058	0,419	0,035	0,416
162,7	-0,100	0,537	-0,413	0,480	-0,759	0,474	-0,596	0,476	-0,951	0,451	-0,960	0,441
165,8	-1,318	0,644	-0,297	0,490	-0,273	0,453	0,459	0,449	1,407	0,451	1,994	0,436
173,0	0,053	0,812	-0,351	0,576	-1,553	0,508	-1,476	0,473	-0,946	0,456	-0,778	0,446
187,0	0,435	0,474	-0,112	0,446	-0,043	0,439	0,036	0,435	-0,033	0,434	0,077	0,432
191,8	-0,201	0,444	-0,987	0,452	-1,149	0,449	-0,932	0,442	-0,977	0,440	-0,683	0,439
199,3	2,035	0,485	1,203	0,464	-0,215	0,461	-0,570	0,449	-0,617	0,445	-0,781	0,443
206,1	0,294	0,758	-0,160	0,546	0,617	0,489	0,708	0,466	0,669	0,457	0,651	0,453
211,1	-3,869	0,476	-2,348	0,515	-1,305	0,473	-1,185	0,464	-1,601	0,459	-0,895	0,475
215,3	-1,900	0,942	2,708	0,565	1,031	0,906	0,412	0,720	1,794	0,597	0,943	0,548
221,9	-0,204	0,490	-0,076	0,470	0,043	0,466	-0,020	0,465	-0,067	0,463	0,023	0,462
230,6	1,132	0,522	1,529	0,537	0,105	0,507	0,032	0,481	0,115	0,475	0,332	0,471
233,3	-1,639	0,517	-0,916	0,526	0,425	0,509	0,362	0,486	0,426	0,481	0,216	0,478
237,9	1,882	0,547	0,735	0,507	0,521	0,489	0,299	0,514	0,208	0,496	0,232	0,491
247,2	-1,805	0,533	-2,490	0,543	-1,320	0,524	-0,610	0,522	-0,865	0,503	-0,310	0,495
252,1	0,881	0,665	1,193	0,623	1,556	0,540	0,738	0,737	0,945	0,630	0,691	0,619
Máximo	2,035		2,708		1,556		0,738		1,794		1,994	
Mínimo	-3,869		-2,490		-1,553		-1,476		-1,601		-0,960	
$\Delta \bar{H}$	-0,092		-0,103		-0,117		-0,111		-0,053		0,000	
$\hat{\sigma}_{\Delta H}$	1,014		0,899		0,595		0,461		0,602		0,542	
$MSE_{\Delta H}$	1,018		0,905		0,606		0,474		0,604		0,542	

Tabela 5.13b – Discrepância da altitude ortométrica para o receptor L1 utilizando a pseudodistância

Vetor (km)	10 min		20 min		30 min		40 min		50 min		60 min	
	$\Delta H$ (m)	$\sigma_{\Delta H}$ (m)	$\Delta H$ (m)	$\sigma_{\Delta H}$ (m)	$\Delta H$ (m)	$\sigma_{\Delta H}$ (m)	$\Delta H$ (m)	$\sigma_{\Delta H}$ (m)	$\Delta H$ (m)	$\sigma_{\Delta H}$ (m)	$\Delta H$ (m)	$\sigma_{\Delta H}$ (m)
2,6	-0,990	0,246	-0,941	0,201	-0,844	0,184	-0,785	0,176	-0,648	0,174	-0,350	0,174
6,9	0,503	0,380	0,828	0,286	1,769	0,224	1,871	0,209	1,631	0,204	1,336	0,200
10,3	0,920	0,259	0,648	0,231	0,712	0,213	0,624	0,207	0,578	0,203	0,448	0,202
22,2	0,379	0,355	0,333	0,314	0,343	0,306	0,294	0,298	0,212	0,297	0,072	0,295
23,0	-1,438	0,373	-1,534	0,330	-1,466	0,307	-1,383	0,292	-1,325	0,284	-1,218	0,279
26,8	0,768	0,337	0,909	0,312	0,734	0,307	0,702	0,304	0,742	0,301	0,715	0,300
33,9	0,983	0,411	0,821	0,368	0,607	0,346	0,589	0,336	0,533	0,330	0,528	0,326
36,6	-0,014	0,434	-0,432	0,379	-0,579	0,367	-0,724	0,356	-0,855	0,348	-0,909	0,345
44,4	0,163	0,425	0,317	0,396	0,317	0,384	0,217	0,383	0,030	0,383	-0,210	0,377
47,4	-0,499	0,387	-0,348	0,369	-0,402	0,365	-0,297	0,365	0,005	0,366	0,209	0,367
48,2	-0,161	0,548	0,485	0,478	0,524	0,435	0,724	0,410	0,801	0,395	0,792	0,385
48,2	-0,261	0,425	-0,144	0,398	0,048	0,384	0,220	0,379	0,275	0,374	0,228	0,371
52,2	-0,049	0,474	-0,063	0,422	-0,135	0,403	-0,374	0,391	-0,517	0,384	-0,487	0,380
55,0	-1,728	0,672	-2,100	0,526	-1,997	0,453	-1,754	0,425	-1,612	0,409	-1,555	0,399
57,5	-1,420	0,425	-0,403	0,392	-0,444	0,387	-0,421	0,384	-0,296	0,385	-0,030	0,385
59,4	0,537	0,556	0,474	0,479	0,644	0,440	1,595	0,408	1,345	0,402	1,094	0,399
62,3	0,170	0,434	0,494	0,403	0,432	0,396	0,365	0,392	0,277	0,390	0,057	0,389
63,1	-2,240	0,491	-2,098	0,446	-1,919	0,429	-1,612	0,424	-1,298	0,417	-1,076	0,411
72,0	-0,873	0,501	-0,817	0,443	-0,330	0,426	-0,085	0,421	-0,053	0,419	-0,114	0,417
89,5	0,007	0,538	-0,240	0,497	-0,908	0,489	-1,194	0,466	-1,238	0,443	-1,372	0,433
100,6	-0,775	0,442	-0,508	0,423	-0,561	0,418	-0,477	0,414	-0,193	0,414	0,074	0,414
103,0	0,023	0,565	-0,162	0,493	0,320	0,454	1,037	0,427	1,007	0,420	0,787	0,418
105,3	-0,201	0,453	-0,148	0,432	-0,392	0,423	-0,465	0,420	-0,545	0,418	-0,611	0,417
119,4	-0,133	0,585	0,063	0,463	0,019	0,447	-0,152	0,443	-0,221	0,436	-0,288	0,428
140,3	-0,618	0,578	-1,059	0,515	-1,565	0,489	-1,527	0,460	-1,492	0,444	-1,572	0,435
151,7	0,760	0,483	0,611	0,444	0,640	0,435	0,493	0,430	0,372	0,426	0,278	0,423
159,3	0,440	0,502	0,205	0,466	0,088	0,447	-0,127	0,441	-0,334	0,437	-0,515	0,435
162,7	-1,828	0,564	-1,662	0,502	-1,275	0,482	-1,188	0,463	-0,919	0,453	-0,655	0,446
165,8	-1,051	0,508	-1,184	0,472	-1,310	0,457	0,588	0,508	0,401	0,501	0,084	0,494
173,0	-3,352	0,486	-3,410	0,459	-2,805	0,480	-2,368	0,471	-2,010	0,461	-1,625	0,454
187,0	-1,031	0,639	-1,940	0,567	-2,011	0,508	-1,857	0,478	-1,877	0,466	-2,018	0,456
191,8	-0,803	0,460	-0,658	0,448	-0,655	0,444	-0,474	0,443	-0,502	0,442	-0,566	0,441
199,3	0,126	0,615	0,578	0,518	1,756	0,469	1,732	0,469	1,507	0,467	1,308	0,463
206,1	-1,593	0,574	-1,438	0,506	-1,109	0,486	-1,044	0,472	-1,251	0,465	-1,557	0,460
211,1	-2,596	0,654	-1,730	0,570	-1,170	0,529	-0,796	0,507	-0,510	0,492	-0,450	0,478
215,3	-1,444	0,538	-1,469	0,503	-1,877	0,487	1,115	0,654	0,234	0,620	-0,385	0,584
221,9	-2,833	0,749	-2,219	0,581	-1,929	0,524	-1,889	0,500	-1,952	0,487	-1,829	0,481
230,6	-0,398	0,504	-0,405	0,515	-0,234	0,489	0,028	0,485	0,219	0,484	0,178	0,483
233,3	1,196	0,524	1,698	0,499	1,646	0,495	1,327	0,491	1,088	0,490	0,821	0,487
237,9	-0,288	0,567	0,032	0,519	-0,102	0,506	-0,301	0,498	-0,461	0,492	-0,653	0,489
247,2	-2,060	0,674	-1,117	0,588	-0,258	0,551	0,789	0,523	0,568	0,510	0,008	0,505
252,1	-0,744	0,639	1,252	0,656	1,536	0,597	1,213	0,571	0,410	0,552	-0,288	0,536
Máximo	1,196		1,698		1,769		1,871		1,631		1,336	
Mínimo	-3,352		-3,410		-2,805		-2,368		-2,010		-2,018	
$\overline{\Delta H}$	-0,582		-0,440		-0,337		-0,137		-0,187		-0,269	
$\overline{\sigma}_{\Delta H}$	1,084		1,091		1,108		1,065		0,946		0,859	
$MSE_{\Delta H}$	1,230		1,177		1,158		1,074		0,964		0,900	

As Tabelas 5.12 e 5.13 mostram que os valores de  $\hat{\sigma}_{\Delta H}$  e  $MSE_{\Delta H}$  decrescem com o aumento do tempo da sessão, e divergem de um receptor para outro conforme o tipo de processamento realizado. Na Tabela 5.12a, observa-se que as discrepâncias da altitude ortométrica ( $\Delta H_{(L1L2)S}^F$ ) possuem praticamente os mesmos erros padrões ( $\sigma_{\Delta H_{(L1L2)S}^F}$ ), para o mesmo vetor nas sessões. Assim, os erros padrões da discrepância em altitude geométrica ( $\sigma_{\Delta \hat{h}}$ ), apresentados na Tabela 5.5, tiveram a mesma influência na determinação de  $\sigma_{\Delta H_{(L1L2)S}^F}$ , independente da sessão.

A discrepância  $\Delta H_{(L1L2)S}^F$  (Tabela 5.12a) corresponde aos melhores resultados obtidos para o nivelamento através do GPS. Verifica-se também que os valores da precisão ( $\hat{\sigma}_{\Delta H}$ ) e exatidão ( $MSE_{\Delta H}$ ) melhoram com o aumento do intervalo do tempo da sessão, e a partir de 20 minutos, esses valores são praticamente iguais, considerando as respectivas sessões. O que também ocorreu na Tabela 5.5.

Na Tabela 5.13a, de uma forma geral e para os vetores inferiores a 120 km,  $\Delta H_{(L1)S_i}^F$  é coerente com o respectivo erro padrão, exceto para a sessão de 10 minutos. Observa-se também que  $\sigma_{\Delta H_{(L1)S}^F}$  são similares para os intervalos das sessões de 50 e 60 minutos. Os valores máximos e mínimos ocorreram para os vetores maiores que 160 km.

Os resultados com processamento da pseudodistância, correspondendo aos receptores L1L2 e L1 (Tabelas 5.12b e 5.13b), as discrepâncias de altitude ortométrica ( $\Delta H_{(L1L2)S}^{PD}$ ) e ( $\Delta H_{(L1)S}^{PD}$ ) apresentam uma componente negativa que decresce com o aumento de duração da sessão. Comparando-se o comportamento dos resultados obtidos com a pseudodistância em relação a fase, também para os receptores L1L2 e L1, a utilização da pseudodistância apresenta os piores resultados.

Em geral, o nivelamento para o receptor L1L2, utilizando a L0 para a fase, apresentaram os melhores resultados. Para o receptor L1, utilizando a fase, o nivelamento até 160 km apresentou também resultados satisfatórios, para ambos receptores, as sessões são de 50 e 60 minutos.

## 6 ANÁLISES DOS RESULTADOS

Este Capítulo contém a representação gráfica e análise dos resultados apresentados no Capítulo 5, sobre o nivelamento geométrico das RNEs, os multicaminhos e as discrepâncias das altitudes geométrica e ortométrica.

### 6.1 Referências de nível excêntricas

A Figura 6.1 mostra os comprimentos das linhas de visadas (CLV) obtidos no nivelamento (N\_RN, N\_RNE\_L1 e N\_RNE\_L1L2) e contranivelamento (C\_RN, C\_RNE\_L1 e C\_RNE\_L1L2) das referências de nível excêntricas. Nas Figuras 6.2 e 6.3 encontram-se os desníveis médios e as diferenças de desníveis (DDn), respectivamente, obtidos no nivelamento e contranivelamento, entre a RN e as respectivas RNE\_L1L2.

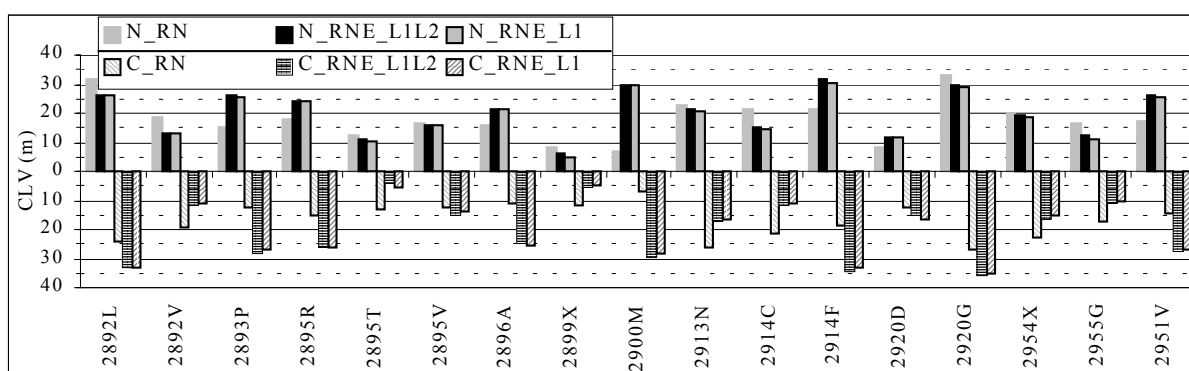


Figura 6.1 – Comprimento da Linha de Visada do nivelamento e contranivelamento das RNEs.

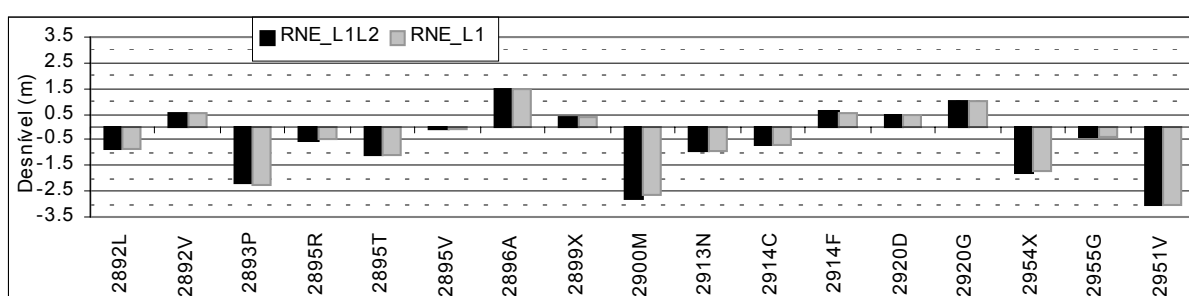


Figura 6.2 – Desnível médio entre a RN e RNE.

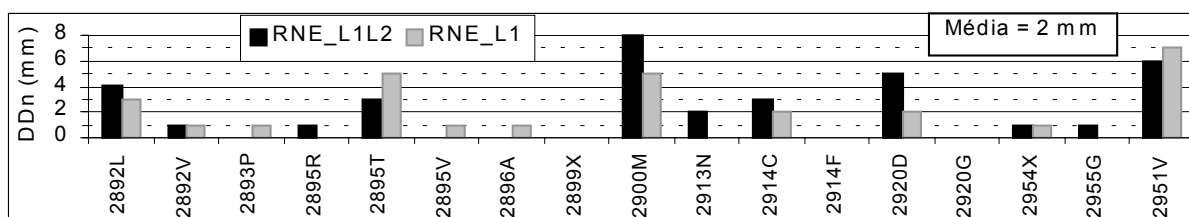


Figura 6.3 – Diferença de Desníveis entre o entre o nivelamento e contranivelamento.

Nas Figuras 6.1, 6.2 e 6.3, observa-se que a DDn máxima é 8 mm, correspondendo a RNE\_L1L2 2900M. Essa RNE apresenta um desnível de -2,807 m em relação a RN. Pode-se constatar que o nível (aparelho) não ficou equidistante nas leituras de ré e vante, tanto no nivelamento como no contranivelamento. O horário do nivelamento da RN 2900M compreendeu ao de maior insolação, e em função da sua localização, as leituras na mira para o Fio Médio (FM) em ré e em vante corresponderam aproximadamente a 0,50 e 3,30 m, respectivamente, estando a mira de vante sujeita a oscilações, causadas pelo vento. As leituras do FM nas RNs 2920D e 2951V também foram feitas acima de 2,50 m e os seus horários corresponderam ao de maior insolação, coincidindo também para a RN 2914C. As DDn para as RNs 2892L, 2895T e 2913N, podem estar associadas ao erro de verticalidade da mira e/ou a falta de tangência entre os traços da mira e os fios do retículo, sendo necessário a estimação das leituras. Assim, em relação a Figura 2.9 (isolinhas de precisão centimétrica) ou Tabela 5.2 ( $\sigma_H$ ), verifica-se que a DDn obtida no nivelamento geométrico (Figura 6.3) realizado para as referências de nível excêntricas, é inferior ao erro padrão estabelecido para as respectivas RNEs.

## 6.2 Multicaminhos nas estações referência

As Figuras 6.4, 6.5 e 6.6, ilustram os valores de MP1 e MP2, para os multicaminhos nas frequências L1 e L2, das estações 2891P, UEPP e PARA, respectivamente. As estações UEPP e PARA podem ser consideradas uma boa referência para análise do multicaminho, em função da boa localização das antenas.

Verifica-se nas Figuras 6.4, 6.5 e 6.6 que os valores de MP1 são melhores que os de MP2, contudo não significa que o multicaminho em MP2 é maior que MP1. Essa diferença está associada à criptografia imposta ao código P (código Y) na portadora L2 e também uma maior influência da ionosfera sobre essa portadora. A diferença dos valores de MP1 e MP2 na Figura 6.4 em relação às Figuras 6.5 e 6.6 decorre do uso de receptores de marca diferentes, ou seja, os respectivos *softwares* utilizam técnicas distintas para acessar as portadoras L1 e L2. Deve-se observar que MP1 é menor que MP2 devido ao código C/A ser conhecido, o que facilita o seu acesso. Na portadora L2, o código P é acessado por várias técnicas, dentre elas a “correlação cruzada” e a “Z tracking”, sendo utilizadas, respectivamente, nos receptores 4000SSI e Z-XII. Maiores detalhes quanto a descrição das técnicas de processamento do sinal podem ser encontradas em Monico (2000).

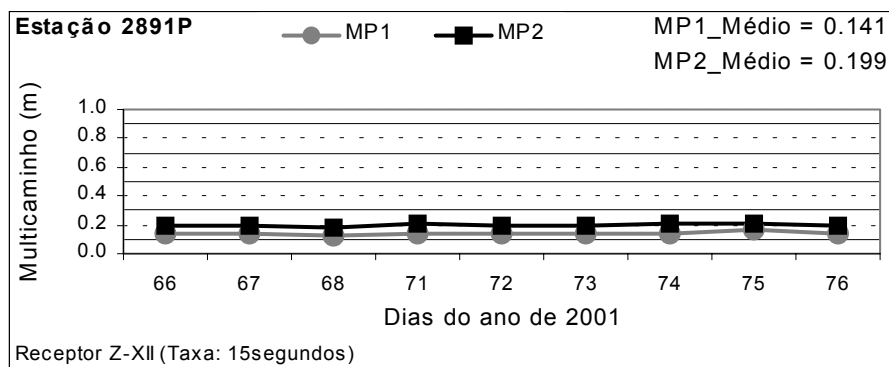


Figura 6.4 – Multicaminho na estação de referência 2891P.

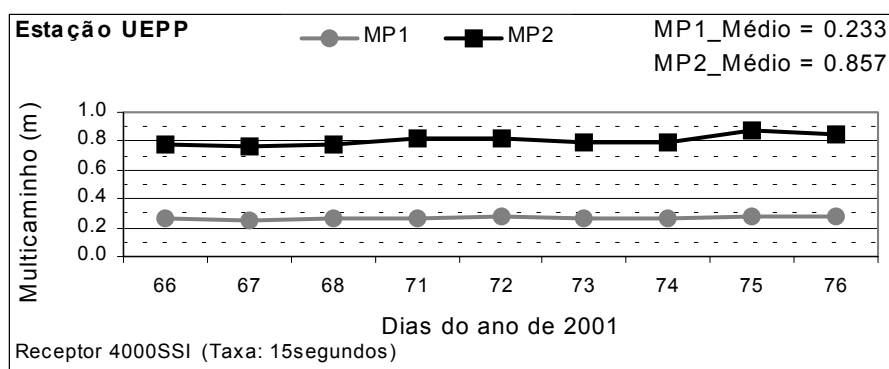


Figura 6.5 – Multicaminho na estação UEPP da RBMC.

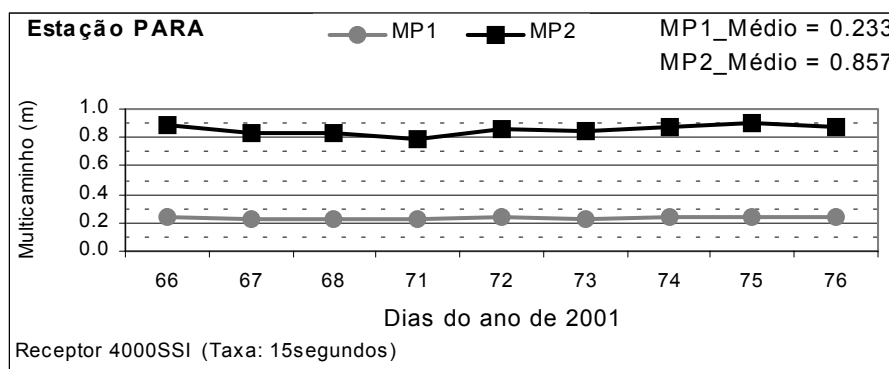


Figura 6.6 – Multicaminho na estação PARA da RBMC.

Contudo, os valores de MP1 e MP2 estão relacionados com o ambiente em que se encontra a antena do receptor GPS. Como já exposto anteriormente, locais com muitas construções, ou até mesmo com vegetação, fazem com que aumente a incidência de multicaminho. Nas Figuras 6.4, 6.5 e 6.6, não ocorreram “picos”, indicando que o local da estação 2891P, que é a estação de referência neste trabalho, também não está sujeito aos efeitos de multicaminho.

### 6.3 Avaliação da altitude geométrica para os receptores L1L2 e L1

A avaliação da altitude geométrica ( $h_i$ ) determinada com o processamento GPS (L1L2 e L1) consistiu em compará-la com a altitude geométrica ajustada ( $\hat{h}_i$ ), determinando a discrepância de altitude ( $\Delta\hat{h}_i = \hat{h}_i - h_i$ ), e o erro padrão dessa discrepância ( $\sigma_{\Delta\hat{h}_i} = \pm \sqrt{\sigma_{\hat{h}_i}^2 + \sigma_{h_i}^2}$ ) foi obtido a partir da propagação das variâncias. Assim, foi determinado  $\hat{h}_i$  com o processamento e o ajustamento das RNs, que formam a linha de nivelamento deste trabalho, em relação as estações de referência 2891P, UEPP e PARA. Na Figura 6.7, encontra-se o erro padrão do ajustamento ( $\sigma_{\Delta\hat{h}_i}$ ) em função do comprimento da base. Convém lembrar que o erro padrão da estação 2891P (zero quilômetro) foi determinada com o ajustamento em relação as estações UEPP e PARA.

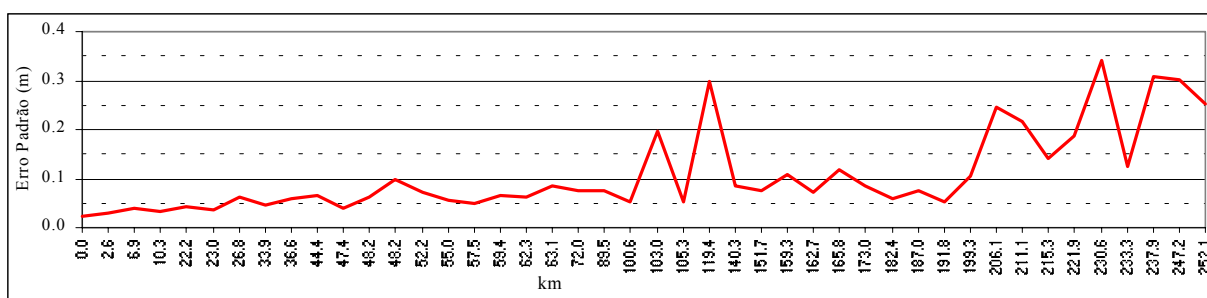


Figura 6.7 – Erro padrão da altitude geométrica ajustada.

Na Figura 6.8, são mostradas as discrepâncias das altitudes geométrica ( $\Delta\hat{h}_i$ ) para o receptor L1L2, utilizando a observável da fase L0, e na Figura 6.9 para  $\Delta\hat{h}_i$  a pseudodistância L0. Nas Figuras 6.10 e 6.11, encontram-se  $\Delta\hat{h}_i$  para o receptor L1, utilizando a fase e a pseudodistância, respectivamente. Em ambas as figuras,  $\Delta\hat{h}_i$  foi ordenada em função dos intervalos das sessões e associadas ao respectivo erro padrão ( $\pm \sigma_{\Delta\hat{h}_i}$ ). Como a análise dos resultados para  $\Delta\hat{h}_i$  obtidas com os dois intervalos (5 e 15 segundos) foram semelhantes, optou-se em apresentar apenas os resultados de 15 segundos neste Capítulo. Essas figuras correspondem à ilustração das Tabelas 5.5b, 5.6b, 5.7b e 5.8b, respectivamente.

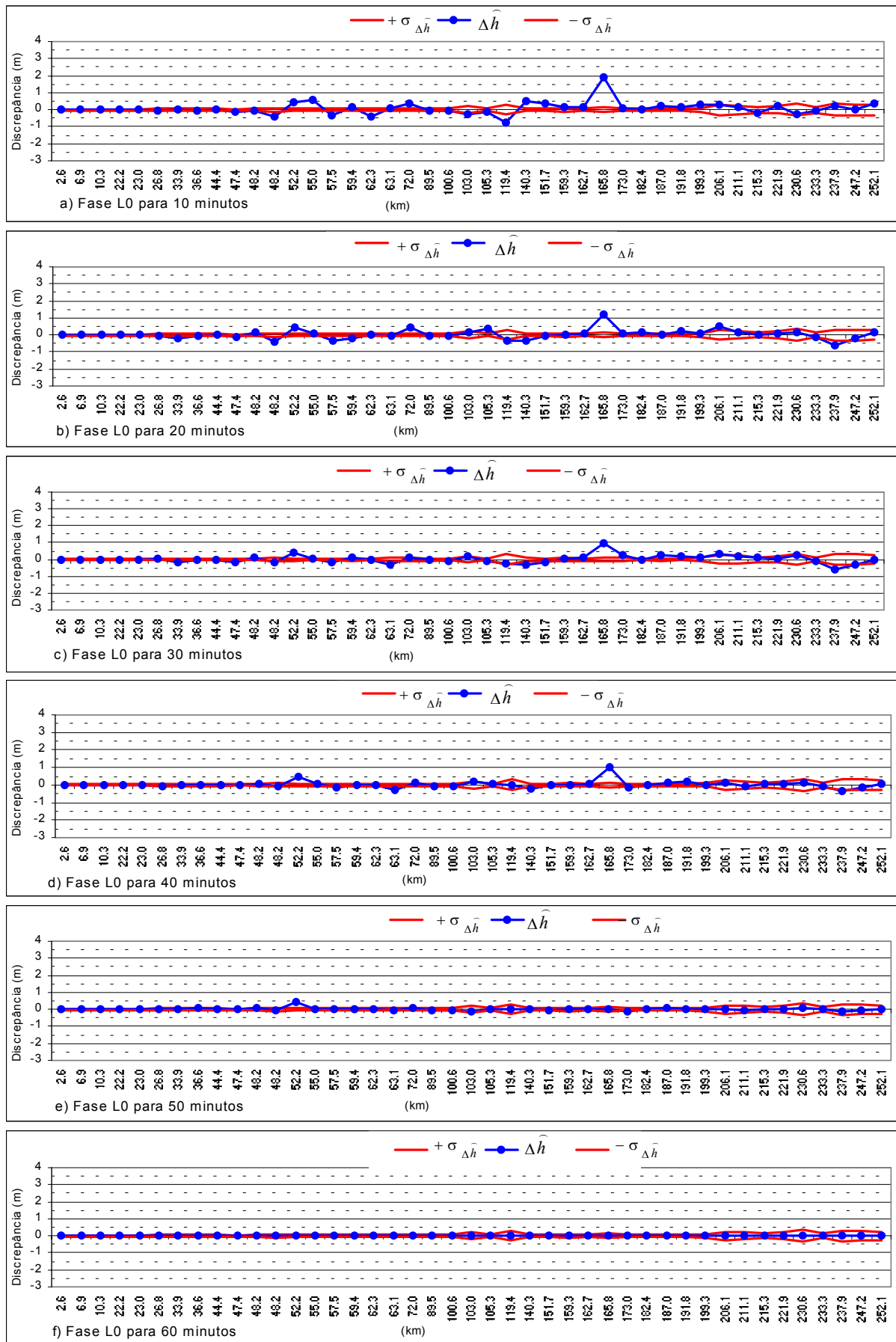


Figura 6.8 – Discrepância da altitude geométrica para o receptor L1L2 utilizando a fase L0.

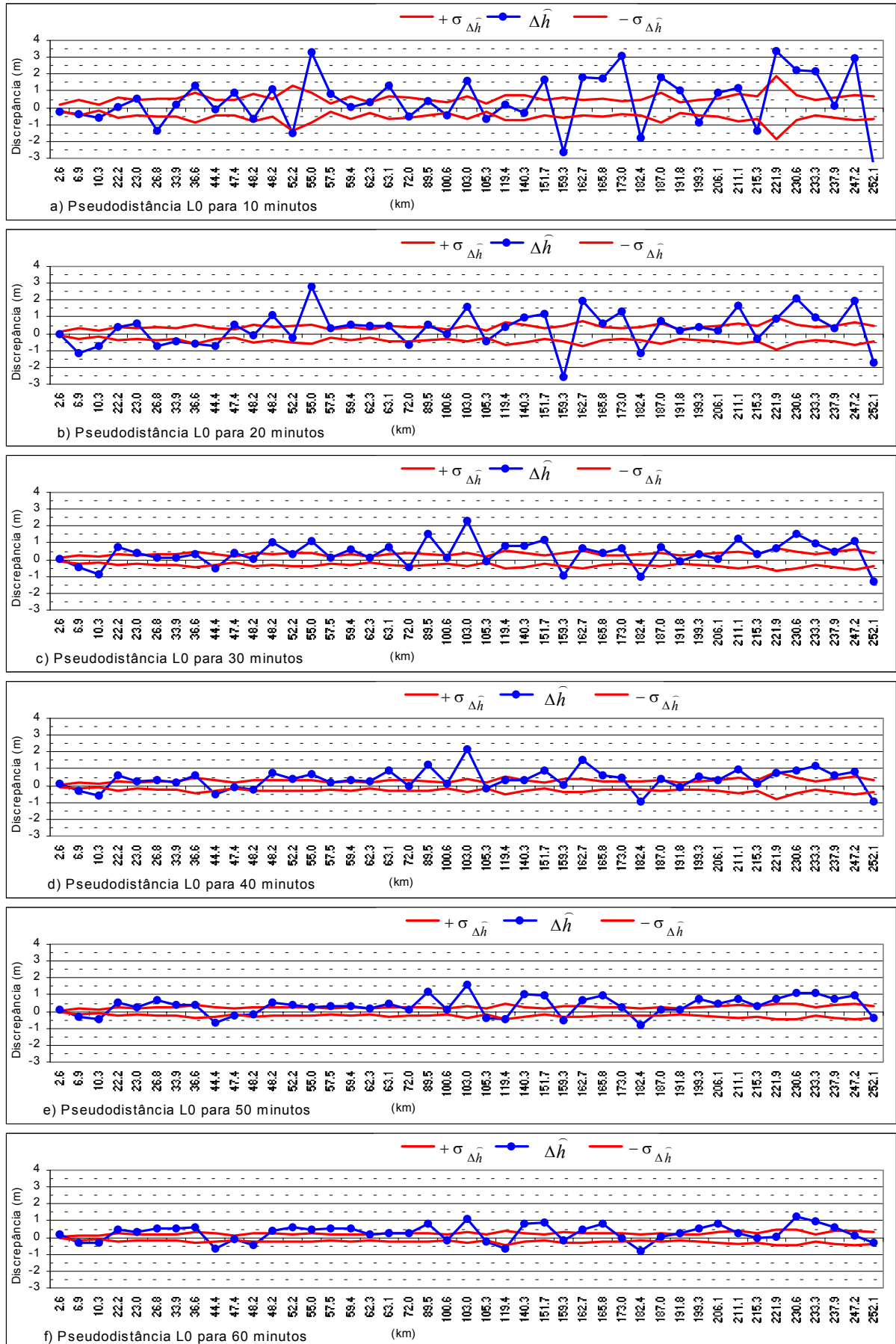


Figura 6.9 – Discrepância da altitude geométrica para o receptor L1L2 utilizando a pseudodistância L0.

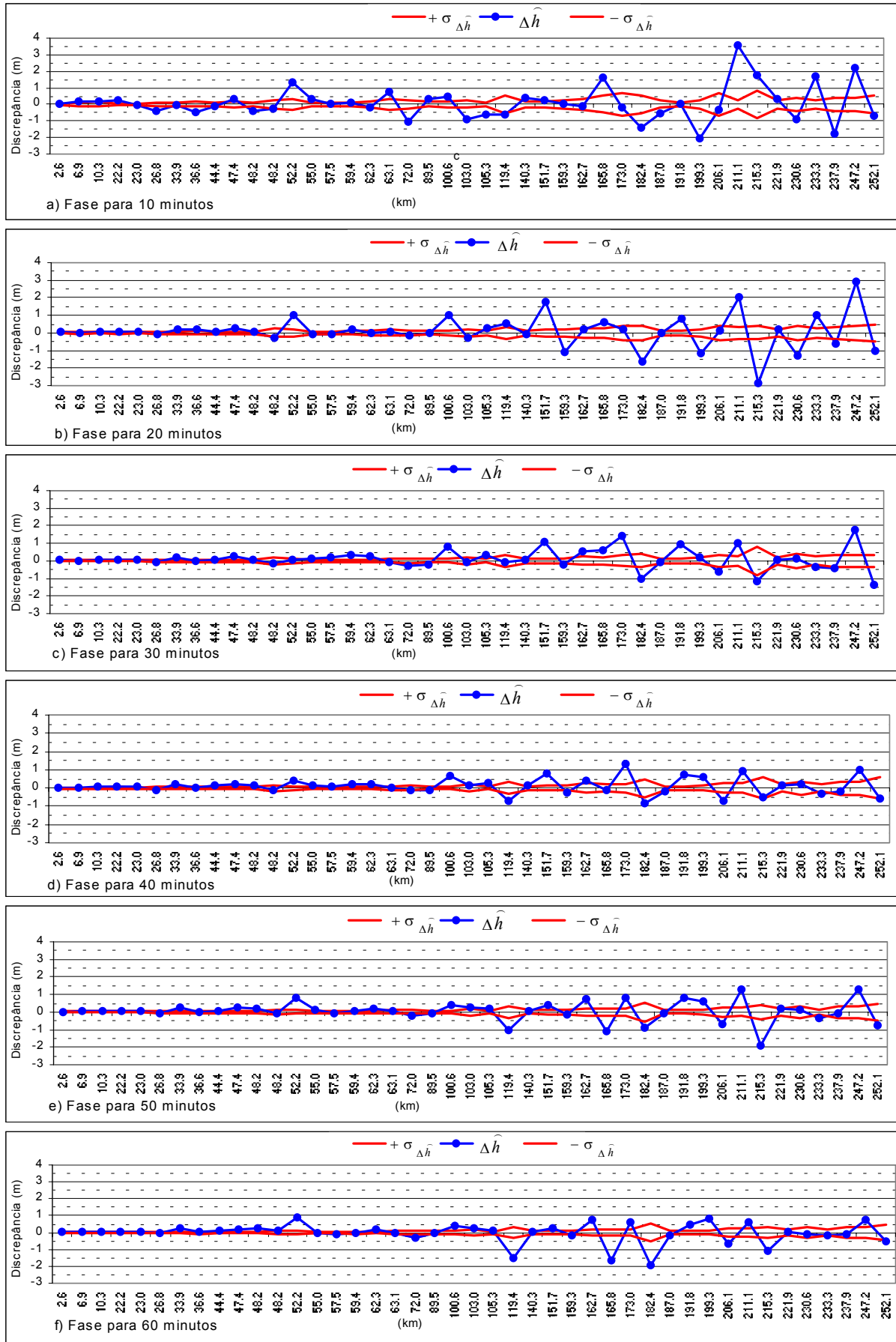


Figura 6.10 – Discrepância da altitude geométrica para o receptor L1 utilizando a fase.

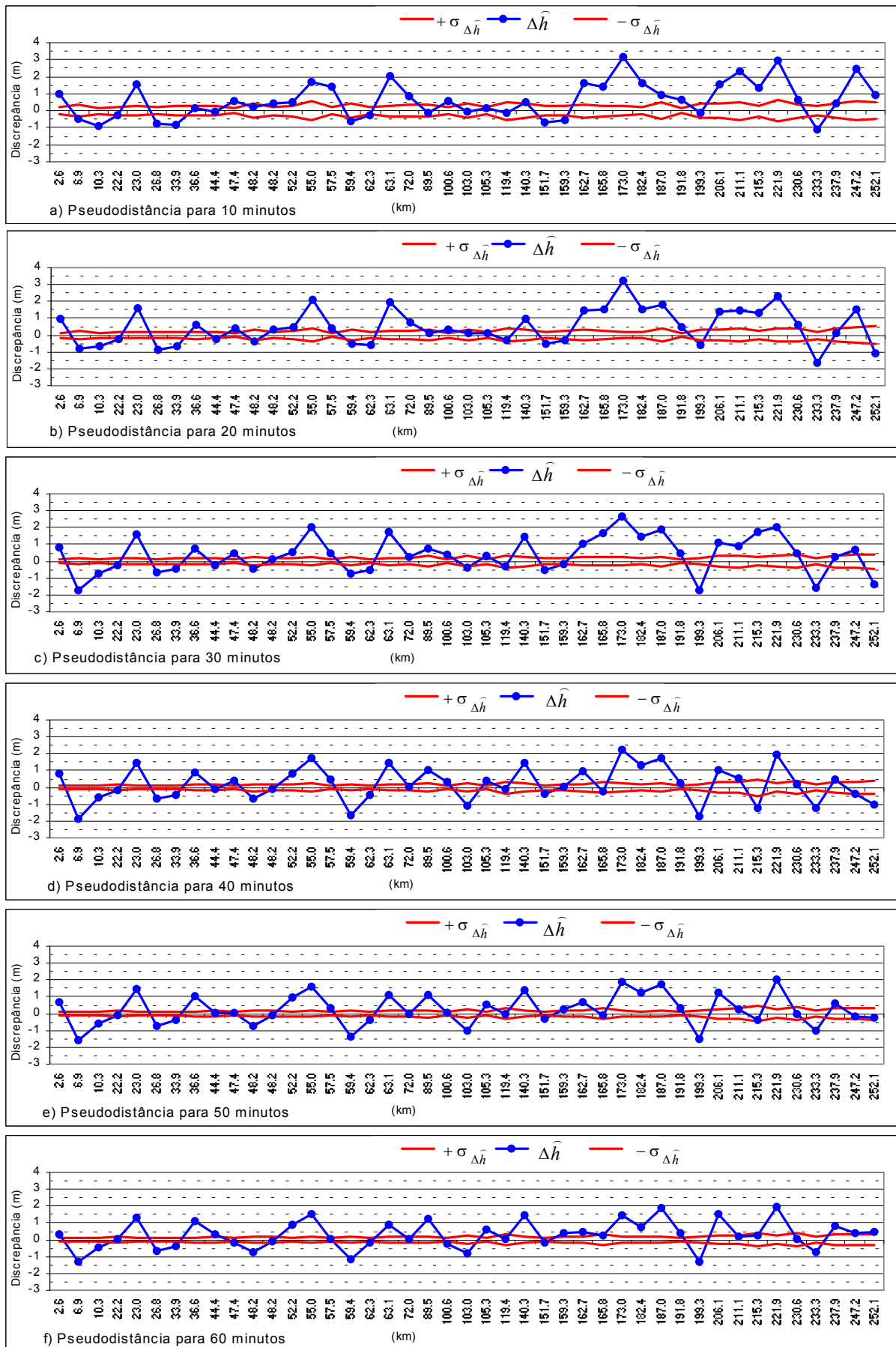


Figura 6.11 – Discrepância da altitude geométrica para o receptor L1 utilizando a pseudodistância.

A Figura 6.8 mostra as discrepâncias  $\Delta\hat{h}_{(L1L2)S}^F$  associadas ao receptor L1L2, utilizando a L0 para a fase. Nessa figura, as discrepâncias indicam os melhores resultados, independente do tempo da sessão e do comprimento da base, comparado com as outras figuras. A partir da Figura 6.8d, verifica-se que a maioria das discrepâncias  $\Delta\hat{h}_{(L1L2)S}^F$  estão dentro do intervalo do erro padrão  $\left(\pm\sigma_{\Delta\hat{h}_{(L1L2)S}^F}\right)$ . Em geral, o tempo da sessão melhorou o posicionamento altimétrico, ao longo do comprimento de base.

A Figura 6.9 mostra as discrepâncias  $\Delta\hat{h}_{(L1L2)S}^{PD}$  associadas ao receptor L1L2, utilizando a observável pseudodistância L0, a partir da combinação dos códigos C/A e P. Nessa figura, as discrepâncias indicam comportamento aleatório, mas, verifica-se que também o intervalo do tempo da sessão reduz o valor das discrepâncias.

Na Figura 6.10 encontram-se as discrepâncias  $\Delta\hat{h}_{(L1)S}^F$  associadas ao receptor L1 utilizando a observável fase. A partir da Figura 6.10c, considerando o comprimento de base inferior a 100 km, verifica-se que o comportamento das discrepâncias são similares e que os valores da  $\Delta\hat{h}_{(L1)S}^F$  estão dentro do intervalo do erro padrão  $\left(\pm\sigma_{\Delta\hat{h}_{(L1)S}^F}\right)$ . A estação localizada a 52,2 km apresenta também um comportamento semelhante ao da Figura 6.8.

A Figura 6.11 apresenta as discrepâncias  $\Delta\hat{h}_{(L1)S}^{PD}$  associadas ao receptor L1 utilizando a observável pseudodistância, a partir do código C/A. Nessa figura, as discrepâncias indicam também comportamento aleatório, não permitindo uma análise no posicionamento com esse tipo de observável.

A Figura 6.12 mostra as discrepâncias da altitude geométrica  $\left(\Delta\hat{h}_{(L1L2)60}^F\right)$  e  $\Delta\hat{h}_{(L1)60}^F$  para os receptores L1L2 e L1, utilizando as observáveis L0 e fase, respectivamente. O tempo da sessão corresponde a 60 minutos. Essa figura encontra-se em escala gráfica ampliada para uma melhor visualização dos resultados, mostrados nas Figuras 6.8f e 6.10f. Essa figura mostra que em geral, para vetores inferiores a 100 km, o receptor L1 apresenta  $\Delta\hat{h}_{(L1)60}^F$  inferior a 50 cm, comparado com o receptor L1L2.

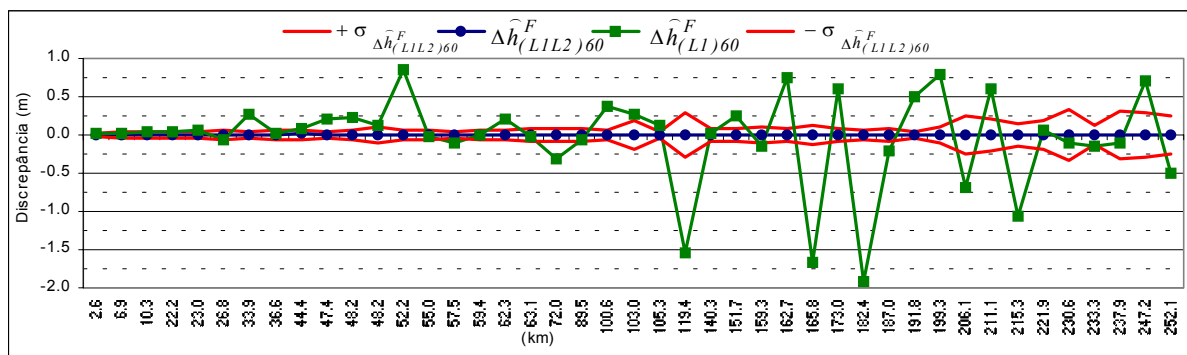


Figura 6.12 – Discrepância da altitude geométrica para os receptores L1L2 e L1.

Na Figura 6.12, os “picos” das discrepâncias para o receptor L1 estão relacionados com a geometria dos satélites e o número de observações utilizadas para o processamento dos dados GPS, os quais estão associados ao número de satélites utilizados.

A Figura 6.13 mostra os números (quantidades) de satélites (Nsats) e de observações (Nobs (X 100)), utilizadas no processamento, para ambos receptores. Para o receptor L1L2, a observável utilizada no processamento foi a combinação da fase livre dos efeitos da ionosfera (L0) e para o receptor L1 a fase; com sessão de 60 minutos. O Nsats coletados por cada receptor e/ou o Nobs utilizadas no processamento, **não podem** ser associados aos comprimentos da base, formados entre a estação 2891P e as respectivas RNs. Optou-se em utilizar a identificação das RNs pelo comprimento da base, para melhor associação com as figuras anteriores.

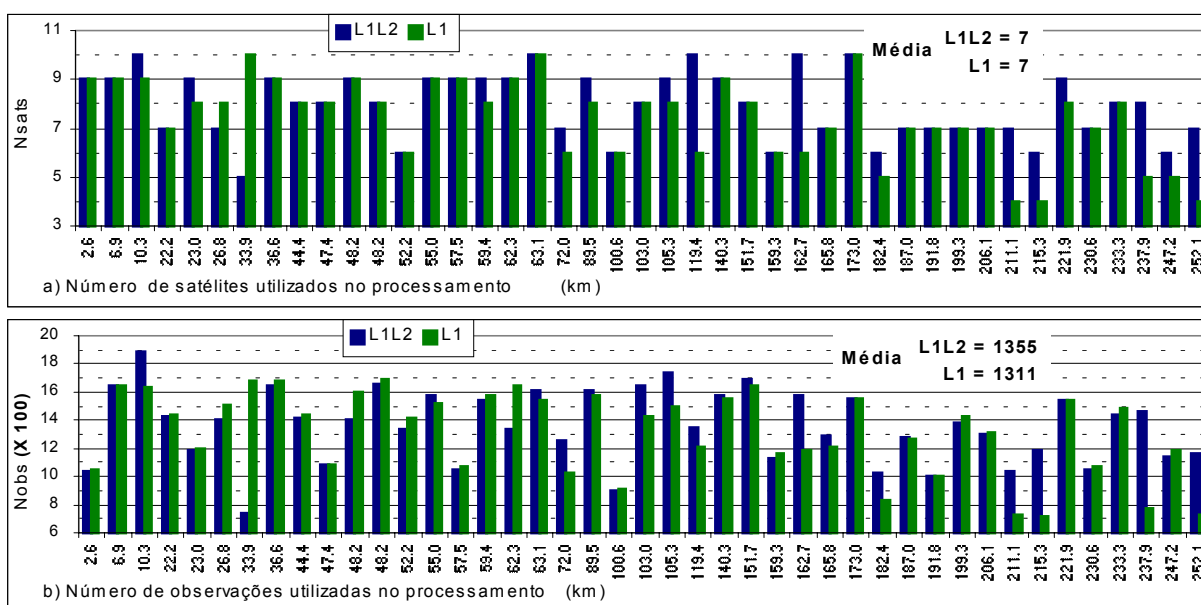


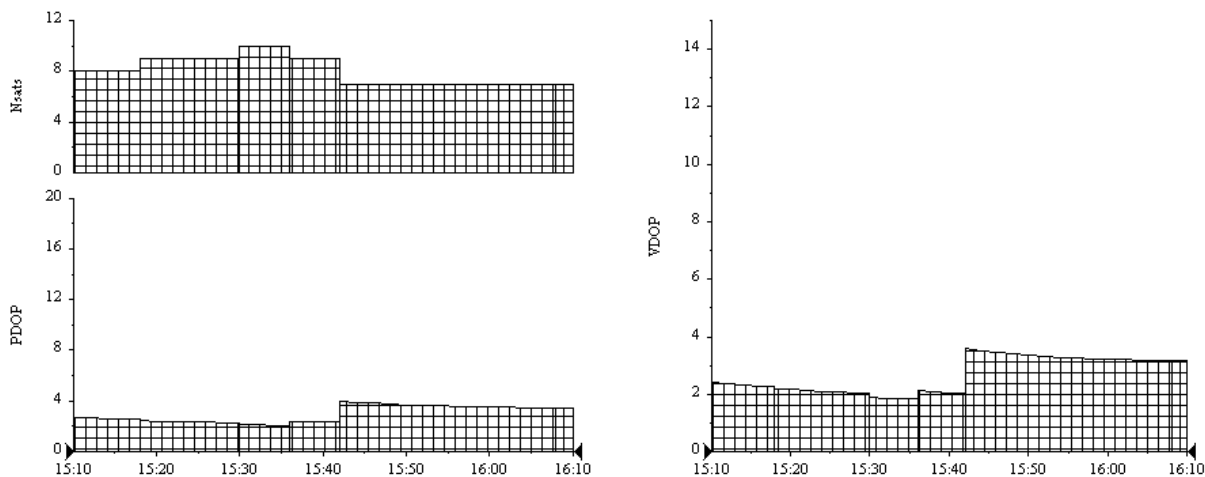
Figura 6.13 – Ilustração dos números de satélites e observações utilizadas no processamento.

Na Figura 6.13a, observa-se que para ambos receptores, o Nsats médio utilizado no processamento dos dados corresponde a 7 satélites. Contudo, para o receptor L1, as RNs com comprimento da base de 211,1; 215,3 e 252,1 km utilizou-se no processamento apenas as observações coletadas de 4 satélites. Para esses comprimentos, o Nsats observados (visíveis) corresponderam a 7 satélites, mas durante a análise da qualidade do resultados, verificou-se que alguns satélites (sinal/observação) estavam degradando a qualidade do posicionamento. Assim, para as RNs localizadas nessas distâncias, os processamentos foram refeitos, eliminando-se os satélites que comprometiam a qualidade do posicionamento. Essa metodologia foi adotada também para as RNs com vetores de 72,0; 100,6; 119,4; 151,7 a 165,8; 182,4; 187,0; 237,9 e 247,2 km. No processamento dos dados coletados com receptor L1L2, foi necessário também a eliminação de satélites, para as RNs com vetores de 72,0; 100,6; 151,7; 159,3; 165,8; 182,4; 187,0; 199,3 e 247,2 km.

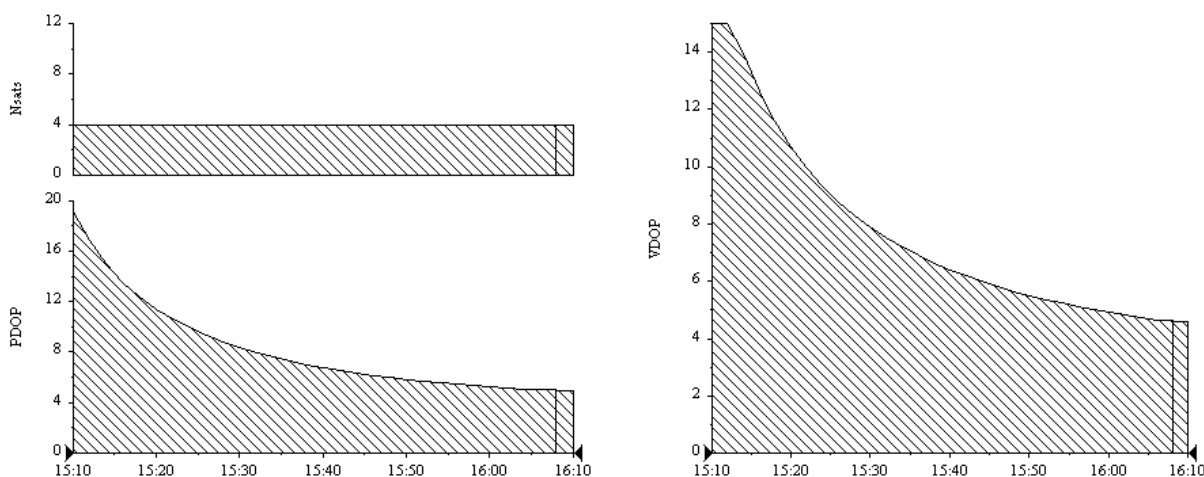
Na Figura 6.13b, verifica-se que os Nobs médios utilizados no processamento dos dados GPS, para os receptores L1L2 e L1 foram de 1355 e 1311 observações, respectivamente. Para o receptor L1, os Nobs mínimo correspondem as distâncias nas quais foram utilizados apenas 4 satélites, sendo utilizado aproximadamente nesses processamentos 725 observações.

A Figura 6.14 ilustra os valores de Nsats utilizados no processamento e os valores PDOPs e VDOPs, que auxiliam na indicação da precisão dos resultados obtidos, para os posicionamentos tridimensional e apenas vertical, respectivamente. A Figura 6.14a ilustra uma situação favorável da geometria dos satélites utilizados no processamento dos dados GPS, para a RN com comprimento da base de 63,1 km (RN 2896F). A Figura 6.14b mostra uma situação desfavorável, para a RN com comprimento da base de 211,1 km (RN 2920D). Na Figura 6.14c ilustra-se para a mesma RN um comportamento favorável e desfavorável, correspondendo a RN com comprimento da base de 52,2 km (RN 2895R). As ilustrações das geometrias correspondem apenas o processamento do receptor L1 com o intervalo do tempo da sessão de 60 minutos.

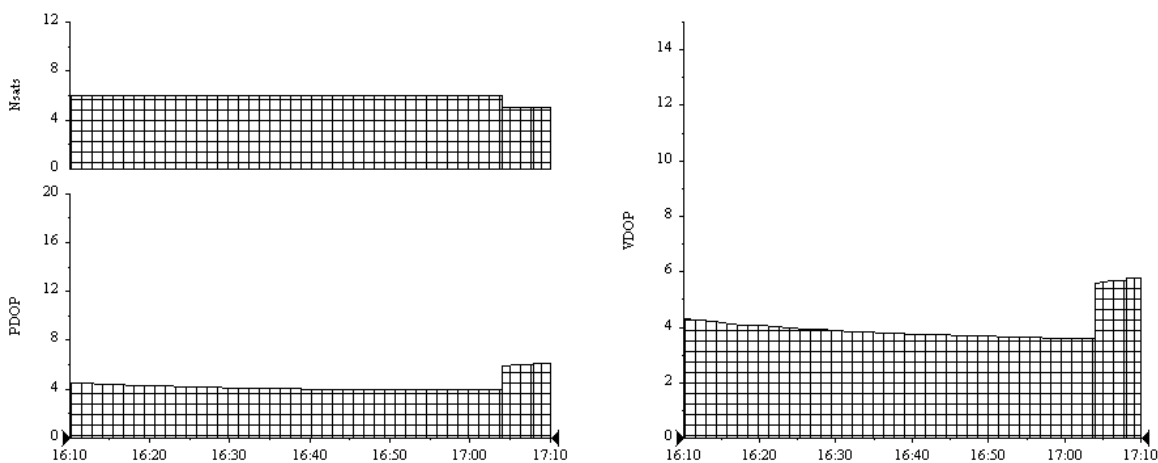
A Figura 6.14a mostra que o Nsats corresponderam de 7 a 10, onde a geometria desses satélites apresenta VDOP máximo de 4, quando Nsats é igual a 7. Através da Figura 6.14b, mostra-se que o processamento dos dados GPS, para a referida RN, foi feito com Nsats igual a 4, o que contribuiu durante a sessão para a variação do VDOP de 15 a 4,2. Situações semelhantes a essa (VDOP alto), ocorreu também para as RNs localizadas a 72,0; 100,0; 119,4; 162,7; 165,8; 182,4; 215,3; 247,2 e 252,1 km.



a) Geometria favorável (63,1 km – RN 2896F)



b) Geometria desfavorável (211,1 km – RN 2920D).



c) Geometria favorável e desfavorável (52,2 km – RN 2895R).

Figura 6.14 – Ilustrações dos números de satélites utilizados no processamento e valores para os PDOPs e VDOPs com dados coletados para o receptor L1.

Assim, o Nsats utilizados no processamento dos dados GPS influenciam no Nobs, que irá refletir na qualidade do posicionamento, principalmente a altitude geométrica. Dessa forma os “picos” que ocorrem nas Figura 6.8 e 6.10, e em especial na Figura 6.12 para o receptor L1, estão em sua maioria relacionados com Nsats e Nobs utilizados no processamento das respectivas observações.

Para a RN com comprimento da base de 52,2 km (RN 2895R), o VDOP máximo igual a 6 (Figura 6.14c), pode-se associar à variação da discrepância para a altitude geométrica (Figura 6.10) ao longo do intervalo do tempo sessão com a variação do VDOP (Figura 6.14c). Para 30 e 40 minutos (16:40 e 16:50h) as respectivas discrepâncias são menores e os valores do VDOPs encontram-se atenuados. Observa-se que às 17:15h o Nsats passa de 6 para 5, elevando o VDOP para o valor máximo de 6. Esse comportamento de geometria favorável e desfavorável na mesma estação ocorreu também para a RN 2900V (119,4 km).

Com a Figura 6.7, mostra-se que a variação do erro padrão ( $\sigma_{\hat{h}}$ ) para as altitudes geométrica ajustadas ( $\hat{h}$ ) é também similar a variação do respectivos Nsats e Nobs, mostrados na Figura 6.14.

De forma geral, as estatísticas das discrepâncias  $\Delta\hat{h}_{(L1L2)S}^F$  (receptor L1L2) mostraram que os melhores resultados correspondem ao intervalo da sessão de 60 minutos. A sessão de 50 minutos também mostrou resultados compatíveis com a sessão 60 minutos. Resultados semelhantes, também foram mostrados com as estatísticas das discrepâncias  $\Delta\hat{h}_{(L1)S}^F$  (receptor L1), considerando-se também as mesmas sessões. Mostrou-se também, que além do intervalo da sessão é importante o Nsat e o Nobs utilizados no processamento dos dados GPS, onde as médias corresponderam a 7 satélites e aproximadamente a 1300 observações, para ambos receptores.

Como um dos objetivos deste trabalho é avaliar o nivelamento através do GPS, optou-se em utilizar todas as RNs posicionadas. O controle da qualidade final do nivelamento será feito com base nas discrepâncias obtidas entre as altitudes ortométrica divulgadas pelo IBGE e as determinadas através do GPS.

#### 6.4 Avaliação do nivelamento através do GPS para os receptores L1L2 e L1

A avaliação da altitude ortométrica determinada com o processamento dos receptores L1L2 e L1 consistiu em compará-la com a altitude ortométrica determinada pelo IBGE (Tabela 5.2). Com base nas expressões (4.4) e (4.6) determinou-se a discrepância  $\Delta H_i$  e respectivo erro padrão ( $\sigma_{\Delta H_i}$ ), respectivamente.

Utilizando-se a altitude geométrica ajustada ( $\hat{h}$ ), na expressão (4.5), determinou-se a altitude ortométrica GPS ( $H_{GPS}^*$ ) e o erro padrão ( $\sigma_{H_{GPS}^*}$ ), já apresentados na Tabela 5.9. A Figura 6.15 mostra os erros padrões envolvidos na determinação de  $\sigma_{\Delta H^*}$  (seção 4.8.3), em função da distância. O  $\sigma_{\Delta N}$  corresponde o erro relativo da diferença das alturas geoidais entre a base e a estação de interesse, sendo definido pela expressão (3.1).  $\sigma_{H_{IBGE}}$  é o erro padrão do nivelamento geométrico, determinado pela expressão (5.2) e  $\sigma_{\hat{h}}$  é o erro padrão da altitude geométrica ajustada (Tabela 5.4).

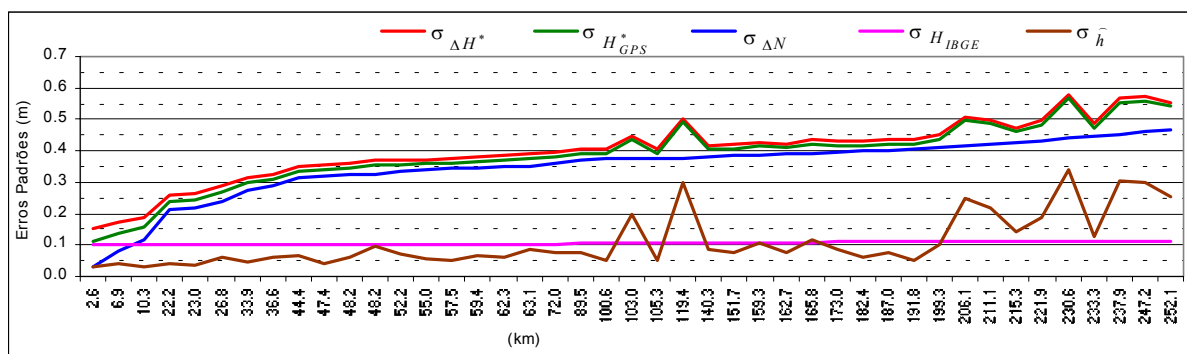


Figura 6.15 – Erros envolvidos no nivelamento através do GPS.

Os erros padrões  $\sigma_{\Delta H^*}$  e  $\sigma_{H_{GPS}^*}$ , mostrados na Figura 6.15, apresentam comportamentos semelhantes aos erros padrões de da altitude geométrica ( $\sigma_{\hat{h}}$ ). Assim, para se calcular o erro padrão da altitude ortométrica ( $\sigma_{H_{GPS}^*}$ ) num ponto, usando o posicionamento relativo através do GPS, por exemplo, é necessário combinar os erros padrões da altitude ortométrica da estação de referência ( $\sigma_{H_{IBGE}}$ ), os erros relativos das altitudes geométrica ( $\sigma_{\Delta h}$ ) e das alturas geoidais ( $\sigma_{\Delta N}$ ), que correspondem a diferenças de altitudes geométrica e alturas geoidais nas estações de referência e a de interesse.

Na Figura 6.16, ilustra-se  $\Delta H^*$  obtida a partir de  $\hat{h}$ . O resultado de  $\Delta H^*$  foi determinado para verificar as estações com problemas, sendo aplicado o critério de rejeição  $|\Delta H_i^*| \geq 3\hat{\sigma}_{\Delta H_i^*}$ . Na Figura 6.16a, encontram-se as 43 RNs posicionadas, e na Figura 6.16b as RNs utilizadas para a avaliação do nivelamento usando GPS.

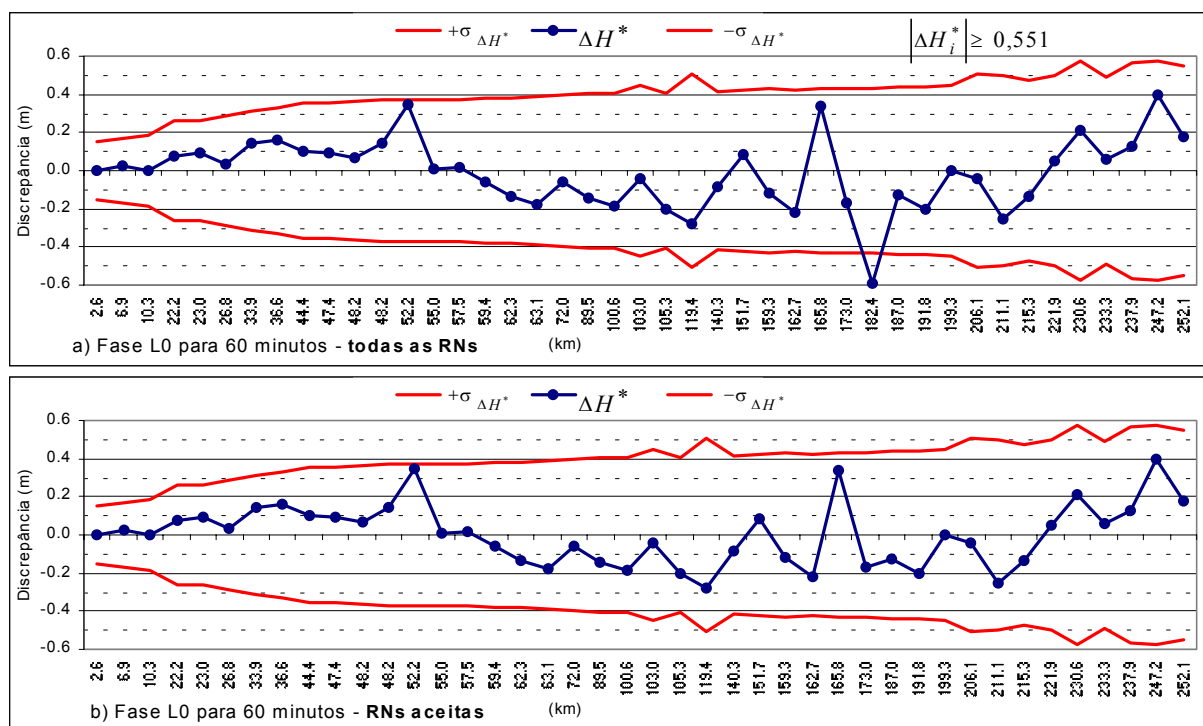


Figura 6.16 – Discrepância da altitude ortométrica para a linha ajustada utilizando GPS.

Observa-se na Figura 6.16a que a RN 2914R, localizada a 182,4 km da estação de referência, foi excluída da avaliação. Essa RN apresenta a discrepância maior que o critério de rejeição ( $|-0,589| \geq 0,551$ ) e encontra-se fora dos limites do erro padrão esperado do nivelamento por GPS.

Nas Figura 6.17 e 6.18, ilustram-se as discrepâncias de altitude ortométrica  $\Delta H$ , correspondentes ao receptor L1L2, utilizando a observável da fase L0 e a pseudodistância L0, respectivamente. As discrepâncias ( $\Delta H$ ) para o receptor L1 são ilustradas nas Figuras 6.19 e 6.20, correspondendo a fase e a pseudodistância.

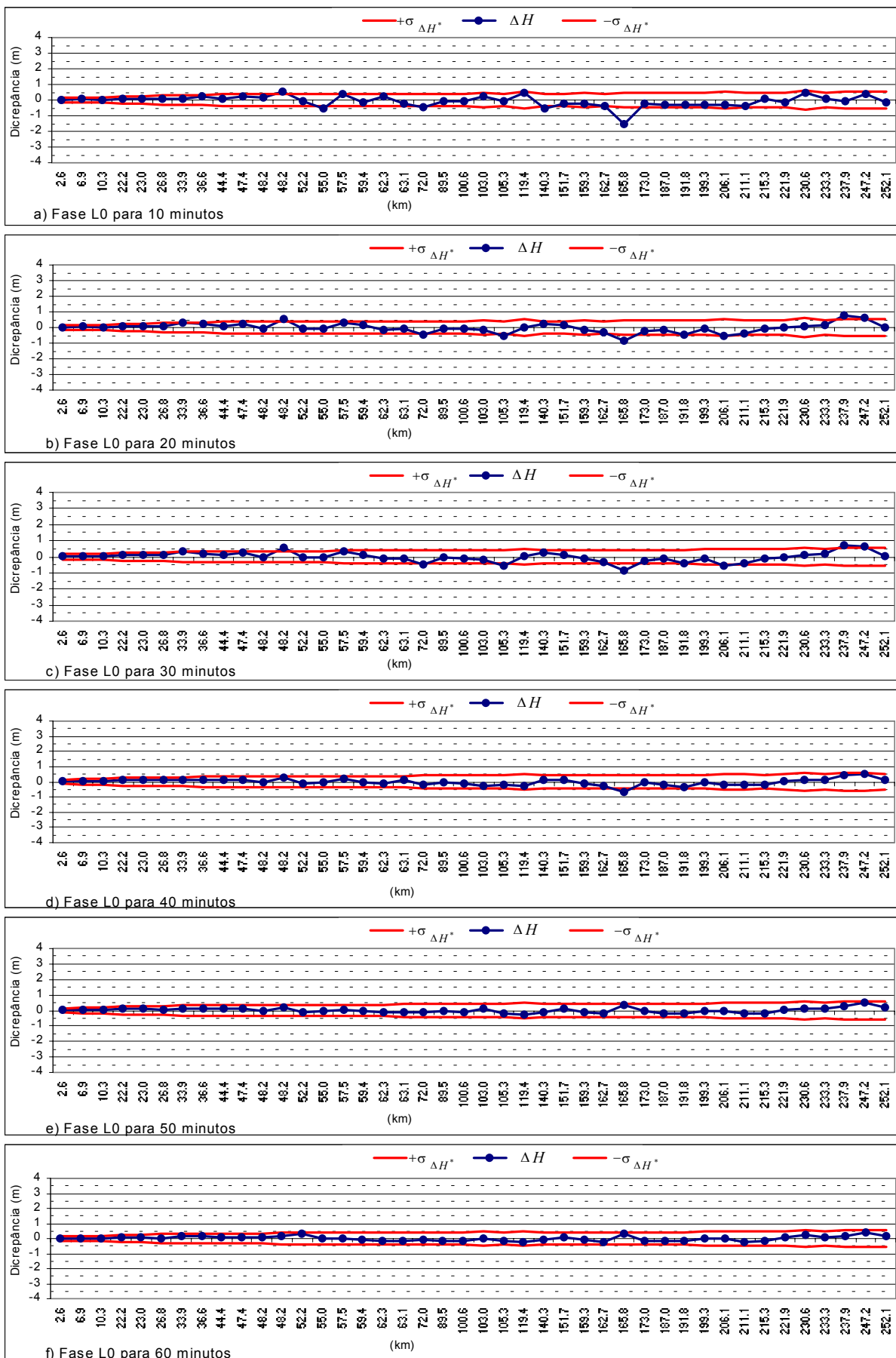


Figura 6.17 – Discrepância da altitude ortométrica para o receptor L1L2 utilizando a fase L0.

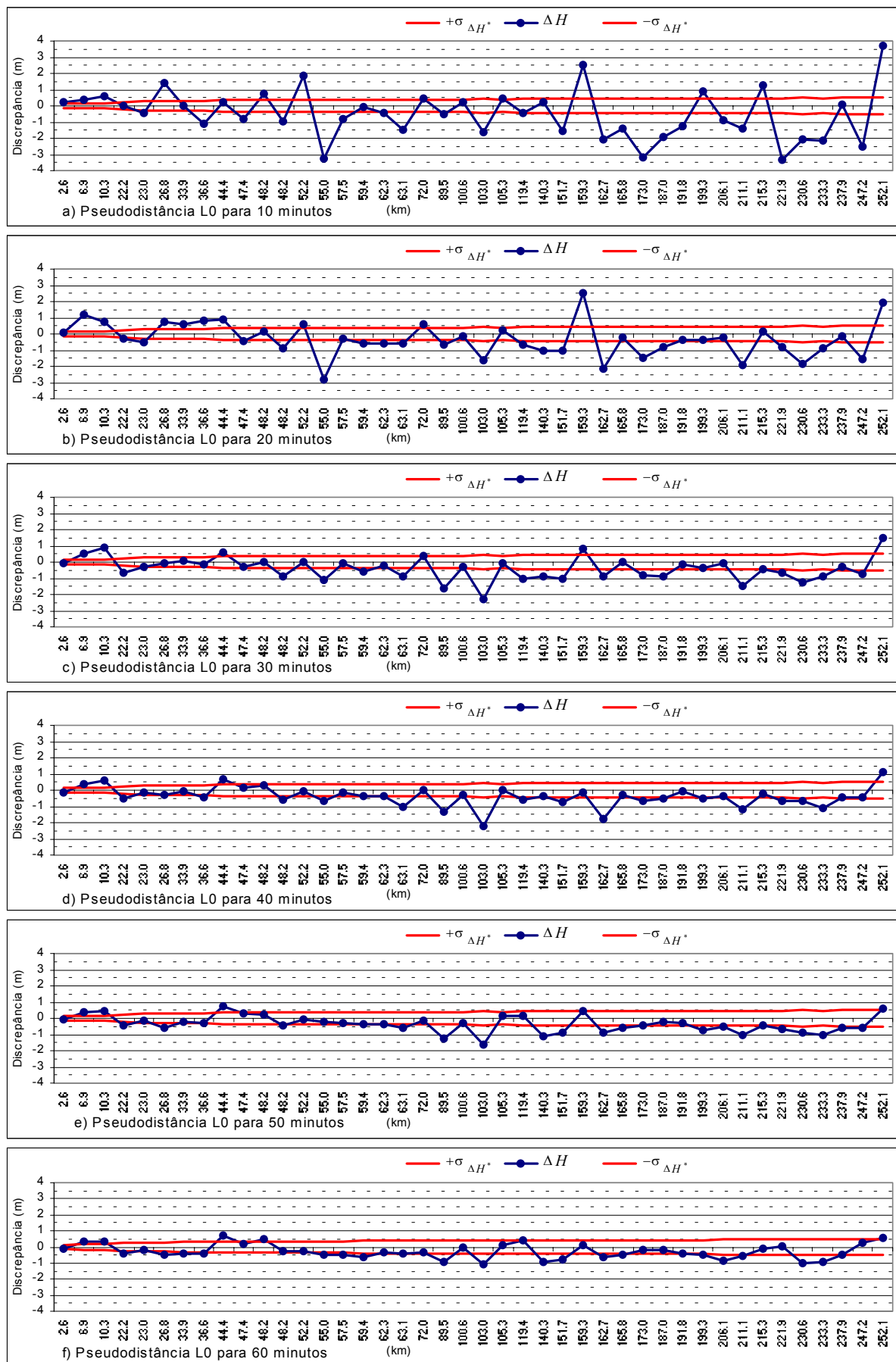


Figura 6.18 – Discrepância da altitude ortométrica para o receptor L1L2 utilizando a pseudodistância L0.

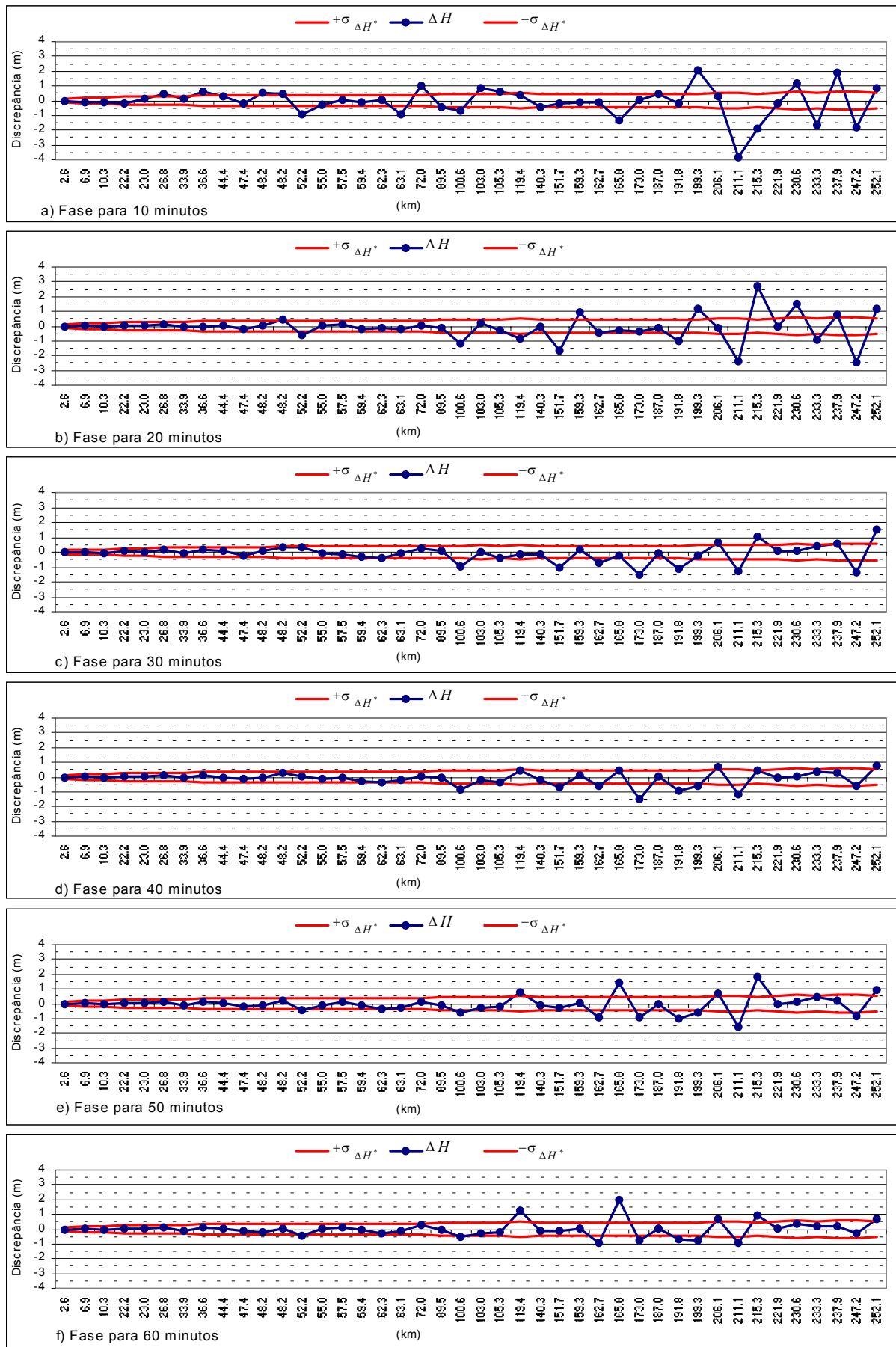


Figura 6.19 – Discrepância da altitude ortométrica para o receptor L1 utilizando a fase.

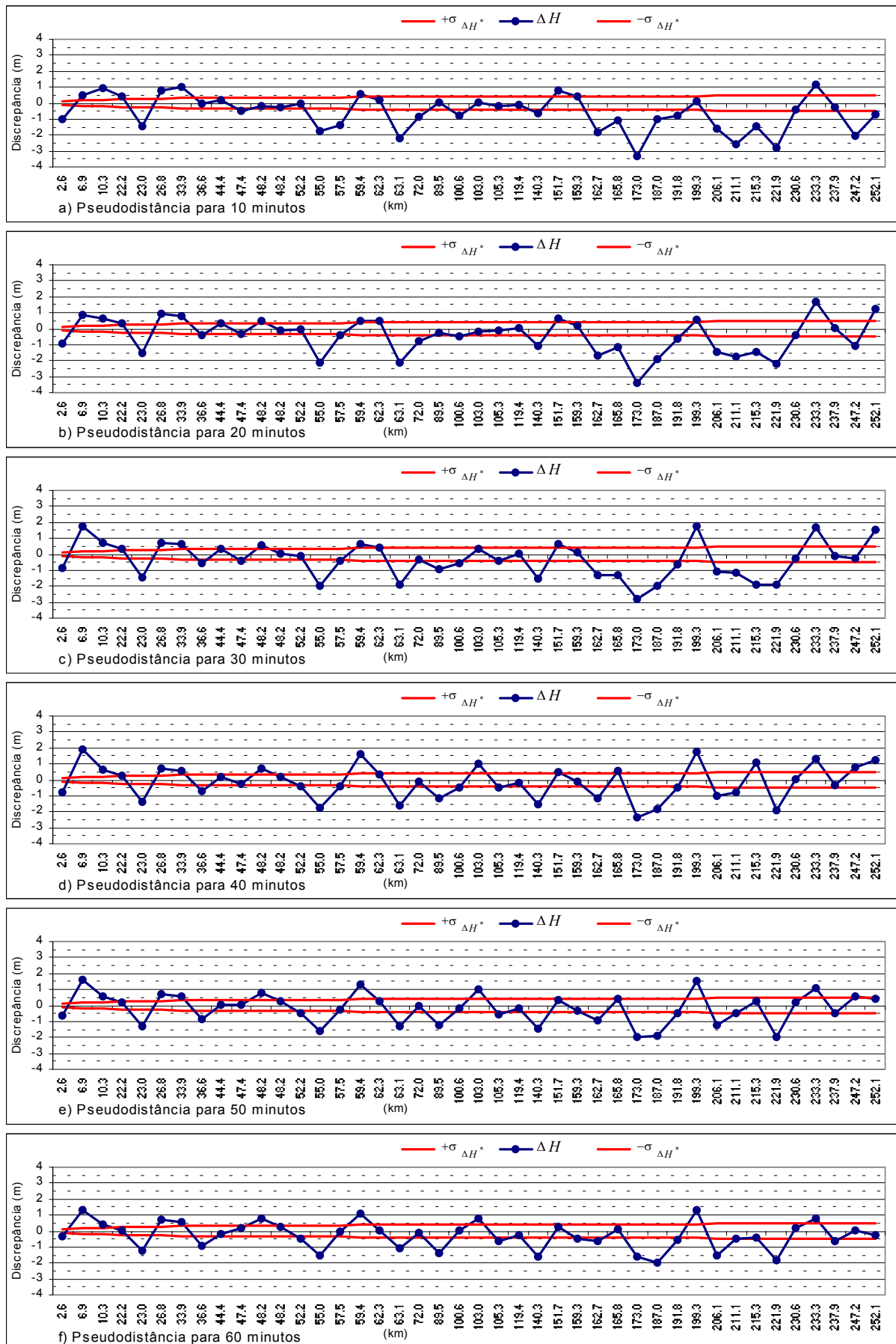


Figura 6.20 – Discrepância da altitude ortométrica para o receptor L1 utilizando a pseudodistância.

A Figura 6.17 mostra as discrepâncias  $\Delta H_{(L1L2)S}^F$  associadas ao receptor L1L2 utilizando a observável fase L0, indicando os melhores resultados, para todas as sessões e todos os comprimentos de base, comparado com as outras figuras. A partir da Figura 6.17d, verifica-se que a maioria das discrepâncias ( $\Delta H_{(L1L2)S}^F$ ) estão dentro dos limites do erro padrão ( $\pm \sigma_{\Delta H^*}$ ). Em geral, observa-se que com o aumento do tempo da sessão melhorou o nivelamento por GPS, ao longo do comprimento de base.

Na Figura 6.18, encontram-se as discrepâncias ( $\Delta H_{(L1L2)S}^{PD}$ ) associadas ao receptor L1L2, usando a observável pseudodistância L0. Essas discrepâncias indicam comportamento aleatório, dificultando a análise da qualidade do posicionamento visando a determinação da altitude por GPS. Contudo, verifica-se que o tempo da sessão melhora as discrepâncias, mas excedem do erro padrão esperado.

Na Figura 6.19, são mostradas as discrepâncias ( $\Delta H_{(L1)S}^F$ ) associadas ao receptor L1 utilizando a observável da fase. A partir da Figura 6.19c, para comprimento de base inferior a 100 km, verifica-se que o comportamento das discrepâncias, para o mesmo tempo das sessões, são similares e que os valores de  $\Delta H_{(L1)S}^F$  estão dentro do intervalo ( $\pm \sigma_{\Delta H^*}$ ) esperado para o nivelamento.

A Figura 6.20, apresenta as discrepâncias ( $\Delta H_{(L1)S}^{PD}$ ) associadas ao receptor L1, utilizando a observável pseudodistância, a partir do código C/A. Nessa figura, as discrepâncias indicam também comportamento aleatório, sem possibilidade de análise do nivelamento realizado com esse tipo de observável.

A Figura 6.21 mostra as discrepâncias da altitude ortométrica para os receptores L1L2 e L1, utilizando as observáveis L0 e fase, respectivamente, para sessões de 60 minutos. Essa figura encontra-se em escala gráfica ampliada para melhor visualização dos resultados, apresentados nas Figuras 6.17f e 6.19f.

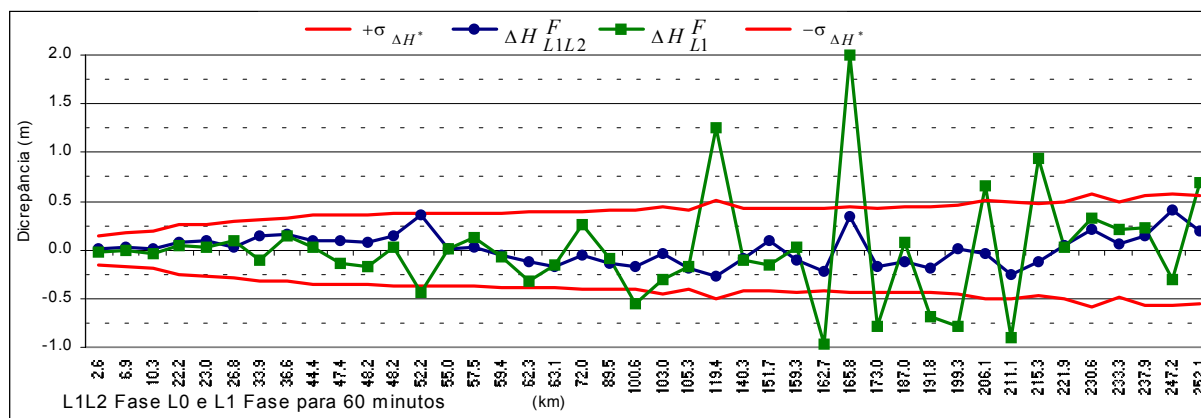


Figura 6.21 – Discrepância da altitude ortométrica para os receptores L1L2 e L1.

A Figura 6.21 mostra que o nivelamento realizado com o receptor L1L2 é compatível com o erro padrão esperado, para todos os vetores determinados. De forma geral e para os vetores até 160 km, o nivelamento realizado com o receptor L1 fornece  $\Delta H_{(LI)S}^F$  compatíveis com o erro padrão esperado ( $\pm \sigma_{\Delta H^*}$ ), exceto nos casos das RNs localizadas a 52,2 (RN 2895R), 100,6 (RN 2900F) e 119,4 (RN 2900V) km, e para a sessão de 10 minutos (Figura 6.19). Para os vetores maiores que 160 km, o nivelamento para o receptor L1, apresenta resultados bastante desfavoráveis, que na maioria dos casos (vetores de 162,7; 165,8; 191,8; 211,1 e 215,3 km), o número de observações utilizadas (Nobs), como ilustra a Figura 6.13a, utilizadas no processamento dos dados GPS está abaixo da média.

Para a RN localizada a 52,2 km (Figura 6.21), os valores das discrepâncias obtidas com os receptores L1L2 e L1, estão próximos do erro padrão esperado. Contudo, para o receptor L1, a discrepância supera um pouco o erro padrão esperado. Nas Figuras 6.10 e 6.18, foi mostrada a variação das discrepâncias ( $\Delta h_{(LI)S}^F$  e  $\Delta H_{(LI)S}^F$ ) ao longo da sessão, onde se verificou que a qualidade da altitude geométrica está relacionada com a variação do VDOP (Figura 6.14c), refletindo-se assim na determinação da altitude ortométrica.

Para a RN localizada a 100,6 km, constatou-se que o Nsats e Nobs (Figura 6.13) utilizadas no processamento correspondem a 6 e 900, respectivamente, para ambos receptores, valores abaixo das médias. O Nobs utilizadas no processamento do receptor L1 influenciou na qualidade da altitude geométrica, haja vista que o processamento da RN seguinte (103,0 km), com 1400 observações, apresentou resultado compatível com o erro padrão esperado.

Para a RN localizada a 119,4 km (RN 2900V), a geometria dos satélites apresentou variação no VDOP, ao longo da sessão, situação similar a RN 2895R (52,2 km).

A Figura 6.22 mostra, de uma forma resumida, os resultados das discrepâncias para as altitudes geométrica (Figuras 6.22a a 6.22d) e ortométrica (Figuras 6.22e a 6.22h). Nessa figura, encontram-se os valores máximos e mínimos das discrepâncias, os desvios padrões, e as raízes quadradas dos erros quadrático médio (*MSEs*) para o conjunto das discrepâncias ( $\Delta\hat{h}$  e  $\Delta H$ ). Os valores relacionados à altitude geométrica foram mostrados nas Tabelas 5.5b, 5.6b, 5.7b e 5.8b e para a altitude ortométrica nas Tabelas 5.12 a 5.13. Esses valores estão associados aos receptores L1L2 e L1, ao tipo de observável processada e ao tempo da sessão.

Nas Figura 6.22a, 6.22c, 6.22e e 6.22g, para sessões maiores que 10 minutos, observa-se que os valores dos desvios padrões e dos *MSEs* são similares, caracterizando possivelmente a inexistência de erros sistemáticos. As Figuras 6.22b, 6.22d, 6.22f e 6.22h, que correspondem ao processamento da pseudodistância para ambos receptores, mostra que os valores dos desvios padrões e os *MSEs* apresentam divergências. De modo geral, verifica-se que aumentando o tempo da sessão, melhora a qualidade do posicionamento, mas os valores das discrepâncias são incompatíveis com os respectivos erros padrões esperados.

Assim, pelo que foi mostrado, os melhores resultados foram obtidos com o receptor L1L2, utilizando a combinação L0 para a fase, para todos comprimentos de vetores. O receptor L1 também apresentou resultados satisfatórios, para os comprimentos de vetores inferiores a 160 km, utilizando a observável da fase. Os processamentos que envolveram apenas a pseudodistância, tanto para o receptor L1L2 como para o L1, os resultados das discrepâncias ( $\Delta h_{(L1L2)S}^{PD}$ ,  $\Delta h_{(L1)S}^{PD}$ ,  $\Delta H_{(L1L2)S}^{PD}$  e  $\Delta H_{(L1)S}^{PD}$ ) de forma geral não foram compatíveis com os respectivos erros padrões esperados ( $\pm\sigma_{\Delta\hat{h}}$  e  $\pm\sigma_{\Delta H^*}$ ).

Assim, a proposição de estratégias, que corresponde a um dos objetivos deste trabalho, será realizada com base no receptor L1L2, utilizando a observável da L0 para a fase, e para o receptor L1, a fase. O tempo das sessões corresponderão a 50 e 60 minutos, pois foram mostrados que o valores dos erros padrões ( $\pm\sigma_{\Delta\hat{h}}$ ) para as discrepâncias  $\Delta\hat{h}$  são praticamente iguais; as médias também são similares (zero para o receptor L1L2 e 4 cm para o receptor L1); e os valores dos desvios padrões ( $\hat{\sigma}_{\Delta h}$ ) e *MSE* são também similares, considerando-se as respectivas sessões. As estatísticas para o conjunto das discrepâncias  $\Delta H$  mostraram que também são semelhantes as estatísticas do conjunto das discrepâncias  $\Delta\hat{h}$ .

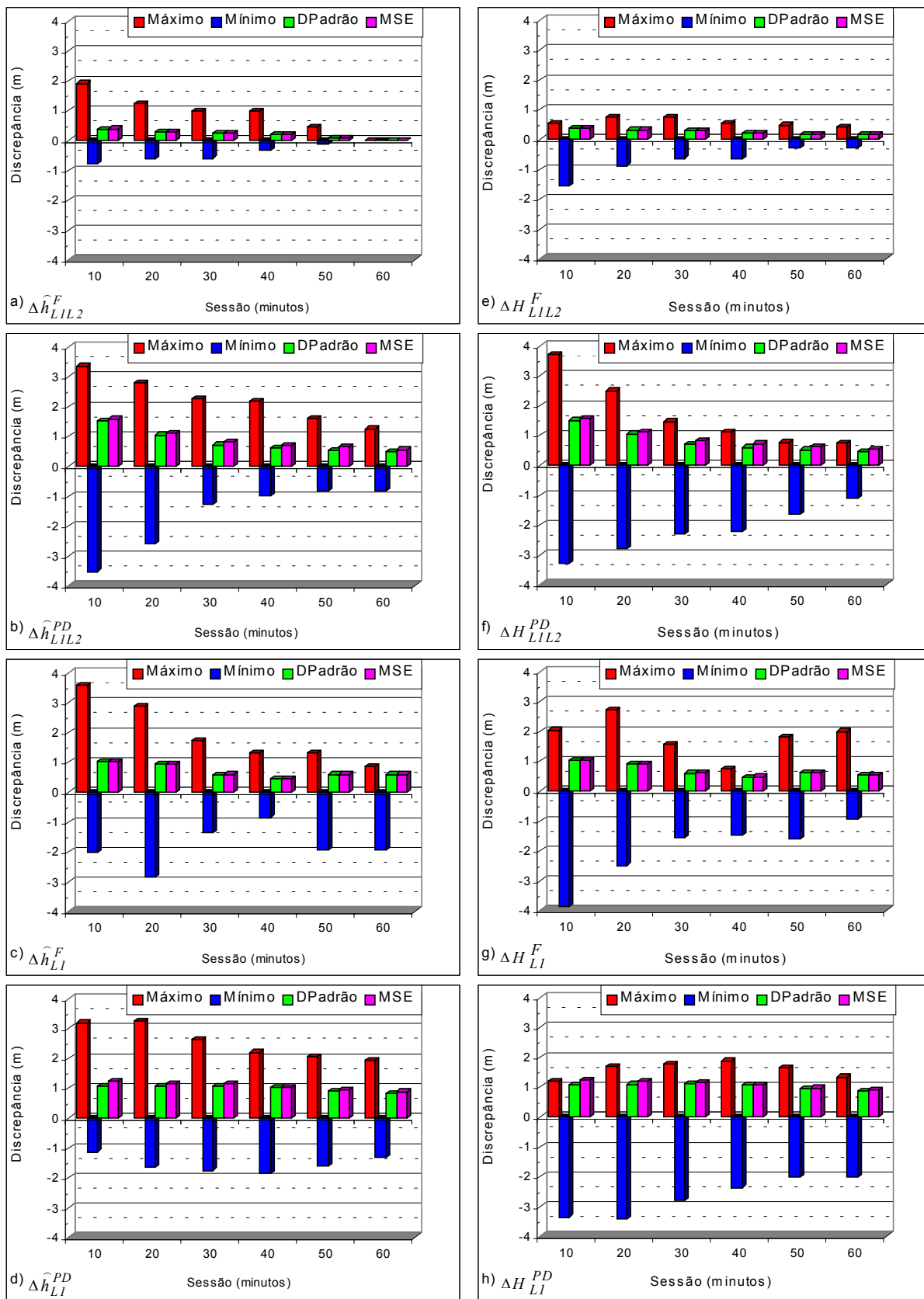


Figura 6.22 – Resumo dos resultados das discrepâncias para as altitudes geométrica e ortométrica dos receptores LIL2 e L1.

## 7 ESTRATÉGIAS

Neste Capítulo, são propostas estratégias para a realização do posicionamento por GPS, visando a determinação da altitude ortométrica, com base nas análises dos resultados apresentados nos Capítulos 5 e 6. Como foram avaliadas qualidades de altitudes, a proposição está orientada para a combinação das coordenadas geodésicas fornecidas pelo GPS, usando receptores equipados com antenas de uma ou duas frequências, com modelos geoidais na forma digital, para determinação da altitude ortométrica.

### 7.1 Posicionamento com GPS

A estratégia do posicionamento usando GPS para a determinação da altitude geométrica, consiste em definir o tipo das observáveis GPS a serem utilizadas no processamento; modelo da troposfera, para a minimização o efeito da refração troposférica; configuração do receptor quanto ao intervalo de gravação dos dados, e o ângulo de elevação mínimo (máscara) para a coleta de dados GPS. Essas opções estão relacionadas com a qualidade esperada do posicionamento e o tipo de receptor GPS a ser usado.

Pelo que indicou a análise de verificação da altitude geométrica ( $\Delta\hat{h}$ ) (Tabelas 5.5 a 5.8 e Figuras 6.8 a 6.11), o intervalo de gravação de 5 e 15 segundos, apresentaram resultados altamente correlacionados, para sessões de mesma duração, independente do comprimento do vetor base, para ambos receptores. Assim, a escolha do intervalo para coleta de dados pode ser realizada com 5 ou 15 segundos. A única limitação é a memória para a armazenamento dos dados GPS (medida da fase e pseudodistância) e das efemérides transmitidas, dos receptores a serem utilizados. Os resultados sugerem 15 segundos para a gravação dos dados GPS. Como exemplo prático, para o receptor que ficou instalado na estação de referência deste trabalho, o tempo máximo de armazenamento foi de aproximadamente 9 horas/dia, para o intervalo de 5 segundos, atingindo praticamente o seu limite. As informações técnicas dos receptores GPS utilizados neste trabalho foram mostradas na Tabela 4.2.

Para a escolha da observável a ser utilizada no processamento dos dados GPS, a análise das discrepâncias  $\Delta\hat{h}$  (Tabelas 5.5 a 5.8) mostrou que a utilização da pseudodistância não forneceu resultados satisfatórios para o posicionamento vertical, independente do tipo de receptor. Assim, recomenda-se que seja utilizado a combinação linear livre dos efeitos da ionosfera para a fase (L0), quando forem utilizados receptores de duas frequências ou simplesmente a fase para receptores de uma frequência.

Para a minimização do efeito da refração troposférica, sugere-se a utilização do modelo *Hopfield*, pois ele foi utilizado neste trabalho, e geralmente é o mais empregado no posicionamento. Em alguns programas, de uso comercial, é o modelo padrão (*default*).

Na configuração do ângulo ou máscara de elevação, pode-se adotar o valor de 10°, para a gravação dos dados GPS. Na análise do processamento, verificando-se interferências nos sinais GPS, pode-se aumentar o ângulo de elevação, eliminando-se eventuais problemas relacionados com a obstrução do sinal e/ou efeitos da refração troposférica.

Antes de realizar o levantamento usando GPS, deve-se fazer o planejamento, utilizando todas as informações geodésicas e cartográficas disponíveis. A escolha do local para implantação do ponto (vértice/marco) deve ser completamente desobstruído, evitando-se assim o multicaminho na estação. O ideal é que os locais escolhidos permitam fácil acesso.

Alguns cuidados são importantes na execução dos levantamentos com GPS, entre eles destacam-se: instalação do tripé (ou bastão) e da antena GPS sobre o ponto de interesse; medição da altura da antena, com a verificação do tipo de medição (inclinada ou vertical), realizada em campo, no processamento dos dados, e a identificação da estação com a respectiva sessão.

Ao concluir o processamento dos dados, deve-se verificar a qualidade do resultado, analisando os parâmetros estatísticos que os *softwares* fornecem. Pode-se verificar também os valores do HDOP e VDOP dos satélites utilizados no processamento, para a eliminação de algum satélite que esteja prejudicando a qualidade do posicionamento.

Assim, a Tabela 7.1 mostra resumidamente a estratégia para o posicionamento com GPS, tanto para o receptor L1L2 (duas frequências) como para o receptor L1 (uma frequência).

Tabela 7.1 – Estratégias para o posicionamento através do GPS

Receptor/Antena	L1L2 (duas frequências)	L1 (uma frequência)
Observável	Combinação L0 para a fase	Fase
Modelo da troposfera	<i>Hopfield</i>	<i>Hopfield</i>
Taxa de coleta	15 segundos	15 segundos
Ângulo de elevação	10°	10°

## 7.2 Nivelamento através GPS

A estratégia para a realização do nivelamento através do GPS consiste em realizar o posicionamento por GPS, escolher o modelo geoidal. É importante que na realização do nivelamento, o usuário conheça as fontes dos erros que estão envolvidos na determinação da altitude ortométrica.

A qualidade do nivelamento por GPS num ponto ( $\sigma_{H_{GPS}}$ ), usando o posicionamento relativo, depende do erro padrão da altitude ortométrica da estação de referência ( $\sigma_H$ ), dos erros padrões das diferenças de altitudes geométrica ( $\sigma_{\Delta h}$ ) e de alturas geoidais ( $\sigma_{\Delta N}$ ) entre cada ponto e a base.

Assim, para a estação de referência, deve-se conhecer a altitude geométrica (coordenadas geodésica), a altitude ortométrica, a altura geoidal, e os respectivos erros. Para as estações de interesse, determina-se as coordenadas geodésicas, a altura geoidal, e finalmente a altitude ortométrica. Para todas essas grandezas, deve-se estimar os respectivos erros padrões, como foi enfatizado na seção 4.8.

Atualmente, não é fornecido o erro padrão da altitude ortométrica nas RNs que constituem a RNFB. Nesse caso, o que se deve fazer é seguir as *Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos* (IBGE, 1998a), para estimar o erro padrão de uma RN a partir da expressão  $\sigma_H = 3 \text{ mm} \sqrt{k}$ , onde  $k$  representa a distância entre as RNs, em quilômetros. Como o *Datum* da RNFB é definido pelas observações maregráficas tomadas na baía de Imbituba (SC), pode-se determinar  $\sigma_H$  em relação ao *Datum*, ou de uma forma mais simples, utilizar a Figura 2.9 que fornece o respectivo erro para as RNs da RNFB, definidos pelas isolinhas.

O erro relativo da altitude geométrica ( $\sigma_{\Delta h}$ ), entre a estação de referência e a de interesse, é obtido com o processamento das observações GPS, e corresponde ao desvio padrão fornecido para a componente vertical do vetor ( $\Delta h$ ).

O erro relativo da altura geoidal ( $\sigma_{\Delta N}$ ), entre a estação de referência e a de interesse, deve ser fornecido pelo geóide utilizado.

A realização do nivelamento através do GPS no Estado de São Paulo e regiões adjacentes pode ser feita com o auxílio do geóide gravimétrico, na forma digital (SOUZA, 2002), esse modelo fornece também o erro relativo das alturas geoidais, definido pela expressão (3.1). Para a estação de referência, pode-se ocupar uma das 150 estações GPS que integram a rede GPS do Estado de São Paulo (RGSP), onde a densidade e a distribuição geográfica dessas estações, permitem atualmente uma distância média as estações mais

próximas variando de 22 a 58 km (SÁ et al., 2001; 2002). Essa informação permite estimar o erro padrão que se pode obter com um certo tipo de receptor GPS, e o erro relativo da altura geoidal dos pontos envolvidos. Com base nos resultados obtidos neste trabalho, a RGSP atende amplamente aos usuários de receptores de uma frequência para a realização do nivelamento através do GPS, para fins de distribuição de água, saneamento básico, atualização cartográfica etc.

Assim, as estratégias para a escolha do tempo da sessão, para a realização do nivelamento usando GPS no Estado de São Paulo e regiões adjacentes, com base no geóide gravimétrico determinado por Souza (2002), estão associadas à qualidade do nivelamento e os tipos de receptores GPS utilizados neste trabalho.

A escolha da estratégia consistirá no comprimento do vetor base, formado entre as estações de referência e a de interesse; o tipo de receptor e a discrepância requerida para a altitude ortométrica, com base nos resultados obtidos neste trabalho.

A Tabela 7.2 mostra os parâmetros para a estimativa da discrepância do nivelamento através do GPS. Esses parâmetros foram calculados a partir da regressão linear das respectivas discrepâncias, associando-se o tempo da sessão e receptor. Para se calcular a discrepância ( $\Delta H$ ) correspondente a um comprimento de vetor base (em quilômetro), deve-se multiplicar a distância pelo coeficiente do *ppm*, somando-se a respectiva constante. Os valores das discrepâncias estão disposto em função do intervalo da sessão e o tipo do receptor (L1L2 e L1).

Tabela 7.2 – Parâmetros para a estimativa da discrepância da altitude ortométrica

Sessão (minutos)	Receptor L1L2 (duas frequências)	Receptor L1 (uma frequência)
10	$\pm ( 86 \text{ mm} + 7,2 \text{ ppm} )$	$\pm ( 135 \text{ mm} + 10,6 \text{ ppm} )$
20	$\pm ( 62 \text{ mm} + 3,6 \text{ ppm} )$	$\pm ( 92 \text{ mm} + 0,5 \text{ ppm} )$
30	$\pm ( 37 \text{ mm} + 2,2 \text{ ppm} )$	$\pm ( 74 \text{ mm} + 2,0 \text{ ppm} )$
40	$\pm ( 20 \text{ mm} + 1,5 \text{ ppm} )$	$\pm ( 55 \text{ mm} + 2,7 \text{ ppm} )$
50	$\pm ( 21 \text{ mm} + 1,3 \text{ ppm} )$	$\pm ( 90 \text{ mm} + 1,7 \text{ ppm} )$
60	$\pm ( 26 \text{ mm} + 0,8 \text{ ppm} )$	$\pm ( 86 \text{ mm} + 1,8 \text{ ppm} )$

A Tabela 7.3 mostra alguns valores das discrepâncias para distâncias compreendidas entre 2,5 a 250 km. Deve-se observar que para cada sessão e comprimento do vetor base são mostrados os valores das discrepâncias para os receptores de duas frequências (L1L2) e de uma frequência (L1).

Tabela 7.3 – Discrepâncias obtidas com o nivelamento através do GPS

Sessão	10 Minutos		20 minutos		30 minutos		40 minutos		50 minutos		60 minutos	
	L1L2	L1	L1L2	L1	L1L2	L1	L1L2	L1	L1L2	L1	L1L2	L1
(km)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
2,5	$\pm 0,104$	$\pm 0,162$	$\pm 0,071$	$\pm 0,093$	$\pm 0,042$	$\pm 0,079$	$\pm 0,024$	$\pm 0,060$	$\pm 0,024$	$\pm 0,094$	$\pm 0,028$	$\pm 0,090$
5	$\pm 0,122$	$\pm 0,188$	$\pm 0,080$	$\pm 0,094$	$\pm 0,048$	$\pm 0,084$	$\pm 0,027$	$\pm 0,067$	$\pm 0,028$	$\pm 0,099$	$\pm 0,030$	$\pm 0,095$
10	$\pm 0,158$	$\pm 0,241$	$\pm 0,098$	$\pm 0,097$	$\pm 0,058$	$\pm 0,094$	$\pm 0,035$	$\pm 0,080$	$\pm 0,034$	$\pm 0,107$	$\pm 0,034$	$\pm 0,104$
15	$\pm 0,194$	$\pm 0,294$	$\pm 0,116$	$\pm 0,100$	$\pm 0,069$	$\pm 0,104$	$\pm 0,043$	$\pm 0,094$	$\pm 0,041$	$\pm 0,116$	$\pm 0,038$	$\pm 0,112$
20	$\pm 0,229$	$\pm 0,346$	$\pm 0,134$	$\pm 0,102$	$\pm 0,080$	$\pm 0,114$	$\pm 0,051$	$\pm 0,107$	$\pm 0,047$	$\pm 0,125$	$\pm 0,042$	$\pm 0,121$
25	$\pm 0,265$	$\pm 0,399$	$\pm 0,152$	$\pm 0,105$	$\pm 0,091$	$\pm 0,124$	$\pm 0,058$	$\pm 0,121$	$\pm 0,054$	$\pm 0,133$	$\pm 0,046$	$\pm 0,130$
50	$\pm 0,444$	$\pm 0,663$	$\pm 0,242$	$\pm 0,118$	$\pm 0,146$	$\pm 0,174$	$\pm 0,097$	$\pm 0,188$	$\pm 0,086$	$\pm 0,176$	$\pm 0,067$	$\pm 0,174$
100	$\pm 0,802$	$\pm 1,191$	$\pm 0,421$	$\pm 0,143$	$\pm 0,255$	$\pm 0,274$	$\pm 0,174$	$\pm 0,323$	$\pm 0,151$	$\pm 0,262$	$\pm 0,107$	$\pm 0,262$
150	$\pm 1,159$	$\pm 1,718$	$\pm 0,601$	$\pm 0,169$	$\pm 0,364$	$\pm 0,374$	$\pm 0,251$	$\pm 0,458$	$\pm 0,216$	$\pm 0,348$	$\pm 0,148$	$\pm 0,351$
200	$\pm 1,517$	$\pm 2,246$	$\pm 0,781$	$\pm 0,194$	$\pm 0,473$	$\pm 0,474$	$\pm 0,328$	$\pm 0,593$	$\pm 0,281$	$\pm 0,434$	$\pm 0,188$	$\pm 0,439$
250	$\pm 1,875$	$\pm 2,773$	$\pm 0,960$	$\pm 0,220$	$\pm 0,582$	$\pm 0,574$	$\pm 0,406$	$\pm 0,727$	$\pm 0,346$	$\pm 0,520$	$\pm 0,229$	$\pm 0,527$

Verifica-se que na Tabela 7.3 as discrepâncias obtidas com o receptor L1L2, de forma geral são bem menores comparados com o receptor L1. Observa-se também que, para o receptor L1L2, as sessões de 50 e 60 minutos mostram valores praticamente similares. O receptor L1, para comprimentos de vetores inferiores a 50 km e a mesmas duração das sessões (50 e 60 minutos), a discrepâncias estão próximas de  $\pm 10$  cm.

As discrepâncias mostradas na Tabela 7.3 estão em função dos erros padrões obtidos neste trabalho. Na estação de referência (RN 2891P) foram estimados  $\pm 2,2$  e  $\pm 10$  cm para os erros padrões das altitudes geométrica e ortométrica, respectivamente. Os erros relativos da altitude geométrica e da altura geoidal também foram mostrados ou calculados na seção 5.4. E na seção 3.2 foi mostrado o erro padrão das altitudes ortométrica do IBGE, cuja metodologia para a determinação do erro padrão de cada RN foi mostrada na seção 5.2.

Cabe ao usuário da altitude ortométrica, escolher a estratégia de acordo com os equipamentos a serem utilizados e a qualidade requerida.

## 8 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho, foi apresentada uma síntese dos conceitos fundamentais enfatizando a altimetria, o Sistema Geodésico Brasileiro, o posicionamento por GPS e os modelos geoidais de interesse. Foram utilizados dados da Rede de Nivelamento Fundamental do Brasil, da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo e do geóide gravimétrico do Estado de São Paulo e regiões adjacentes. A metodologia consistiu na seleção e posicionamento de 44 RNs pertencentes à RNFB usando GPS. A coleta de dados GPS envolveu 2 receptores de duas frequências, sendo um utilizado como referência (base), e 1 de uma frequência. O processamento dos dados GPS possibilitou a determinação da altitude geométrica (coordenadas geodésicas) para mesma estação 24 vezes, totalizando-se 1032 posições por receptor GPS, correspondendo a 43 RNs, que formam uma linha de aproximadamente de 300 km. Para a verificação da altitude geométrica de cada RN, foi realizado o ajustamento da rede GPS, formada pelas estações de referências UEPP e PARA, e a RN 2891P, que foi referência para todas as 43 RNs, utilizando os receptores de duas frequências em sessões de 60 minutos. A realização do nivelamento consistiu em combinar a altitude geométrica com a altura geoidal, calculada a partir do geóide gravimétrico usando o programa GEOCOM, em cada RN posicionada. Assim, determinou-se a altitude ortométrica para um conjunto de 43 RNs. A avaliação do nivelamento foi feita com a comparação das altitudes ortométrica determinadas com as fornecidas pelo IBGE. A análise estatística das discrepâncias foi usada para definir estratégias visando otimizar o nivelamento através do GPS nas aplicações cotidianas.

O nivelamento por GPS reduz o custo em consequência do menor tempo de execução e número de operadores, e da simplicidade operacional. As atividades de campo são relativamente simples comparadas às dos métodos convencionais, mas requer cuidados como qualquer outro tipo de posicionamento.

O experimento realizado permitiu definir estratégias para otimizar o nivelamento através do GPS nas aplicações cotidianas.

## 8.1 Conclusões

Para as estações de referência (UEPP, PARA e 2891P) adotadas neste trabalho, foi realizado um estudo para verificação do multicaminho, e foi constatado que a estação 2891P ficou em local típico de uma estação com pouco efeito de multicaminho.

Os processamentos da combinação L0 tiveram as ambigüidades solucionadas, para os vetores inferiores a 200 km, para todas as durações das sessões e para os dois intervalos de coleta (5 e 15 segundos), o que significa 80% dos vetores em cada sessão. Para o receptor de uma frequência, nas sessões de 30 a 60 minutos, os processamentos da L1 tiveram as ambigüidades solucionadas para vetores inferiores a 25 km, considerando também os dois intervalos de coleta; para as sessões de 10 e 20 minutos apenas, os vetores inferiores a 5 km tiveram as ambigüidades fixadas. Isso corresponde, respectivamente, a 11,63 e 2,33% do total de vetores envolvidos. Os demais vetores, correspondentes aos dois receptores, não tiveram as ambigüidades solucionadas, provavelmente em função do longo comprimento de base, do intervalo do tempo da sessão e dos efeitos da refração ionosférica.

Foi mostrado que o número de observações utilizadas no processamento dos dados GPS influencia no posicionamento, o que foi constatado para o receptor L1, com vetores acima de 160 km (Figuras 6.12 e 6.13). No processamento dos dados GPS para as RNs com vetores maiores que 160 km, o número observações utilizadas ficou abaixo da média, que correspondeu a 1311 observações. Pode-se também observar que os valores de HDOP e VDOP (Figura 6.14), ao longo dessas sessões, aumentaram, o que deteriora a qualidade do posicionamento.

No ajustamento da rede GPS, foram determinadas as coordenadas da estação de referência RN 2891P, obtendo-se um erro padrão de  $\pm 2,2$  cm para a altitude geométrica. Assim, com as altitudes geométrica ajustadas de cada RN, foi possível analisar todos os modos de processamento. A análise para a verificação das altitudes geométrica, correspondentes aos receptores L1L2 e L1, indicou que os resultados entre as respectivas sessões são similares, para os dois intervalos de coleta dos dados (5 e 15 segundos) utilizadas neste trabalho. Pode-se concluir também que o processamento da pseudodistância não fornece resultados satisfatórios para trabalhos relacionados com altimetria.

Com as altitudes geométrica ajustadas, determinadas pelo receptor L1L2 utilizando a observável L0 para a fase, determinou-se as altitudes ortométrica de referência para a verificação de algum tipo de erro grosseiro, o que ficou constatado para RN localizada a 182,4 km (RN 2914R). As análises das discrepâncias das altitudes geométrica ( $\Delta\hat{h}_{L1L2}^F$ )

indicou uma discrepância máxima de 13,5 cm, com erro padrão de  $\pm 6,0$  cm, para sessões até 20 minutos. Para as demais sessões,  $\Delta\hat{h}_{L1L2}^F$  foi praticamente nula; indicando que não houve problemas com a determinação da respectiva altitude geométrica. Assim, essa RN foi excluída do nivelamento, sem se identificar a causa do erro grosseiro.

Após a eliminação da RN 2914R, eivada com algum tipo de erro grosseiro, realizou-se o nivelamento para os receptores L1L2 e L1. Os resultados para o receptor de duas frequências (L1L2) indicam que o nivelamento é compatível com o erro padrão esperado, para todos os vetores determinados. Para o receptor de uma frequência (L1), o nivelamento realizado com vetores até 160 km também foi compatível com o erro padrão esperado. Para o receptor de duas frequências, a observável utilizada foi a combinação linear livre da ionosfera para a fase (L0) e para o receptor de uma frequência a fase.

Foi mostrado que para o receptor L1, principalmente para vetores inferiores a 50 km e sessão de 30 minutos, o nivelamento através do GPS apresentou discrepâncias das altitudes ortométrica máxima e mínima de 28,6 e -20,0 cm, para os erros padrões de  $\pm 39,2$  e  $\pm 35,4$  cm, respectivamente.

Com a densificação das redes geodésicas, seja de âmbito nacional ou estadual, ter-se-á cada vez mais estações que proporcionarão vetores curtos. Desse modo, um geóide de alta precisão e uma rede geodésica suficientemente densa, que possibilite o uso de receptores de uma frequência, o nivelamento através do GPS será uma boa opção em várias aplicações.

Em uma rede geodésica é importante que cada estação tenha as suas coordenadas geodésicas definidas, juntamente com a altitude ortométrica e os respectivos erros estimados.

## 8.2 Recomendações

Uma vez que o posicionamento vertical com o receptor de uma frequência, para os vetores maiores que 160 km, apresentou resultados desfavoráveis, e que na maioria dos casos o número de observações utilizadas no processamento dos dados GPS está abaixo da média, recomenda-se à realização de experimentos para o receptor de uma frequência e vetores maiores que 160 km, com geometria favorável durante a coleta dos dados GPS. Adicionalmente, recomenda-se introduzir os parâmetros para a correção dos efeitos dos efeitos da ionosfera na portadora L1. Deve-se também considerar o aumento do intervalo do tempo da sessão, para verificar se há melhora de qualidade do nivelamento com o receptor L1.

Considerando-se que antes de se efetuar levantamentos com GPS deve ser feito o planejamento para verificar a geometria dos satélites bem como os valores do HDOP e VDOP na região, recomenda-se também a realização dessa análise para auxiliar o processamento dos dados, verificando-se a geometria dos satélites efetivamente utilizados no processamento dos dados.

Na fase de planejamento e/ou execução de qualquer trabalho geodésico é essencial ter à disposição as normas estabelecidas para os levantamentos geodésicos. No caso do Brasil, as normas são estabelecidas pelo IBGE (IBGE, 1998a). Diante da grande inovação tecnológica ocorrida nessa área, é essencial que elas sejam revistas. Principalmente para levantamentos altimétricos (nivelamento), incorporando a essas normas, especificações técnicas para a utilização do GPS (técnicas espaciais) combinado com geóide, para fins de determinação das altitudes ortométrica.

Outra recomendação está relacionada à materialização dos marcos (chapas) das referências de nível, como também das demais estações do SGB, que o local de implantação seja propício à instalação de tripés (ou antena GPS) bem como o rastreamento com GPS, ou seja, sem a ocorrência de multicaminho na estação. E que nos memoriais descritivos, das estações geodésicas (ou das RNs), sejam fornecidos os respectivos erros estimados.

É importante ressaltar que com a introdução de uma terceira frequência nos satélites do sistema GPS e alteração da modulação do sinal L2, que terá incluído um código civil; a disponibilização do sistema de satélites europeu (Galileo); e a melhoria do geóide, estudos sobre o nivelamento através do GPS devem ser intensificados.

## REFERÊNCIAS

ASHTECH, Inc. **Z-12 GPS receiver operating manual: document number 600224.** Revision B, EUA. 1994.

BRASIL, Ministério do Exército. **Manual técnico: nivelamento geométrico.** Brasília. 1975. 97p.

CAMARGO, P.O. **Modelo regional da ionosfera para uso em receptores de uma frequência.** Curitiba, 1999. 156f. Tese (Doutorado) Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

CCSIVAM (Comissão para Coordenação do Projeto do Sistema de Vigilância da Amazônia) **SIVAM: Projeto Sistema de Vigilância da Amazônia.** 2002. Disponível em: <<http://www.sivam.gov.br/Index.htm>> Acessado em: 16 de junho de 2002.

COMASTRI, J. A.; TULER, J. C. **Topografia: altimetria.** 3a ed. Viçosa: UFV, 1999. 200 p.

COSTA, S. M. A. **Evolução do Sistema Geodésico Brasileiro: razões e impactos com a mudança do referencial.** I SEMINÁRIO SOBRE REFERENCIAL GEOCÊNTRICO NO BRASIL. Rio de Janeiro: IBGE / Departamento de Geodésia, 2000. Disponível em: <[www.ibge.gov.br/home/geografia/geodesico/srg/historico/evolucao.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/geografia/geodesico/srg/historico/evolucao.pdf)>. Acesso em: 10 maio 2001.

COSTA, S. M. A. **Integração da Rede Geodésica Brasileira aos Sistemas de Referência Terrestres.** 1999. 156f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

COSTA, S. M. A.; FORTES, L. P. S. **Nova Hierarquia da Rede Planimétrica do SGB.** I SEMINÁRIO SOBRE REFERENCIAL GEOCÊNTRICO NO BRASIL. Rio de Janeiro: IBGE / Departamento de Geodésia, 2000. Disponível em: <[www.ibge.gov.br/home/geografia/geodesico/srg/historico/hierarq.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/geografia/geodesico/srg/historico/hierarq.pdf)>. Acesso em: 10 maio 2001.

COSTA, S. M. A. PEREIRA, K. BEATTIE, D. A integração da RGB ao SIRGAS: resultados preliminares. **Revista GeoConvergência**, p. 17-24. mar 1999. Disponível em <[http://www.geoconvergencia.com/pt/ARTICLES/0399feat\\_pt.html](http://www.geoconvergencia.com/pt/ARTICLES/0399feat_pt.html)> Acesso em: 10 maio 2001.

ESPARTEL, L. **Curso de Topografia.** Porto Alegre, Editora Globo, 1980. 655 p.

FREITAS, S.R.C. BLITZKOW, D. Altitudes e Geopotencial. **International Geoid Service.** Special Issue for South America Italy. n. 9, p. 47-61. 1999.

FONSECA Jr., E. S. **Estudo e avaliação metodológica da rede GPS do Estado de São Paulo.** 1996. 120f. Dissertação (Mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

FORTES, L. P. S. **SIRGAS: O Sistema de Referência para o novo milênio**. I SEMINÁRIO SOBRE REFERENCIAL GEOCÊNTRICO NO BRASIL. Rio de Janeiro: IBGE / Departamento de Geodésia, 2000. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/geografia/geodesico/srg/historico/sirgasmil.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2001.

FORTES, L. P. S. **Operacionalização da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC)**. 1997. 152f. Dissertação (Mestrado). Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro.

GEMAEL, C. **Introdução a Geodésia Física**. Curitiba: UFPR, 1999. 304p.

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

GEMAEL, C. **Introdução à Geodésia Geométrica**. Curitiba: UFPR-Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. 1988. vol. 2.

IAG (International Association of Geodesy) The Geodetic Reference System. In: The Geodesist's Book. (I. I. Mueller ed.), **Bulletin Geodesy** 54(3): 394-408. 1980

IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo**. Rio de Janeiro: IBGE / Departamento de Geodésia, 2002a. Disponível em <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Rede\\_Brasileira\\_de\\_Monitoramento\\_Continuo/](ftp://ftp.ibge.gov.br/Rede_Brasileira_de_Monitoramento_Continuo/)> Acesso em: 30 de maio 2002

IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Banco de Dados Geodésicos**. Rio de Janeiro: IBGE / Departamento de Geodésia, 2002b. Disponível em <[ftp://ftp.ibge.gov.br/Banco\\_de\\_Dados\\_Geodesicos/](ftp://ftp.ibge.gov.br/Banco_de_Dados_Geodesicos/)>. Acesso em: 30 de maio 2002.

IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Projeto SIRGAS**. Rio de Janeiro: IBGE / Departamento de Geodésia, 2002c. Disponível em <<http://www.ibge.net/home/geografia/geodesico/sirgas/principal.htm>>. Acesso em: 30 de maio 2002.

IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Geociências/Geodésia**. Rio de Janeiro: IBGE / Departamento de Geodésia, 2002d. Disponível em: <<http://www.ibge.net/home/geografia/geodesico/default.php>>. Acesso em: 10 maio 2002.

IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Proposta preliminar para a adoção de um Referencial Geocêntrico no Brasil: (documento preliminar: texto para discussão)**. I SEMINÁRIO SOBRE REFERENCIAL GEOCÊNTRICO NO BRASIL. Rio de Janeiro: IBGE / Departamento de Geodésia, 2000a. Disponível em: <[www.ibge.gov.br/home/geografia/geodesico/srg/historico/propfin.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/geografia/geodesico/srg/historico/propfin.pdf)>. Acesso em: 10 maio 2001.

IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Especificações e normas gerais para levantamentos geodésicos: coletâneas das normas vigentes**. Rio de Janeiro: IBGE / Departamento de Geodésia, 1998a. 74p.

IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Lista\_RN\_SP\_IBGE**. Rio de Janeiro: IBGE/DGC/DEGED/DIDAF, 25 de junho de 1998b. 1 arquivo (15,2 Mbytes) Word for windows 6.0.

IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **SIRGAS: relatório final**. Rio de Janeiro: IBGE / Departamento de Geodésia, 1997. 99p.

IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Ajustamento da Rede Planimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro: Relatório**. Rio de Janeiro: IBGE / Departamento de Geodésia, 1996.

IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Lista das RNs pertencentes à RNFSP**. Rio de Janeiro: IBGE / Departamento de Geodésia. 1982.

IGG (Instituto Geográfico e Geológico do Estado de São Paulo). **Nivelamento Geral do Estado de São Paulo: altitudes de precisão**. Secretaria da Agricultura IGG. Boletim N° 36. 1962. 101 p.

KAVANAGH, B. F.; BIRD, S. J. G. **Surveying: principles and applications**. 5th ed. New Jersey: Prentice Hall. 2000. 722p.

LANGLEY, R. B. GPS Propagation of the GPS signals. In TEUNISSEN, P.J.G; KLEUSBERG, A. **GPS for Geodesy**. 2.ed.: Springer Verlag, 1998a. p 111-150.

LANGLEY, R. B. GPS Receivers and observables. In TEUNISSEN, P.J.G; KLEUSBERG, A. **GPS for Geodesy**. 2.ed.: Springer Verlag, 1998b. p 151-186.

LEICK A. **GPS Satellite Surveying**. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, 1995. 560p.

LUZ; R. T; GUIMARÃES, V. M. Realidade e Perspectivas da Rede Altimétrica de Alta Precisão do Sistema Geodésico Brasileiro In: **II COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS (30 anos da Pós Graduação em Ciências Geodésica no Brasil)**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2001. Anais..., em CD.

MELLO, M. P. Cinquenta anos de IBGE: a Geodésia e a Cartografia (1936-1986). **Revista Brasileira de Cartografia**. p. 62-67. n. 40. 1986.

MIKHAIL, E; ACKERMANN, F. **Observation and least squares**. IEP A Dun-Donnelley Publisher, New York, 1976. 497p.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo/SP.: Unesp. 2000. 287p.

NGS (National Geodetic Survey). **GPS ANTENNA CALIBRATION**. 2002. Disponível em: <<http://www.ngs.noaa.gov/ANTCAL/>>. Acesso em: 10 maio 2002.

NIMA - National Imagery and Mapping Agency. **Department of Defense World Geodetic System 1984: its definition and relationships with local geodetic system**. NIMA TR 8350.2: 3ª ed., Bethesda/USA, 4 July 1997. 1 arquivo (1,5 Mbytes). Acrobat Reader. Disponível em: <<ftp://164.214.2.65/pub/gig/tr8350.2/wgs84fin.pdf>> Acesso em: 10 maio 2002.

OLIVEIRA, L. C. **Realização do sistema geodésico brasileiro associado ao SAD69: uma proposta metodológica de transformação**. 1998. 197f. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

PARKINSON B. W. e SPILKER Jr., J. J. **Global Positioning System: Theory and Applications**. Vol. 1 Progress in Astronautics and Aeronautics. 1996. 793 p.

PESSOA, L. M. C. **Geóide gravimétrico local em área da bacia do Paraná**. 1997. 214f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba

PINTO, L. E. K; **Curso de Topografia**. Salvador: Centro editorial e didático da Universidade Federal da Bahia, 1988. 344p.

RODRIGUEZ, L. V. O Datum geodésico Chuá. **Revista Brasileira de Cartografia**. p. 5-8. n. 19. vol. 6. 1977.

RIBEIRO, G. P.; LUZ, R. T. Resultados preliminares do ajustamento global da Rede Altimétrica de alta precisão do Sistema Geodésico Brasileiro. In: **Congresso Brasileiro de Cartografia**, 15., São Paulo, 1991. Anais..., p. 155-162.

SÁ, N. C; **Rede GPS no Estado de São Paulo: aprimoramento do geóide e apoio básico para levantamentos locais**. Projeto de pesquisa submetido à FAPESP (Proc. Nº 99/12691-9). 1999.

SÁ, N.C. Representação integrada do campo de gravidade no Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, 1995. (45): 1-61.

SÁ, N.C. Um geóide para aplicações do GPS em geociências. In: **Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica**, 3., Rio de Janeiro. 1993. p. 584-589.

SÁ, N. C; MOLINA, E. C. O geóide gravimétrico no estado de São Paulo: resultados preliminares. In: **Congresso Brasileiro de Cartografia**, 17., Salvador, 1995. Anais..., p. 124-133.

SÁ, N.C; MONICO, J. F. G; KRUEGER, C. P; SOUZA, S. F; CASTRO, A. L. P; VIEIRA, S. C. Rede GPS no Estado de São Paulo: um projeto para aplicações cotidianas In: **Simpósio Brasileiro de Geomática**, Presidente Prudente, SP, 2002. Anais..., em CD.

SÁ, N.C.; SOUZA, S. F.; MONICO, J. F. G.; CASTRO, A. L. P.; KRUEGER, C. P. O GPS no Estado de São Paulo: potencialidades, desafios e estratégias. In: **Congresso Brasileiro de Cartografia**, 20., Porto Alegre, 2001. Anais..., em CD.

SANTOS, M. C. Impacto do 3º sinal GPS. **InfoGEO**. p. 22, setemb./outub. 2000.

SAPUCCI, L. F. **Estimativa do vapor d'água atmosférico e avaliação da modelagem do atraso zenital troposférico utilizando GPS**. Presidente Prudente, 2001 167f. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente.

SEEBER, G. **Satellite geodesy: foundations, methods, and applications**. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 1993, 356p.

SILVA, N. C. C.; SANTOS, M. C.; OLIVEIRA, L. C. Efeito da refração troposférica no posicionamento geodésico com GPS. **Revista Brasileira de Geofísica**. Nov 1999, vol.17 (2-3) p. 117-128. ISSN 0102-261X. Disponível em: <<http://dge01.dge.inpe.br/RBGf/pdf/Vol-XVII-2-3/effects-tropospheric.pdf>> ou <[www.scielo.br/rbg](http://www.scielo.br/rbg)> Acessado em: 16 de junho de 2002.

SOUZA, S.F. de **Contribuição do GPS para o aprimoramento do geóide no Estado de São Paulo**. 2002 (em fase de elaboração). Tese (Doutorado). Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo, São Paulo.

SP (Spectra Precision). **GeoGenius 2000 user's manual**. Version 2.1 Release 1. Hohenkirchen-Siegersbrunn, Germany. 2000.

SPIPKER Jr., J. J. GPS Signal structure and theoretical performance. In: PARKINSON B. W; SPIPKER Jr., J. J. **Global Positioning System: Theory and Applications**. Vol. 1 Progress in Astronautics and Aeronautics. 1996. p. 57-120.

TEUNISSEN, P. J. G. GPS carrier phase ambiguity fixing concepts. In: TEUNISSEN, P.J.G. KLEUSBERG, A. **GPS for Geodesy**. 2.ed.: Springer Verlag, 1998. p. 319-388.

TEUNISSEN, P. J. G. KLEUSBERG, A. GPS observation equations and positioning concepts. In: \_\_\_\_\_. **GPS for Geodesy**. 2.ed.: Springer Verlag, 1998. p. 187-230.

TORGE, W. **Geodesy**. 3rd completely ver. and extended ed.. Berlin; New York: de Gruyter, 2001, 416 p.

UNAVCO (University Navstar Consortium). **TEQC: The Toolkit for GPS/GLONASS Data**. 2002. Disponível em: <[http://www.unavco.ucar.edu/data\\_support/software/teqc/teqc.html](http://www.unavco.ucar.edu/data_support/software/teqc/teqc.html)>. Acesso em: 10 maio 2002.

VANICEK, P. KRAKIWSKY, E. J. **Geodesy: The concepts**. Second edition. Elsevier, N. York, 697 p. 1986.

TRIMBLE. **Trimble 2002**. Disponível em: <<http://trl.trimble.com/dscgi/ds.py/Get/File-2002/4600ls.pdf>> e <<http://trl.trimble.com/dscgi/ds.py/Get/File-8883/4000msgdatasheet.pdf>> Acesso em: 10 maio 2002.

TRIMBLE. **GPSurvey: *Software user's guide***. Trimble Navigation Limited, 1992a.

TRIMBLE. **TRIMNET PLUS: *Survey network software***. Trimble Navigation Limited, 1992b.

TRIMBLE. **Receiver 4600LS operating manual: *user's guide***. Trimble Navigation Limited, 1992c.

WELLS, D.E. BECK, N. DELIKARAOGLOU, D. KLEUSBERG, A. KRAKIWSKY, E.J. LACHAPELKLE, G. LANGLEY, R.B. NAKIBOGLU, M. SCHWARZ, K.P. TRANQUILLA, J.M; VANICEK, P. **Guide to GPS Positioning**. Canadian GPS Associates, Fredericton, New Brunswick, Canada, 1986.

## BIBLIOGRAFIAS

BRASIL, Ministério do Exército. **Manual técnico: nivelamento trigonométrico**. Brasília. 1975. 80p.

IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Nova Hierarquia da Rede Planimétrica do SGB**. I SEMINÁRIO SOBRE REFERENCIAL GEOCÊNTRICO NO BRASIL. Rio de Janeiro: IBGE / Departamento de Geodésia, 2000c. Disponível em <[www1.ibge.gov.br/ibge/geografia/seminar/hierarq.pdf](http://www1.ibge.gov.br/ibge/geografia/seminar/hierarq.pdf)>. Acesso em: 10 maio 2001.

IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Referenciais Geodésicos Brasileiro: passado, presente e futuro** (Documento preliminar - Texto para discussão). Rio de Janeiro: IBGE / Departamento de Geodésia, 1999. 21p.

MEDEIROS, Z. F. **Considerações sobre a metodologia de levantamentos altimétricos de alta precisão e proposta para sua implementação**. 1999. 142f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MICHAELIS **Moderno Dicionário da Língua Portuguesa**. Disponível em: <<http://www.uol.com.br/michaelis>>. Acesso em: 18 maio 2001.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. **Manual de normalização documentária para apresentação do trabalho acadêmico** (de acordo com as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT). Maria José Trigólio (Org.) e Silvia Dias Degaspari (Org.). Presidente Prudente (SP). 2002. 43 p.

## APÊNDICES

**APÊNDICE A – MEMORIAL DESCRITIVO DA RN 2891P**

**UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
IAG - DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA  
LABORATÓRIO DE GEODESIA E GRAVIMETRIA  
ESTAÇÃO GPS**

Nome CESÁRIO LANGE		Número 2891P		UF SP	Data 07/03/01
Latitude S 23° 13' 51,437314"		Precisão 0,009 m	Longitude W 043° 56' 54,892687"		Precisão 0,008 m
Alt. Geométrica 585,8037 m	Precisão 0,022 m	Alt. Ortométrica 590,1893 m	Precisão 0,100 m	Datum IMBITUBA	Fonte IBGE
Referencial WGS84	Observação				

<p><b>Croqui</b></p>	<p><b>Descrição</b></p> <p><b>CESÁRIO LANGE – SP (2891P)</b></p> <p>Na cidade de Cesário Lange, trevo de acesso a referida cidade. A estação GPS está localizada na chapa RN 2891P (IBGE), chumbada na base do letreiro “CESÁRIO LANGE”, entre as letras O e L. Esse trevo proporciona acesso às rodovias SP 280 (Castelo Branco), SP 300, e a cidade de Pereiras. A RN está localizada a 0,69 km além da igreja matriz de Santa Cruz em Cesário Lange e 2,58 km aquém da ponte sobre o ribeirão Aleluia. A medição foi realizada com a antena GPS sob a chapa da RN, com auxílio do tripé.</p>
----------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



**APÊNDICE B – JANELA DO PROGRAMA GPSURVEY 2.35a PARA A ESCOLHA DA COMBINAÇÃO DOS ARQUIVOS A SEREM PROCESSADOS E CONTROLE DO INTERVALO DO TEMPO DA SESSÃO E DA TAXA DE COLETA DAS OBSERVÁVEIS**

GPSurvey Project : NIVELAMENTO ATRAVES DO GPS  
 Project Plan Load Process Adjust View Utilities Help

WAVE - NIVELAMENTO ATRAVES DO GPS  
 File Edit Process Results Options Window Help

**Load**

Include processed files

Name	Start time	Stop time	Type	Processed
289107T	07/03/01 10:06:35	07/03/01 15:28:15	Static	No
ET2891R	07/03/01 10:34:50	07/03/01 11:40:15	Static	No
RA2891R	07/03/01 10:37:45	07/03/01 11:40:40	Static	No
ET2891V	07/03/01 12:13:10	07/03/01 13:18:35	Static	No
RA2891V	07/03/01 12:16:35	07/03/01 13:18:30	Static	No
RA2891Z	07/03/01 13:39:15	07/03/01 14:46:05	Static	No

**Selected files:**

Name	Start time	Stop time	Type	Processed
289107T	07/03/01 10:06:35	07/03/01 15:28:15	Static	No
ET2891R	07/03/01 10:34:50	07/03/01 11:40:15	Static	No
RA2891R	07/03/01 10:37:45	07/03/01 11:40:40	Static	No
ET2891V	07/03/01 12:13:10	07/03/01 13:18:35	Static	No
RA2891V	07/03/01 12:16:35	07/03/01 13:18:30	Static	No
RA2891Z	07/03/01 13:39:15	07/03/01 14:46:05	Static	No

Add Add all Remove More info... Sort by: Start Time

Controls... OK Cancel Help

**Load Controls**

Load times:

Start: 07 /03 /01 10 :06 :35 1104 ,306395

Stop: 07 /03 /01 15 :28 :15 1104 ,325695

Minimum decimation interval: 5.0 sec.

Decimate at 0.0 sec. intervals

OK Cancel Help Default

## APÊNDICE C – Comprimentos de visadas para o nivelamento e o contranivelamento

Na Tabela C encontram-se os comprimentos de visadas (ré e vante) obtidos com o nivelamento e o contranivelamento das RNEs. Esses valores correspondem à distância entre o aparelho de nível e as respectivas estações: RN\_IBGE; RNE\_L1 e RNE\_L1L2.

Tabela C – Comprimento de visadas das RNEs

Estação	Comprimento de visadas					
	Nivelamento (m)			Contranivelamento (m)		
	RN_IBGE	RNE_L1	RNE_L1L2	RN_IBGE	RNE_L1	RNE_L1L2
2892L	24,0	32,8	33,0	32,0	26,3	26,2
2892V	19,2	11,0	11,6	18,3	12,8	13,0
2893P	12,2	27,2	28,6	15,0	25,6	26,0
2895R	15,0	26,4	26,4	18,2	24,0	23,8
2895T	12,8	5,5	4,3	12,2	10,5	10,9
2895V	12,6	13,8	15,2	16,3	16,1	16,0
2896A	10,8	25,3	24,5	15,6	21,6	21,1
2899X	12,0	4,9	5,5	8,0	4,8	5,9
2900M	7,00	28,0	29,5	7,0	30,0	29,5
2913N	26,5	16,4	17,5	22,6	20,5	21,1
2914C	21,4	10,9	11,6	21,5	14,4	15,3
2914F	18,7	33,3	34,5	21,5	30,5	31,5
2920D	12,5	16,4	15,5	8,5	11,7	11,5
2920G	27,0	35,4	36,1	33,4	28,9	29,9
2954X	22,6	15,1	16,4	20,0	18,5	19,6
2955G	17,0	10,5	10,8	16,7	11,1	12,1
2951V	14,2	27,1	27,7	17,0	25,4	26,0
Máximo	27,0	35,4	36,1	33,4	30,5	31,5
Mínimo	7,0	4,9	4,3	7,0	4,8	5,9

### APÊNDICE D1 – Altitude Geométrica para o receptor L1L2, usando L0 e taxa de 5 segundos

RN	Vetor (km)	10 min		20 min		30 min		40 min		50 min		60 min	
		$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)
2891R	2,6	545,192	0,005	545,182	0,004	545,184	0,003	545,181	0,003	545,184	0,003	545,183	0,002
2891V	6,9	567,217	0,009	567,210	0,006	567,225	0,005	567,230	0,004	567,233	0,003	567,234	0,003
2891Z	10,3	603,189	0,005	603,198	0,003	603,188	0,003	603,190	0,002	603,19	0,002	603,192	0,002
2892L	22,2	611,867	0,005	611,867	0,004	611,867	0,003	611,867	0,003	611,869	0,003	611,869	0,003
2892M	23,0	594,492	0,007	594,497	0,004	594,499	0,003	594,500	0,003	594,502	0,002	594,502	0,002
2892S	26,8	535,454	0,009	535,270	0,013	535,279	0,010	535,281	0,008	535,285	0,008	535,524	0,005
2892V	33,9	665,832	0,011	665,599	0,007	665,609	0,007	665,792	0,004	665,789	0,003	665,789	0,003
2893A	36,6	656,613	0,009	656,632	0,007	656,658	0,007	656,689	0,007	656,714	0,006	656,666	0,004
2893L	44,4	662,227	0,008	662,229	0,005	662,230	0,005	662,233	0,004	662,238	0,004	662,240	0,003
2893P	47,4	734,722	0,006	734,720	0,005	734,707	0,005	734,824	0,005	734,84	0,005	734,862	0,003
2893R	48,2	872,508	0,009	872,719	0,007	872,726	0,006	872,669	0,007	872,672	0,006	872,585	0,005
2895N	48,2	945,703	0,014	945,579	0,010	945,826	0,005	945,858	0,006	945,939	0,008	945,967	0,008
2895R	52,2	935,381	0,008	935,393	0,008	935,407	0,007	935,427	0,006	935,434	0,006	934,979	0,005
2895T	55,0	941,802	0,012	941,343	0,007	941,315	0,006	941,313	0,000	941,308	0,004	941,287	0,004
2895U	57,5	903,141	0,004	902,261	0,005	902,254	0,005	902,424	0,005	902,567	0,004	902,575	0,003
2895V	59,4	878,443	0,098	878,117	0,008	878,450	0,006	878,312	0,006	878,31	0,005	878,321	0,005
2896A	62,3	830,139	0,006	830,516	0,005	830,512	0,005	830,524	0,005	830,524	0,005	830,524	0,005
2896F	63,1	844,224	0,012	843,372	0,009	843,364	0,008	843,141	0,007	843,366	0,007	843,442	0,006
2874T	72,0	749,036	0,006	749,069	0,006	748,814	0,006	748,670	0,005	748,735	0,004	748,666	0,006
2899X	89,5	690,268	0,011	690,247	0,008	690,263	0,007	690,250	0,007	690,262	0,007	690,327	0,006
2900F	100,6	477,869	0,006	477,855	0,003	477,853	0,003	477,854	0,003	477,893	0,004	477,948	0,004
2900L	103,0	526,000	0,011	526,388	0,008	526,436	0,006	526,441	0,006	526,157	0,007	526,248	0,016
2900M	105,3	523,252	0,005	523,727	0,006	523,269	0,005	523,382	0,004	523,379	0,004	523,382	0,004
2900V	119,4	589,267	0,009	589,080	0,010	589,125	0,010	589,389	0,011	589,403	0,010	589,387	0,023
2913N	140,3	521,148	0,008	520,712	0,015	520,745	0,013	520,846	0,010	521,051	0,008	521,056	0,007
2913V	151,7	457,787	0,009	457,398	0,007	457,245	0,007	457,429	0,006	457,391	0,005	457,451	0,006
2914A	159,3	549,380	0,006	549,037	0,006	549,051	0,005	549,029	0,008	549,032	0,008	549,029	0,008
2914C	162,7	503,053	0,007	502,977	0,006	502,971	0,006	502,973	0,006	502,867	0,005	502,892	0,006
2914F	165,8	509,396	0,008	509,477	0,005	509,232	0,006	509,248	0,006	508,205	0,009	508,241	0,009
2914L	173,0	402,960	0,007	402,944	0,006	403,083	0,006	402,731	0,006	402,702	0,006	402,864	0,006
2914R	182,4	442,384	0,007	442,477	0,006	442,341	0,004	442,343	0,005	442,340	0,004	442,342	0,004
2905T	187,0	474,773	0,010	474,796	0,008	475,078	0,007	474,820	0,005	474,871	0,004	474,796	0,006
2919J	191,8	539,408	0,004	539,518	0,005	539,443	0,003	539,439	0,003	539,295	0,003	539,268	0,004
2919R	199,3	450,533	0,007	450,430	0,007	450,487	0,006	450,411	0,005	450,42	0,006	450,398	0,008
2920A	206,1	553,184	0,217	553,445	0,091	553,229	0,050	553,043	0,040	552,927	0,025	552,914	0,020
2920D	211,1	543,373	0,112	543,411	0,063	543,413	0,037	543,169	0,031	543,198	0,022	543,237	0,017
2920G	215,3	489,155	0,100	489,433	0,052	489,554	0,032	489,510	0,021	489,482	0,015	489,448	0,011
2954X	221,9	495,307	0,082	495,116	0,044	495,092	0,029	495,091	0,021	495,065	0,018	495,049	0,015
2955G	230,6	527,254	0,122	527,705	0,085	527,825	0,053	527,660	0,045	527,602	0,034	527,545	0,027
2951Z	233,3	593,206	0,111	593,144	0,051	593,132	0,027	593,189	0,017	593,227	0,013	593,240	0,010
2951V	237,9	585,810	0,133	585,089	0,068	585,089	0,040	585,343	0,066	585,532	0,030	585,673	0,024
2951M	247,2	571,927	0,088	571,615	0,071	571,545	0,054	571,710	0,041	571,769	0,031	571,839	0,024
2951E	252,1	522,306	0,197	522,031	0,088	521,869	0,046	521,901	0,027	521,905	0,021	521,860	0,020

### APÊNDICE D2 – Altitude Geométrica para o receptor L1L2, usando L0 e taxa de 15 segundos

RN	Vetor (km)	10 min		20 min		30 min		40 min		50 min		60 min	
		$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)
2891R	2,6	545,188	0,003	545,186	0,002	545,183	0,002	545,179	0,002	545,184	0,002	545,183	0,002
2891V	6,9	567,216	0,008	567,209	0,006	567,225	0,005	567,229	0,004	567,231	0,003	567,232	0,003
2891Z	10,3	603,197	0,005	603,198	0,003	603,188	0,003	603,190	0,002	603,19	0,002	603,192	0,002
2892L	22,2	611,867	0,005	611,866	0,004	611,867	0,003	611,867	0,003	611,869	0,003	611,869	0,003
2892M	23,0	594,491	0,006	594,498	0,004	594,499	0,003	594,500	0,003	594,503	0,002	594,502	0,002
2892S	26,8	535,456	0,009	535,466	0,007	535,547	0,006	535,435	0,005	535,512	0,005	535,524	0,005
2892V	33,9	665,832	0,011	665,599	0,007	665,610	0,007	665,793	0,004	665,79	0,003	665,791	0,003
2893A	36,6	656,614	0,009	656,632	0,007	656,660	0,007	656,691	0,006	656,716	0,006	656,667	0,004
2893L	44,4	662,226	0,008	662,229	0,005	662,231	0,004	662,233	0,004	662,238	0,004	662,240	0,003
2893P	47,4	734,725	0,006	734,722	0,005	734,710	0,005	734,827	0,005	734,841	0,004	734,864	0,003
2893R	48,2	872,504	0,009	872,717	0,007	872,725	0,006	872,669	0,006	872,672	0,006	872,584	0,005
2895N	48,2	945,583	0,014	945,579	0,010	945,829	0,005	945,858	0,006	945,941	0,008	945,966	0,008
2895R	52,2	935,375	0,009	935,391	0,008	935,405	0,007	935,426	0,006	935,433	0,006	934,978	0,005
2895T	55,0	941,824	0,014	941,345	0,007	941,316	0,006	941,315	0,005	941,309	0,004	941,289	0,004
2895U	57,5	902,229	0,006	902,263	0,005	902,426	0,005	902,426	0,005	902,569	0,004	902,575	0,004
2895V	59,4	878,444	0,009	878,117	0,008	878,449	0,006	878,309	0,005	878,309	0,005	878,319	0,005
2896A	62,3	830,140	0,005	830,517	0,005	830,515	0,005	830,525	0,004	830,524	0,004	830,524	0,004
2896F	63,1	843,496	0,011	843,372	0,009	843,130	0,008	843,141	0,007	843,368	0,007	843,442	0,006
2874T	72,0	749,038	0,006	749,069	0,006	748,813	0,006	748,817	0,006	748,736	0,004	748,667	0,006
2899X	89,5	690,263	0,011	690,244	0,007	690,261	0,007	690,250	0,007	690,261	0,007	690,326	0,006
2900F	100,6	477,867	0,006	477,858	0,003	477,856	0,003	477,857	0,003	477,896	0,004	477,948	0,004
2900L	103,0	526,001	0,011	526,388	0,008	526,436	0,007	526,467	0,006	526,123	0,006	526,248	0,015
2900M	105,3	523,249	0,005	523,727	0,006	523,269	0,005	523,409	0,004	523,379	0,004	523,381	0,004
2900V	119,4	588,622	0,009	589,079	0,010	589,122	0,010	589,387	0,011	589,401	0,010	589,388	0,023
2913N	140,3	521,538	0,009	520,704	0,015	520,743	0,013	520,847	0,011	521,064	0,008	521,053	0,006
2913V	151,7	457,789	0,009	457,398	0,007	457,244	0,007	457,429	0,006	457,393	0,005	457,452	0,006
2914A	159,3	549,184	0,007	549,034	0,006	549,049	0,005	549,030	0,008	549,033	0,008	549,030	0,008
2914C	162,7	503,051	0,007	502,975	0,006	502,969	0,006	502,971	0,006	502,864	0,005	502,890	0,006
2914F	165,8	510,163	0,009	509,475	0,005	509,229	0,005	509,249	0,006	508,277	0,008	508,248	0,009
2914L	173,0	402,957	0,007	402,942	0,006	403,080	0,006	402,728	0,006	402,746	0,006	402,861	0,006
2914R	182,4	442,385	0,006	442,477	0,006	442,342	0,004	442,343	0,005	442,340	0,004	442,343	0,004
2905T	187,0	475,013	0,008	474,792	0,008	475,074	0,007	474,892	0,005	474,87	0,004	474,796	0,006
2919J	191,8	539,409	0,004	539,520	0,005	539,446	0,003	539,443	0,003	539,301	0,003	539,272	0,004
2919R	199,3	450,682	0,007	450,480	0,007	450,486	0,006	450,410	0,006	450,422	0,006	450,398	0,008
2920A	206,1	553,171	0,203	553,414	0,090	553,222	0,049	553,038	0,040	552,921	0,025	552,910	0,019
2920D	211,1	543,363	0,111	543,412	0,062	543,414	0,037	543,175	0,031	543,201	0,021	543,241	0,017
2920G	215,3	489,223	0,096	489,439	0,051	489,549	0,029	489,513	0,021	489,486	0,014	489,449	0,011
2954X	221,9	495,283	0,082	495,111	0,043	495,091	0,028	495,089	0,021	495,062	0,018	495,046	0,014
2955G	230,6	527,268	0,118	527,666	0,088	527,802	0,054	527,655	0,045	527,614	0,034	527,549	0,027
2951Z	233,3	593,200	0,109	593,148	0,050	593,132	0,027	593,193	0,017	593,228	0,013	593,243	0,010
2951V	237,9	585,871	0,125	585,067	0,067	585,080	0,040	585,337	0,065	585,546	0,030	585,673	0,024
2951M	247,2	571,866	0,088	571,629	0,070	571,557	0,053	571,725	0,040	571,779	0,030	571,841	0,024
2951E	252,1	522,236	0,189	522,020	0,089	521,868	0,046	521,913	0,027	521,855	0,026	521,864	0,020

**APÊNDICE E1 – Altitude Geométrica para o receptor L1L2 para pseudodistância e taxa de 5 segundos**

RN	Vetor (km)	10 min		20 min		30 min		40 min		50 min		60 min	
		$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)
2891R	2,6	544,943	0,183	545,125	0,089	545,246	0,071	545,321	0,064	545,28	0,055	545,340	0,046
2891V	6,9	567,013	0,433	566,161	0,288	566,775	0,247	566,934	0,187	566,926	0,156	566,949	0,133
2891Z	10,3	603,053	0,289	602,502	0,151	602,328	0,147	602,620	0,132	602,769	0,123	602,872	0,116
2892L	22,2	611,804	0,639	612,267	0,388	612,624	0,325	612,517	0,277	612,397	0,258	612,394	0,270
2892M	23,0	594,775	0,580	595,096	0,313	594,937	0,229	594,774	0,183	594,715	0,161	594,789	0,147
2892S	26,8	533,700	0,614	534,740	0,389	535,642	0,322	535,817	0,249	536,18	0,216	536,048	0,195
2892V	33,9	665,928	0,555	665,353	0,334	665,846	0,344	665,981	0,273	666,142	0,231	666,346	0,201
2893A	36,6	657,738	0,889	656,119	0,562	657,023	0,476	657,334	0,438	657,104	0,366	657,274	0,323
2893L	44,4	662,098	0,463	661,499	0,338	661,737	0,286	661,692	0,291	661,579	0,272	661,603	0,234
2893P	47,4	735,809	0,429	735,391	0,253	735,270	0,203	734,799	0,191	734,663	0,160	734,758	0,138
2893R	48,2	871,818	0,820	872,447	0,508	872,639	0,401	872,400	0,328	872,447	0,282	872,171	0,241
2895N	48,2	947,082	0,520	947,035	0,345	947,056	0,315	946,700	0,290	946,595	0,256	946,382	0,237
2895R	52,2	933,437	0,789	934,740	0,489	935,298	0,389	935,402	0,281	935,405	0,228	935,538	0,200
2895T	55,0	944,605	0,959	944,149	0,567	942,423	0,392	941,970	0,292	941,529	0,261	941,769	0,220
2895U	57,5	903,439	0,248	902,904	0,239	902,673	0,210	902,811	0,206	902,862	0,174	903,094	0,166
2895V	59,4	878,342	0,686	878,791	0,401	878,905	0,323	878,610	0,271	878,647	0,232	878,849	0,205
2896A	62,3	830,848	0,334	830,994	0,251	830,638	0,195	830,741	0,165	830,741	0,165	830,741	0,165
2896F	63,1	844,730	0,695	843,882	0,437	844,195	0,334	844,325	0,291	843,904	0,277	843,708	0,254
2874T	72,0	748,051	0,581	748,055	0,423	748,215	0,362	748,605	0,293	748,773	0,248	748,818	0,203
2899X	89,5	690,749	0,465	690,886	0,360	691,844	0,328	691,567	0,268	691,512	0,231	691,121	0,222
2900F	100,6	477,571	0,320	477,903	0,280	478,053	0,225	478,092	0,199	478,068	0,181	477,807	0,171
2900L	103,0	527,825	0,641	527,844	0,440	528,514	0,353	528,429	0,312	527,855	0,295	527,328	0,275
2900M	105,3	522,669	0,273	522,959	0,211	523,265	0,199	523,128	0,182	523,015	0,164	523,110	0,153
2900V	119,4	589,467	0,741	589,761	0,608	590,195	0,472	589,740	0,401	588,961	0,349	588,736	0,299
2913N	140,3	522,041	0,212	522,083	0,490	521,837	0,420	521,299	0,319	522,039	0,265	521,853	0,236
2913V	151,7	459,193	0,472	458,599	0,286	458,585	0,198	458,325	0,176	458,422	0,155	458,367	0,138
2914A	159,3	546,487	0,593	546,452	0,422	548,046	0,401	549,082	0,365	548,502	0,319	548,803	0,299
2914C	162,7	504,715	0,487	504,825	0,714	503,619	0,487	504,458	0,394	503,595	0,334	503,346	0,276
2914F	165,8	510,011	0,567	508,797	0,369	508,611	0,253	508,857	0,227	509,184	0,211	509,072	0,190
2914L	173,0	405,983	0,346	404,199	0,321	403,510	0,253	403,332	0,227	403,097	0,211	402,860	0,201
2914R	182,4	440,574	0,442	441,174	0,354	441,345	0,282	441,362	0,234	441,527	0,209	441,514	0,186
2905T	187,0	476,934	0,856	475,711	0,591	475,629	0,413	475,233	0,297	474,967	0,256	474,844	0,226
2919J	191,8	540,351	0,333	539,456	0,280	539,205	0,222	539,160	0,202	539,398	0,165	539,508	0,149
2919R	199,3	449,510	0,474	450,760	0,380	450,765	0,288	450,914	0,242	451,164	0,204	450,952	0,187
2920A	206,1	553,760	0,481	553,101	0,372	552,992	0,282	553,232	0,237	553,408	0,211	553,703	0,198
2920D	211,1	544,407	0,790	544,980	0,558	544,495	0,440	544,184	0,399	544,046	0,350	543,500	0,293
2920G	215,3	488,090	0,635	489,154	0,412	489,780	0,322	489,540	0,280	489,793	0,279	489,447	0,251
2954X	221,9	498,399	1,872	496,637	0,951	495,710	0,652	495,788	0,803	495,768	0,440	495,103	0,387
2955G	230,6	529,819	0,650	529,727	0,434	529,154	0,366	528,513	0,303	528,681	0,269	528,838	0,268
2951Z	233,3	595,385	0,444	594,209	0,341	594,207	0,282	594,410	0,232	594,357	0,197	594,224	0,166
2951V	237,9	585,801	0,520	585,971	0,348	586,097	0,325	586,277	0,276	586,399	0,236	586,260	0,218
2951M	247,2	574,840	0,669	573,727	0,623	572,929	0,488	572,659	0,410	572,805	0,346	571,945	0,302
2951E	252,1	518,256	0,631	520,158	0,372	520,577	0,270	520,936	0,248	521,506	0,251	521,525	0,242

### APÊNDICE E2 – Altitude Geométrica para o receptor L1L2 para pseudodistância e taxa de 15 segundos

RN	Vetor (km)	10 min		20 min		30 min		40 min		50 min		60 min	
		$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)
2891R	2,6	544,956	0,187	545,121	0,088	545,245	0,070	545,321	0,062	545,280	0,054	545,337	0,045
2891V	6,9	566,874	0,436	566,105	0,294	566,759	0,250	566,901	0,188	566,907	0,156	566,949	0,133
2891Z	10,3	602,612	0,171	602,489	0,150	602,336	0,146	602,618	0,131	602,762	0,122	602,876	0,116
2892L	22,2	611,941	0,613	612,285	0,391	612,599	0,326	612,489	0,278	612,370	0,259	612,362	0,271
2892M	23,0	595,031	0,478	595,114	0,314	594,915	0,232	594,777	0,184	594,724	0,162	594,791	0,147
2892S	26,8	534,170	0,536	534,798	0,380	535,659	0,309	535,828	0,248	536,179	0,215	536,041	0,195
2892V	33,9	665,949	0,521	665,343	0,335	665,875	0,344	665,989	0,271	666,155	0,230	666,353	0,201
2893A	36,6	657,969	0,902	656,052	0,558	656,981	0,474	657,306	0,437	657,093	0,366	657,270	0,324
2893L	44,4	662,095	0,453	661,481	0,334	661,724	0,286	661,685	0,290	661,569	0,272	661,595	0,234
2893P	47,4	735,767	0,430	735,398	0,254	735,266	0,203	734,786	0,193	734,648	0,160	734,737	0,139
2893R	48,2	871,903	0,801	872,489	0,514	872,642	0,393	872,371	0,321	872,445	0,279	872,162	0,241
2895N	48,2	947,046	0,495	947,037	0,346	946,981	0,315	946,679	0,289	946,530	0,255	946,373	0,237
2895R	52,2	933,497	1,340	934,749	0,486	935,331	0,386	935,368	0,280	935,377	0,225	935,564	0,197
2895T	55,0	944,563	0,884	944,101	0,566	942,415	0,391	941,965	0,293	941,518	0,259	941,758	0,223
2895U	57,5	903,386	0,236	902,902	0,239	902,664	0,210	902,770	0,205	902,891	0,174	903,083	0,166
2895V	59,4	878,361	0,674	878,822	0,407	878,894	0,329	878,625	0,270	878,652	0,231	878,874	0,205
2896A	62,3	830,847	0,329	830,989	0,250	830,634	0,194	830,745	0,165	830,737	0,167	830,737	0,167
2896F	63,1	844,738	0,640	843,879	0,427	844,194	0,331	844,321	0,288	843,898	0,274	843,707	0,251
2874T	72,0	748,143	0,572	748,035	0,421	748,237	0,359	748,612	0,291	748,776	0,248	748,932	0,222
2899X	89,5	690,735	0,459	690,862	0,356	691,857	0,327	691,535	0,268	691,486	0,231	691,124	0,211
2900F	100,6	477,515	0,321	477,897	0,279	478,043	0,224	478,078	0,199	478,065	0,181	477,799	0,170
2900L	103,0	527,846	0,639	527,834	0,439	528,519	0,352	528,421	0,314	527,842	0,298	527,321	0,275
2900M	105,3	522,729	0,271	522,962	0,210	523,257	0,196	523,186	0,180	523,013	0,164	523,106	0,152
2900V	119,4	589,584	0,664	589,758	0,607	590,175	0,471	589,709	0,401	588,933	0,347	588,690	0,296
2913N	140,3	520,741	0,715	521,997	0,499	521,876	0,419	521,373	0,319	522,088	0,266	521,897	0,236
2913V	151,7	459,119	0,481	458,602	0,283	458,589	0,212	458,311	0,175	458,421	0,154	458,357	0,137
2914A	159,3	546,388	0,596	546,426	0,422	548,086	0,397	549,078	0,361	548,501	0,317	548,840	0,300
2914C	162,7	504,719	0,483	504,855	0,715	503,560	0,496	504,422	0,397	503,597	0,335	503,318	0,277
2914F	165,8	510,016	0,544	508,824	0,369	508,610	0,257	508,874	0,230	509,182	0,212	509,078	0,190
2914L	173,0	405,916	0,353	404,178	0,320	403,532	0,253	403,350	0,226	403,115	0,212	402,855	0,201
2914R	182,4	440,566	0,443	441,205	0,356	441,351	0,283	441,371	0,234	441,526	0,209	441,513	0,186
2905T	187,0	476,579	0,911	475,517	0,602	475,532	0,403	475,179	0,299	474,915	0,258	474,823	0,227
2919J	191,8	540,323	0,333	539,427	0,279	539,205	0,222	539,168	0,202	539,403	0,166	539,500	0,150
2919R	199,3	449,539	0,470	450,764	0,378	450,751	0,288	450,912	0,242	451,162	0,204	450,920	0,188
2920A	206,1	553,767	0,476	553,090	0,370	552,971	0,278	553,219	0,234	553,406	0,211	553,704	0,196
2920D	211,1	544,400	0,784	544,945	0,561	544,478	0,442	544,195	0,402	544,018	0,351	543,521	0,293
2920G	215,3	488,088	0,650	489,142	0,412	489,780	0,322	489,538	0,279	489,783	0,279	489,437	0,251
2954X	221,9	498,398	1,874	495,946	0,946	495,741	0,650	495,779	0,801	495,764	0,440	495,094	0,387
2955G	230,6	529,807	0,668	529,648	0,437	529,055	0,363	528,457	0,301	528,646	0,268	528,807	0,267
2951Z	233,3	595,427	0,439	594,231	0,340	594,214	0,281	594,415	0,232	594,359	0,197	594,220	0,166
2951V	237,9	585,768	0,496	585,971	0,376	586,111	0,326	586,290	0,272	586,410	0,236	586,259	0,217
2951M	247,2	574,802	0,673	573,770	0,619	572,972	0,487	572,658	0,408	572,810	0,345	571,959	0,301
2951E	252,1	518,351	0,646	520,134	0,380	520,594	0,270	520,952	0,248	521,478	0,254	521,523	0,245

### APÊNDICE F1 – Altitude Geométrica para o receptor L1, usando fase e taxa de 5 segundos

RN	Vetor (km)	10 min		20 min		30 min		40 min		50 min		60 min	
		$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)
2891R	2,6	545,295	0,002	545,294	0,003	545,290	0,002	545,286	0,002	545,289	0,002	545,289	0,002
2891V	6,9	567,202	0,065	567,329	0,041	567,325	0,005	567,330	0,004	567,334	0,003	567,336	0,003
2891Z	10,3	603,330	0,007	603,326	0,005	603,323	0,004	603,326	0,003	603,325	0,002	603,326	0,003
2892L	22,2	612,171	0,045	611,998	0,004	611,994	0,004	611,990	0,004	611,989	0,004	611,986	0,004
2892M	23,0	594,551	0,044	594,655	0,003	594,650	0,003	594,639	0,003	594,640	0,003	594,639	0,003
2892S	26,8	535,227	0,052	535,345	0,024	535,479	0,023	535,464	0,014	535,487	0,011	535,471	0,006
2892V	33,9	665,886	0,123	666,028	0,055	666,064	0,040	666,066	0,029	666,095	0,021	666,123	0,019
2893A	36,6	656,267	0,124	656,971	0,084	656,751	0,050	656,754	0,039	656,763	0,033	656,761	0,029
2893L	44,4	662,138	0,076	662,334	0,007	662,344	0,008	662,431	0,015	662,389	0,012	662,307	0,009
2893P	47,4	735,239	0,145	735,224	0,055	735,214	0,037	735,151	0,030	735,184	0,022	735,145	0,019
2893R	48,2	872,198	0,114	872,717	0,064	872,690	0,045	872,800	0,033	872,882	0,025	872,905	0,020
2895N	48,2	945,732	0,227	945,786	0,223	945,917	0,170	945,935	0,135	945,965	0,104	946,162	0,080
2895R	52,2	936,332	0,351	935,978	0,169	935,114	0,097	935,435	0,071	935,846	0,061	935,501	0,073
2895T	55,0	941,816	0,067	941,294	0,051	941,450	0,010	941,465	0,008	941,463	0,009	941,350	0,016
2895U	57,5	902,720	0,115	902,592	0,005	902,826	0,034	902,705	0,042	902,582	0,038	902,539	0,030
2895V	59,4	878,479	0,118	878,558	0,081	878,695	0,055	878,623	0,038	878,489	0,027	878,404	0,017
2896A	62,3	830,449	0,196	830,609	0,097	830,808	0,051	830,816	0,034	830,835	0,026	830,812	0,022
2896F	63,1	844,470	0,216	843,555	0,138	843,466	0,070	843,531	0,052	843,602	0,051	843,497	0,049
2874T	72,0	747,650	0,234	748,615	0,139	748,475	0,099	748,540	0,098	748,444	0,082	748,341	0,078
2899X	89,5	690,619	0,126	690,394	0,076	690,187	0,060	690,292	0,048	690,343	0,039	690,342	0,031
2900F	100,6	478,801	0,234	479,045	0,121	478,819	0,077	478,721	0,065	478,438	0,062	478,323	0,059
2900L	103,0	525,451	0,103	526,064	0,075	526,254	0,052	526,488	0,040	526,593	0,033	526,603	0,031
2900M	105,3	522,870	0,116	523,754	0,102	523,818	0,084	523,769	0,063	523,677	0,050	523,601	0,044
2900V	119,4	588,815	0,423	589,958	0,182	589,287	0,110	588,660	0,132	588,373	0,114	587,865	0,104
2913N	140,3	521,647	0,144	521,088	0,101	521,216	0,075	521,258	0,055	521,210	0,045	521,161	0,042
2913V	151,7	457,611	0,200	459,272	0,181	458,644	0,129	458,330	0,111	457,925	0,097	457,674	0,082
2914A	159,3	549,154	0,235	548,014	0,155	548,874	0,105	548,879	0,073	548,945	0,059	548,881	0,038
2914C	162,7	502,827	0,340	503,069	0,241	502,863	0,198	503,272	0,231	503,614	0,175	503,630	0,146
2914F	165,8	509,814	0,516	508,949	0,257	508,922	0,177	508,218	0,164	507,250	0,170	506,588	0,127
2914L	173,0	402,982	0,662	403,049	0,396	404,266	0,285	404,212	0,217	403,495	0,185	403,220	0,158
2914R	182,4	440,768	0,546	440,785	0,402	441,290	0,375	441,478	0,497	441,411	0,520	440,386	0,532
2905T	187,0	474,321	0,199	474,855	0,121	474,789	0,089	474,706	0,070	474,778	0,062	474,596	0,049
2919J	191,8	539,386	0,098	540,127	0,127	540,314	0,118	540,090	0,088	540,131	0,079	539,848	0,071
2919R	199,3	448,537	0,216	449,252	0,155	450,695	0,144	451,057	0,100	451,098	0,074	451,261	0,060
2920A	206,1	552,558	0,549	553,151	0,325	552,319	0,206	552,225	0,143	552,273	0,108	552,295	0,088
2920D	211,1	546,836	0,158	545,314	0,255	544,267	0,149	544,141	0,117	544,555	0,096	543,872	0,150
2920G	215,3	491,130	0,823	486,573	0,336	488,240	0,789	488,972	0,562	487,555	0,391	488,391	0,309
2954X	221,9	495,418	0,172	495,292	0,105	495,128	0,080	495,022	0,058	495,283	0,066	495,196	0,058
2955G	230,6	526,687	0,239	526,317	0,267	527,730	0,199	527,825	0,114	527,739	0,084	527,513	0,061
2951Z	233,3	595,064	0,216	594,325	0,237	592,958	0,198	593,026	0,124	592,958	0,100	593,167	0,085
2951V	237,9	583,872	0,276	585,107	0,176	585,372	0,117	585,505	0,193	585,598	0,140	585,576	0,123
2951M	247,2	574,504	0,187	574,809	0,244	573,627	0,195	572,841	0,190	573,177	0,110	572,554	0,094
2951E	252,1	521,276	0,449	521,073	0,407	520,661	0,024	521,242	0,543	521,129	0,395	521,375	0,375

### APÊNDICE F2 – Altitude Geométrica para o receptor L1, usando fase e taxa de 15 segundos

RN	Vetor (km)	10 min		20 min		30 min		40 min		50 min		60 min	
		$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)
2891R	2,6	545,213	0,002	545,213	0,003	545,209	0,003	545,202	0,002	545,205	0,002	545,205	0,002
2891V	6,9	567,389	0,100	567,251	0,041	567,252	0,005	567,255	0,004	567,258	0,003	567,258	0,003
2891Z	10,3	603,335	0,143	603,244	0,006	603,241	0,004	603,244	0,003	603,243	0,003	603,244	0,003
2892L	22,2	612,120	0,004	611,941	0,020	611,918	0,004	611,914	0,004	611,914	0,004	611,910	0,004
2892M	23,0	594,481	0,045	594,583	0,003	594,577	0,003	594,565	0,003	594,565	0,003	594,562	0,002
2892S	26,8	535,149	0,053	535,414	0,005	535,416	0,022	535,398	0,013	535,421	0,010	535,472	0,006
2892V	33,9	665,786	0,123	665,969	0,054	665,998	0,040	666,000	0,028	666,028	0,020	666,054	0,019
2893A	36,6	656,215	0,130	656,886	0,083	656,665	0,050	656,675	0,038	656,681	0,033	656,683	0,029
2893L	44,4	662,081	0,076	662,259	0,007	662,269	0,008	662,357	0,015	662,318	0,011	662,307	0,009
2893P	47,4	735,158	0,144	735,136	0,055	735,137	0,036	735,076	0,029	735,109	0,022	735,071	0,019
2893R	48,2	872,168	0,116	872,646	0,066	872,614	0,045	872,726	0,033	872,800	0,025	872,823	0,020
2895N	48,2	945,673	0,221	945,702	0,222	945,828	0,167	945,854	0,135	945,883	0,104	946,084	0,080
2895R	52,2	936,312	0,335	935,971	0,166	935,060	0,095	935,383	0,070	935,800	0,060	935,834	0,055
2895T	55,0	941,595	0,074	941,228	0,051	941,383	0,010	941,398	0,008	941,395	0,009	941,278	0,016
2895U	57,5	902,593	0,112	902,510	0,005	902,752	0,035	902,631	0,043	902,506	0,038	902,466	0,031
2895V	59,4	878,405	0,112	878,481	0,079	878,617	0,054	878,533	0,038	878,400	0,026	878,322	0,017
2896A	62,3	830,370	0,192	830,546	0,096	830,789	0,008	830,730	0,034	830,747	0,026	830,724	0,022
2896F	63,1	844,202	0,287	843,474	0,139	843,387	0,071	843,464	0,053	843,528	0,052	843,431	0,050
2874T	72,0	747,599	0,238	748,542	0,138	748,405	0,098	748,554	0,097	748,454	0,081	748,358	0,077
2899X	89,5	690,620	0,125	690,315	0,076	690,115	0,059	690,221	0,048	690,273	0,039	690,270	0,031
2900F	100,6	478,444	0,194	478,966	0,119	478,746	0,076	478,643	0,066	478,365	0,062	478,322	0,058
2900L	103,0	525,378	0,100	525,996	0,075	526,174	0,052	526,406	0,040	526,509	0,033	526,516	0,031
2900M	105,3	522,772	0,113	523,654	0,102	523,721	0,085	523,672	0,063	523,584	0,051	523,516	0,045
2900V	119,4	588,737	0,439	589,934	0,182	589,287	0,110	588,664	0,132	588,378	0,114	587,854	0,104
2913N	140,3	521,434	0,141	521,005	0,101	521,140	0,075	521,186	0,055	521,131	0,045	521,080	0,043
2913V	151,7	457,712	0,192	459,181	0,181	458,550	0,129	458,258	0,111	457,850	0,097	457,696	0,080
2914A	159,3	549,041	0,234	547,957	0,154	548,791	0,104	548,793	0,072	548,861	0,058	548,883	0,038
2914C	162,7	502,776	0,339	503,089	0,240	503,435	0,227	503,271	0,232	503,626	0,174	503,635	0,145
2914F	165,8	509,897	0,490	508,877	0,257	508,852	0,177	508,121	0,165	507,173	0,170	506,586	0,127
2914L	173,0	402,642	0,694	403,045	0,393	404,248	0,285	404,170	0,216	403,640	0,175	403,472	0,146
2914R	182,4	440,926	0,531	440,714	0,397	441,316	0,374	441,495	0,495	441,432	0,518	440,425	0,532
2905T	187,0	474,236	0,198	474,783	0,121	474,714	0,089	474,635	0,070	474,704	0,062	474,594	0,049
2919J	191,8	539,282	0,094	540,067	0,129	540,230	0,119	540,013	0,088	540,058	0,080	539,764	0,071
2919R	199,3	448,370	0,205	449,202	0,152	450,620	0,143	450,975	0,097	451,022	0,074	451,186	0,059
2920A	206,1	552,581	0,613	553,035	0,317	552,258	0,203	552,167	0,142	552,206	0,107	552,224	0,087
2920D	211,1	546,824	0,159	545,302	0,253	544,260	0,149	544,140	0,118	544,556	0,097	543,850	0,156
2920G	215,3	491,227	0,826	486,619	0,338	488,296	0,786	488,915	0,560	487,533	0,389	488,385	0,309
2954X	221,9	495,343	0,172	495,215	0,105	495,096	0,083	495,159	0,074	495,206	0,066	495,116	0,058
2955G	230,6	526,641	0,232	526,243	0,264	527,667	0,197	527,741	0,114	527,657	0,084	527,441	0,061
2951Z	233,3	594,951	0,214	594,228	0,236	592,887	0,195	592,950	0,122	592,886	0,100	593,096	0,085
2951V	237,9	583,924	0,270	585,071	0,177	585,285	0,116	585,507	0,195	585,597	0,140	585,574	0,124
2951M	247,2	574,053	0,218	574,739	0,244	573,568	0,196	572,859	0,192	573,114	0,130	572,558	0,094
2951E	252,1	521,171	0,447	520,859	0,383	520,496	0,224	521,315	0,550	521,107	0,394	521,362	0,376

### APÊNDICE G1 – Altitude Geométrica para o receptor L1, usando a pseudodistância e taxa de 5 segundos

RN	Vetor (km)	10 min		20 min		30 min		40 min		50 min		60 min	
		$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)
2891R	2,6	546,137	0,212	546,127	0,140	546,034	0,112	545,985	0,099	545,849	0,095	545,546	0,094
2891V	6,9	566,537	0,346	566,382	0,232	565,629	0,155	565,428	0,130	565,677	0,120	565,924	0,112
2891Z	10,3	602,322	0,188	602,576	0,137	602,480	0,104	602,582	0,091	602,618	0,083	602,754	0,081
2892L	22,2	611,514	0,238	611,602	0,180	611,611	0,164	611,655	0,152	611,726	0,148	611,867	0,154
2892M	23,0	596,046	0,264	596,145	0,198	596,064	0,157	595,973	0,129	595,915	0,112	595,804	0,099
2892S	26,8	534,836	0,189	534,701	0,138	534,849	0,123	534,876	0,116	534,834	0,109	534,848	0,106
2892V	33,9	664,979	0,272	665,116	0,195	665,345	0,150	665,359	0,125	665,413	0,108	665,416	0,096
2893A	36,6	656,814	0,297	657,277	0,199	657,432	0,178	657,581	0,153	657,693	0,133	657,763	0,126
2893L	44,4	662,120	0,245	661,971	0,192	661,992	0,168	662,097	0,164	662,28	0,164	662,515	0,150
2893P	47,4	735,407	0,167	735,261	0,108	735,318	0,094	735,239	0,091	734,91	0,099	734,695	0,101
2893R	48,2	872,889	0,414	872,163	0,325	872,135	0,258	871,952	0,209	871,89	0,178	871,833	0,151
2895N	48,2	946,303	0,233	946,250	0,180	946,055	0,147	945,906	0,131	945,835	0,118	945,898	0,109
2895R	52,2	935,643	0,291	935,526	0,211	935,611	0,168	935,814	0,145	935,945	0,123	935,902	0,113
2895T	55,0	942,836	0,539	943,356	0,367	943,276	0,261	943,040	0,208	942,9	0,177	942,860	0,151
2895U	57,5	904,004	0,199	903,063	0,125	903,097	0,103	903,064	0,093	902,979	0,091	902,664	0,092
2895V	59,4	877,675	0,416	877,793	0,296	877,686	0,230	876,770	0,161	876,929	0,141	877,159	0,134
2896A	62,3	830,215	0,214	829,963	0,138	830,028	0,113	830,083	0,098	830,171	0,090	830,370	0,085
2896F	63,1	845,426	0,309	845,316	0,233	845,159	0,198	844,879	0,187	844,561	0,171	844,345	0,156
2874T	72,0	749,499	0,324	749,389	0,217	748,927	0,176	748,695	0,161	748,649	0,155	748,827	0,135
2899X	89,5	690,071	0,348	690,474	0,297	691,157	0,284	691,410	0,241	691,447	0,194	691,583	0,169
2900F	100,6	478,478	0,181	478,284	0,133	478,335	0,114	478,241	0,099	477,922	0,100	477,677	0,100
2900L	103,0	526,223	0,398	526,343	0,288	525,882	0,213	525,096	0,144	525,19	0,122	525,416	0,113
2900M	105,3	523,580	0,204	523,484	0,156	523,775	0,131	523,830	0,118	523,904	0,112	523,957	0,106
2900V	119,4	589,281	0,464	588,991	0,222	589,026	0,191	589,226	0,183	589,305	0,162	589,366	0,142
2913N	140,3	521,630	0,411	522,190	0,316	522,546	0,269	522,491	0,211	522,455	0,175	522,540	0,150
2913V	151,7	456,780	0,251	456,942	0,166	456,926	0,138	457,038	0,121	457,173	0,109	457,264	0,096
2914A	159,3	548,440	0,280	548,674	0,212	548,799	0,170	549,020	0,152	549,218	0,138	549,410	0,130
2914C	162,7	504,626	0,346	504,332	0,277	503,945	0,240	503,866	0,199	503,619	0,175	503,353	0,157
2914F	165,8	509,668	0,284	509,750	0,219	509,886	0,185	508,007	0,288	508,139	0,278	508,465	0,265
2914L	173,0	406,061	0,236	406,142	0,180	405,522	0,229	405,085	0,209	404,722	0,186	404,345	0,170
2914R	182,4	443,973	0,229	443,874	0,179	443,799	0,153	443,662	0,140	443,583	0,125	443,631	0,110
2905T	187,0	475,692	0,487	476,589	0,375	476,630	0,273	476,490	0,211	476,508	0,182	476,673	0,154
2919J	191,8	539,895	0,151	539,767	0,113	539,732	0,097	539,572	0,093	539,6	0,086	539,681	0,080
2919R	199,3	450,277	0,442	449,864	0,278	448,654	0,163	448,673	0,163	448,899	0,159	449,106	0,149
2920A	206,1	554,474	0,363	554,284	0,241	553,959	0,194	553,927	0,157	554,107	0,133	554,408	0,116
2920D	211,1	545,515	0,480	544,630	0,355	544,060	0,280	543,717	0,236	543,445	0,200	543,383	0,164
2920G	215,3	490,800	0,289	490,817	0,216	491,199	0,176	488,212	0,474	489,107	0,425	489,727	0,370
2954X	221,9	497,945	0,583	497,337	0,355	497,078	0,251	496,996	0,199	497,07	0,161	496,959	0,142
2955G	230,6	528,138	0,183	528,157	0,173	527,965	0,143	527,781	0,126	527,535	0,123	527,585	0,119
2951Z	233,3	592,158	0,229	591,619	0,169	591,676	0,152	591,982	0,141	592,216	0,137	592,484	0,126
2951V	237,9	586,132	0,310	585,767	0,209	585,967	0,152	586,172	0,147	586,337	0,127	586,477	0,114
2951M	247,2	574,326	0,464	573,376	0,334	572,415	0,258	571,442	0,191	571,642	0,156	572,224	0,140
2951E	252,1	522,752	0,407	520,774	0,437	520,474	0,342	520,827	0,290	521,693	0,245	522,379	0,208

### APÊNDICE G2 – Altitude Geométrica para o receptor L1, usando a pseudodistância e taxa de 15 segundos

RN	Vetor (km)	10 min		20 min		30 min		40 min		50 min		60 min	
		$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)	$h$ (m)	$\sigma_h$ (m)
2891R	2,6	546,179	0,198	546,130	0,137	546,032	0,110	545,974	0,097	545,837	0,094	545,538	0,094
2891V	6,9	566,756	0,342	566,431	0,233	565,490	0,150	565,388	0,127	565,628	0,120	565,923	0,112
2891Z	10,3	602,278	0,181	602,550	0,137	602,486	0,105	602,574	0,091	602,619	0,082	602,750	0,080
2892L	22,2	611,580	0,245	611,625	0,180	611,615	0,165	611,665	0,152	611,746	0,149	611,887	0,145
2892M	23,0	596,035	0,267	596,131	0,202	596,063	0,161	595,980	0,130	595,923	0,111	595,815	0,099
2892S	26,8	534,791	0,187	534,650	0,137	534,825	0,124	534,857	0,116	534,818	0,108	534,844	0,106
2892V	33,9	664,960	0,269	665,122	0,197	665,335	0,151	665,353	0,126	665,409	0,109	665,414	0,096
2893A	36,6	656,847	0,292	657,266	0,200	657,413	0,177	657,557	0,153	657,689	0,133	657,743	0,126
2893L	44,4	662,171	0,249	662,017	0,194	662,017	0,169	662,117	0,165	662,304	0,165	662,544	0,151
2893P	47,4	735,436	0,159	735,285	0,109	735,339	0,095	735,234	0,092	734,932	0,099	734,728	0,102
2893R	48,2	872,821	0,418	872,175	0,320	872,136	0,252	871,936	0,206	871,859	0,174	871,868	0,150
2895N	48,2	946,375	0,235	946,258	0,181	946,066	0,148	945,894	0,133	945,839	0,119	945,886	0,110
2895R	52,2	935,443	0,304	935,457	0,214	935,529	0,174	935,768	0,145	935,911	0,124	935,881	0,113
2895T	55,0	943,013	0,563	943,385	0,376	943,282	0,264	943,040	0,212	942,897	0,178	942,841	0,153
2895U	57,5	904,016	0,204	902,999	0,123	903,040	0,104	903,017	0,093	902,892	0,099	902,627	0,096
2895V	59,4	877,722	0,410	877,785	0,297	877,614	0,230	876,664	0,160	876,913	0,144	877,165	0,136
2896A	62,3	830,234	0,212	829,910	0,136	829,972	0,112	830,039	0,099	830,127	0,091	830,346	0,086
2896F	63,1	845,511	0,310	845,369	0,233	845,190	0,199	844,883	0,188	844,569	0,172	844,348	0,157
2874T	72,0	749,487	0,316	749,431	0,211	748,943	0,174	748,698	0,162	748,667	0,156	748,728	0,148
2899X	89,5	690,182	0,361	690,429	0,296	691,097	0,282	691,383	0,240	691,426	0,194	691,561	0,168
2900F	100,6	478,545	0,184	478,277	0,131	478,331	0,114	478,247	0,099	477,962	0,101	477,695	0,101
2900L	103,0	526,188	0,396	526,372	0,286	525,891	0,211	525,173	0,145	525,203	0,121	525,423	0,113
2900M	105,3	523,546	0,207	523,494	0,157	523,737	0,131	523,810	0,119	523,890	0,113	523,956	0,107
2900V	119,4	589,248	0,423	589,052	0,224	589,096	0,190	589,267	0,181	589,336	0,163	589,403	0,140
2913N	140,3	521,587	0,408	522,028	0,313	522,535	0,269	522,497	0,212	522,462	0,174	522,541	0,150
2913V	151,7	456,779	0,252	456,929	0,166	456,900	0,139	457,047	0,121	457,167	0,109	457,261	0,096
2914A	159,3	548,478	0,282	548,713	0,211	548,831	0,167	549,045	0,149	549,252	0,136	549,433	0,129
2914C	162,7	504,503	0,381	504,338	0,281	503,950	0,243	503,863	0,202	503,594	0,177	503,330	0,158
2914F	165,8	509,631	0,288	509,763	0,220	509,890	0,185	507,992	0,288	508,179	0,277	508,496	0,264
2914L	173,0	406,046	0,242	406,104	0,182	405,500	0,229	405,062	0,209	404,704	0,186	404,319	0,169
2914R	182,4	443,988	0,223	443,882	0,179	443,778	0,152	443,638	0,139	443,549	0,124	443,120	0,152
2905T	187,0	475,702	0,473	476,611	0,369	476,682	0,271	476,527	0,209	476,548	0,180	476,689	0,153
2919J	191,8	539,883	0,153	539,739	0,112	539,735	0,097	539,555	0,093	539,583	0,086	539,647	0,081
2919R	199,3	450,279	0,430	449,827	0,274	448,649	0,163	448,672	0,163	448,898	0,158	449,097	0,148
2920A	206,1	554,468	0,363	554,313	0,241	553,984	0,196	553,919	0,158	554,126	0,135	554,432	0,118
2920D	211,1	545,550	0,476	544,684	0,351	544,125	0,279	543,751	0,235	543,464	0,200	543,404	0,164
2920G	215,3	490,771	0,291	490,796	0,218	491,204	0,178	488,212	0,472	489,093	0,423	489,713	0,369
2954X	221,9	497,972	0,591	497,359	0,357	497,068	0,253	497,028	0,199	497,091	0,161	496,968	0,143
2955G	230,6	528,171	0,187	528,177	0,216	528,007	0,142	527,744	0,128	527,553	0,123	527,595	0,118
2951Z	233,3	592,116	0,230	591,614	0,167	591,666	0,152	591,986	0,141	592,224	0,136	592,491	0,125
2951V	237,9	586,094	0,309	585,774	0,208	585,908	0,173	586,107	0,146	586,267	0,125	586,458	0,114
2951M	247,2	574,308	0,467	573,365	0,331	572,506	0,259	571,459	0,192	571,680	0,154	572,241	0,138
2951E	252,1	522,796	0,408	520,800	0,433	520,516	0,339	520,839	0,289	521,642	0,250	522,341	0,213

### APÊNDICE H1 – Altitude Ortométrica para o receptor L1L2, usando L0 e taxa de 15 segundos

RN	Vetor	10 min		20 min		30 min		40 min		50 min		60 min	
		$H_{GPS}$	$\sigma_{H_{GPS}}$	$H_{GPS}$	$\sigma_{H_{GPS}}$	$H_{GPS}$	$\sigma_{H_{GPS}}$	$H_{GPS}$	$\sigma_{H_{GPS}}$	$H_{GPS}$	$\sigma_{H_{GPS}}$	$H_{GPS}$	$\sigma_{H_{GPS}}$
		(km)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
2891R	2,6	549,5256	0,107	549,5229	0,105	549,5204	0,105	549,5164	0,105	549,5209	0,105	549,5204	0,105
2891V	6,9	571,5821	0,132	571,5755	0,130	571,5907	0,130	571,595	0,130	571,5975	0,130	571,5979	0,130
2891Z	10,3	607,5834	0,156	607,5837	0,154	607,5742	0,154	607,5762	0,154	607,5759	0,154	607,5778	0,154
2892L	22,2	616,3254	0,236	616,325	0,235	616,3257	0,235	616,3251	0,235	616,3275	0,235	616,3276	0,235
2892M	23,0	598,9509	0,241	598,9586	0,240	598,9592	0,240	598,9603	0,240	598,963	0,240	598,9622	0,240
2892S	26,8	539,9807	0,262	539,9904	0,261	540,0714	0,261	539,9594	0,261	540,0363	0,261	540,0485	0,261
2892V	33,9	670,3574	0,295	670,125	0,294	670,1354	0,294	670,3191	0,294	670,3153	0,294	670,3162	0,294
2893A	36,6	661,179	0,305	661,1963	0,304	661,2244	0,304	661,2557	0,304	661,2808	0,304	661,232	0,304
2893L	44,4	666,7598	0,330	666,7635	0,329	666,7648	0,329	666,7676	0,329	666,7722	0,329	666,7747	0,329
2893P	47,4	739,2745	0,338	739,2716	0,337	739,2596	0,337	739,3769	0,337	739,3914	0,337	739,4139	0,337
2893R	48,2	877,0557	0,340	877,2685	0,339	877,2766	0,339	877,22	0,339	877,2234	0,339	877,1357	0,339
2895N	48,2	950,1645	0,340	950,1606	0,339	950,4109	0,339	950,4401	0,339	950,5223	0,339	950,5475	0,339
2895R	52,2	939,9615	0,348	939,9777	0,348	939,9912	0,348	940,0129	0,348	940,02	0,348	939,5648	0,348
2895T	55,0	946,4099	0,354	945,9305	0,353	945,9012	0,353	945,9005	0,353	945,8948	0,353	945,8743	0,353
2895U	57,5	906,8165	0,358	906,8506	0,357	907,0132	0,357	907,0135	0,357	907,1567	0,357	907,1628	0,357
2895V	59,4	883,0658	0,361	882,7388	0,360	883,0705	0,360	882,931	0,360	882,9309	0,360	882,9406	0,360
2896A	62,3	834,8539	0,365	835,2316	0,364	835,2288	0,364	835,2394	0,364	835,2386	0,364	835,2386	0,364
2896F	63,1	848,5142	0,366	848,3902	0,365	848,1483	0,365	848,1593	0,365	848,3857	0,365	848,46	0,365
2874T	72,0	754,1208	0,375	754,1516	0,375	753,8959	0,375	753,8995	0,375	753,8185	0,375	753,7498	0,375
2899X	89,5	695,837	0,385	695,8173	0,384	695,835	0,384	695,8235	0,384	695,8348	0,384	695,8997	0,384
2900F	100,6	483,7559	0,388	483,7463	0,387	483,7448	0,387	483,7458	0,387	483,7849	0,387	483,837	0,387
2900L	103,0	531,9569	0,388	532,3444	0,387	532,3922	0,387	532,423	0,387	532,079	0,387	532,2036	0,388
2900M	105,3	529,243	0,388	529,7211	0,388	529,2631	0,388	529,4029	0,388	529,3732	0,388	529,3756	0,388
2900V	119,4	594,7833	0,391	595,24	0,390	595,2835	0,390	595,5482	0,390	595,5624	0,390	595,5487	0,390
2913N	140,3	527,9494	0,394	527,1158	0,394	527,1542	0,394	527,2585	0,394	527,4754	0,394	527,4647	0,394
2913V	151,7	464,2228	0,398	463,832	0,397	463,6779	0,397	463,8629	0,397	463,8264	0,397	463,8862	0,397
2914A	159,3	555,6544	0,401	555,5044	0,400	555,5188	0,400	555,4997	0,400	555,5031	0,400	555,4996	0,400
2914C	162,7	509,5277	0,402	509,4518	0,402	509,4461	0,402	509,4475	0,402	509,3409	0,402	509,3668	0,402
2914F	165,8	516,6492	0,404	515,9618	0,403	515,7158	0,403	515,7355	0,403	514,7635	0,403	514,7342	0,403
2914L	173,0	409,4699	0,407	409,4542	0,407	409,5922	0,407	409,2402	0,407	409,2588	0,407	409,3733	0,407
2905T	187,0	481,572	0,416	481,3509	0,415	481,6328	0,415	481,4508	0,415	481,4283	0,415	481,3549	0,415
2919J	191,8	546,0062	0,419	546,1172	0,419	546,0433	0,419	546,0406	0,419	545,8978	0,419	545,8694	0,419
2919R	199,3	457,3169	0,425	457,1151	0,425	457,1214	0,425	457,0446	0,425	457,0568	0,425	457,0331	0,425
2920A	206,1	559,8582	0,476	560,1008	0,439	559,9086	0,433	559,7246	0,432	559,6078	0,431	559,5969	0,431
2920D	211,1	550,0724	0,449	550,1219	0,439	550,1232	0,436	549,8843	0,436	549,9105	0,435	549,951	0,435
2920G	215,3	495,955	0,449	496,1708	0,441	496,2814	0,439	496,2447	0,439	496,2186	0,439	496,1812	0,439
2954X	221,9	502,0562	0,453	501,8843	0,447	501,8638	0,446	501,8624	0,445	501,8352	0,445	501,8191	0,445
2955G	230,6	534,121	0,469	534,5193	0,462	534,655	0,457	534,5085	0,456	534,4675	0,455	534,4028	0,455
2951Z	233,3	600,0865	0,470	600,035	0,460	600,0193	0,458	600,0796	0,457	600,1147	0,457	600,1302	0,457
2951V	237,9	592,7844	0,479	591,9806	0,467	591,994	0,464	592,2507	0,466	592,4595	0,463	592,587	0,462
2951M	247,2	578,795	0,481	578,5582	0,478	578,4858	0,475	578,6547	0,474	578,7079	0,473	578,7704	0,473
2951E	252,1	529,1912	0,515	528,976	0,486	528,824	0,480	528,8686	0,479	528,8104	0,479	528,8193	0,479

## APÊNDICE H2 – Altitude Ortométrica para o receptor L1L2, usando a pseudodistância e taxa de 15 segundos

RN	Vetor (km)	10 min		20 min		30 min		40 min		50 min		60 min	
		$H_{GPS}$	$\sigma_{H_{GPS}}$	$H_{GPS}$	$\sigma_{H_{GPS}}$	$H_{GPS}$	$\sigma_{H_{GPS}}$	$H_{GPS}$	$\sigma_{H_{GPS}}$	$H_{GPS}$	$\sigma_{H_{GPS}}$	$H_{GPS}$	$\sigma_{H_{GPS}}$
		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
2891R	2,6	549,2929	0,215	549,4578	0,139	549,5824	0,128	549,6580	0,124	549,6173	0,120	549,6737	0,117
2891V	6,9	571,2397	0,455	570,4714	0,322	571,1252	0,282	571,2666	0,229	571,2734	0,204	571,3150	0,187
2891Z	10,3	606,9979	0,232	606,8753	0,217	606,7221	0,214	607,0037	0,204	607,1481	0,198	607,2625	0,194
2892L	22,2	616,3993	0,657	616,7431	0,457	617,0577	0,403	616,9473	0,365	616,8287	0,351	616,8205	0,359
2892M	23,0	599,4913	0,535	599,5749	0,396	599,3752	0,334	599,2371	0,303	599,1849	0,290	599,2518	0,282
2892S	26,8	538,6945	0,596	539,3227	0,461	540,1833	0,405	540,3528	0,360	540,7035	0,338	540,5651	0,326
2892V	33,9	670,4745	0,598	669,8691	0,446	670,4003	0,453	670,5149	0,400	670,6803	0,374	670,8787	0,356
2893A	36,6	662,5339	0,953	660,6166	0,636	661,5460	0,564	661,8709	0,533	661,6579	0,476	661,8342	0,445
2893L	44,4	666,6291	0,561	666,0153	0,469	666,2585	0,436	666,2193	0,439	666,1032	0,427	666,1288	0,404
2893P	47,4	740,3168	0,547	739,9477	0,422	739,8162	0,394	739,3361	0,389	739,1980	0,374	739,2871	0,365
2893R	48,2	876,4546	0,870	877,0401	0,616	877,1939	0,520	876,9223	0,467	876,9966	0,439	876,7134	0,416
2895N	48,2	951,6279	0,600	951,6183	0,485	951,5630	0,463	951,2608	0,446	951,1118	0,425	950,9550	0,414
2895R	52,2	938,0838	1,385	939,3352	0,598	939,9172	0,520	939,9544	0,447	939,9637	0,415	940,1502	0,400
2895T	55,0	949,1486	0,952	948,6869	0,667	947,0008	0,527	946,5503	0,459	946,1036	0,438	946,3433	0,418
2895U	57,5	907,9734	0,429	907,4898	0,430	907,2514	0,415	907,3579	0,412	907,4781	0,398	907,6700	0,395
2895V	59,4	882,9832	0,765	883,4440	0,544	883,5161	0,488	883,2470	0,451	883,2742	0,429	883,4963	0,415
2896A	62,3	835,5614	0,491	835,7029	0,442	835,3477	0,413	835,4590	0,400	835,4509	0,401	835,4509	0,401
2896F	63,1	849,7563	0,737	848,8975	0,563	849,2116	0,493	849,3388	0,466	848,9162	0,457	848,7250	0,444
2874T	72,0	753,2262	0,684	753,1176	0,564	753,3194	0,519	753,6950	0,475	753,8586	0,450	754,0146	0,436
2899X	89,5	696,3085	0,599	696,4353	0,524	697,4309	0,505	697,1083	0,469	697,0596	0,449	696,6974	0,439
2900F	100,6	483,4036	0,503	483,7858	0,477	483,9318	0,447	483,9671	0,436	483,9542	0,428	483,6874	0,423
2900L	103,0	533,8020	0,748	533,7898	0,586	534,4754	0,524	534,3768	0,499	533,7978	0,490	533,2773	0,475
2900M	105,3	528,7227	0,474	528,9560	0,442	529,2509	0,435	529,1802	0,428	529,0075	0,421	529,0999	0,417
2900V	119,4	595,7450	0,771	595,9196	0,722	596,3362	0,611	595,8700	0,560	595,0943	0,522	594,8516	0,490
2913N	140,3	527,1524	0,817	528,4087	0,636	528,2880	0,576	527,7847	0,507	528,4991	0,475	528,3084	0,460
2913V	151,7	465,5534	0,624	465,0364	0,488	465,0228	0,450	464,7453	0,435	464,8545	0,426	464,7911	0,421
2914A	159,3	552,8585	0,718	552,8956	0,582	554,5562	0,564	555,5482	0,539	554,9714	0,511	555,3104	0,501
2914C	162,7	511,1963	0,628	511,3322	0,820	510,0374	0,638	510,8991	0,565	510,0740	0,523	509,7951	0,488
2914F	165,8	516,5026	0,677	515,3105	0,547	515,0967	0,478	515,3607	0,465	515,6690	0,456	515,5645	0,446
2914L	173,0	412,4289	0,539	410,6911	0,518	410,0451	0,479	409,8624	0,466	409,6273	0,459	409,3672	0,454
2905T	187,0	483,1377	1,001	482,0751	0,732	482,0908	0,579	481,7378	0,512	481,4734	0,489	481,3812	0,474
2919J	191,8	546,9206	0,536	546,0238	0,504	545,8025	0,475	545,7651	0,466	546,0003	0,451	546,0975	0,445
2919R	199,3	456,1738	0,634	457,3988	0,569	457,3855	0,514	457,5465	0,489	457,7967	0,472	457,5551	0,465
2920A	206,1	560,4535	0,642	559,7767	0,568	559,6575	0,513	559,9058	0,490	560,0927	0,480	560,3905	0,473
2920D	211,1	551,1101	0,896	551,6544	0,710	551,1876	0,620	550,9042	0,592	550,7273	0,559	550,2303	0,525
2920G	215,3	494,8205	0,784	495,8746	0,602	496,5120	0,544	496,2700	0,520	496,5150	0,520	496,1694	0,506
2954X	221,9	505,1712	1,926	502,7192	1,046	502,5139	0,788	502,5521	0,917	502,5376	0,626	501,8675	0,590
2955G	230,6	536,6601	0,808	536,5015	0,631	535,9085	0,582	535,3106	0,545	535,4994	0,527	535,6607	0,527
2951Z	233,3	602,3137	0,634	601,1177	0,570	601,1007	0,537	601,3022	0,513	601,2457	0,498	601,1068	0,486
2951V	237,9	592,6823	0,678	592,8849	0,596	593,0244	0,566	593,2043	0,537	593,3234	0,519	593,1727	0,511
2951M	247,2	581,7315	0,822	580,6989	0,779	579,9015	0,679	579,5869	0,625	579,7392	0,586	578,8881	0,561
2951E	252,1	525,3069	0,804	527,0894	0,612	527,5491	0,550	527,9080	0,539	528,4331	0,542	528,4784	0,538

### APÊNDICE I1 – Altitude Ortométrica para o receptor L1, usando L0 e taxa de 15 segundos

RN	Vetor (km)	10 min		20 min		30 min		40 min		50 min		60 min	
		$H_{GPS}$	$\sigma_{H_{GPS}}$	$H_{GPS}$	$\sigma_{H_{GPS}}$	$H_{GPS}$	$\sigma_{H_{GPS}}$	$H_{GPS}$	$\sigma_{H_{GPS}}$	$H_{GPS}$	$\sigma_{H_{GPS}}$	$H_{GPS}$	$\sigma_{H_{GPS}}$
		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
2891R	2,6	549,5503	0,107	549,5496	0,105	549,5464	0,105	549,5387	0,105	549,542	0,105	549,542	0,105
2891V	6,9	571,7551	0,165	571,617	0,136	571,6178	0,130	571,6208	0,130	571,6236	0,130	571,624	0,130
2891Z	10,3	607,7208	0,211	607,6298	0,155	607,6268	0,154	607,6296	0,154	607,6287	0,154	607,630	0,154
2892L	22,2	616,5786	0,236	616,3997	0,236	616,3765	0,235	616,3727	0,235	616,3721	0,235	616,369	0,235
2892M	23,0	598,9418	0,245	599,0436	0,240	599,0369	0,240	599,0253	0,240	599,025	0,240	599,022	0,240
2892S	26,8	539,6732	0,267	539,9387	0,261	539,9403	0,262	539,9221	0,261	539,9453	0,261	539,996	0,261
2892V	33,9	670,3116	0,319	670,4946	0,298	670,5242	0,296	670,5255	0,295	670,5535	0,294	670,580	0,294
2893A	36,6	660,7801	0,331	661,451	0,315	661,2301	0,308	661,2395	0,306	661,2457	0,306	661,248	0,305
2893L	44,4	666,6154	0,338	666,7927	0,329	666,8029	0,329	666,8912	0,329	666,8517	0,329	666,842	0,329
2893P	47,4	739,708	0,367	739,6857	0,341	739,6872	0,339	739,626	0,338	739,6594	0,338	739,621	0,337
2893R	48,2	876,7193	0,359	877,197	0,345	877,1656	0,342	877,2772	0,340	877,3518	0,340	877,375	0,339
2895N	48,2	950,2546	0,405	950,2831	0,405	950,41	0,378	950,436	0,365	950,4651	0,354	950,666	0,348
2895R	52,2	940,899	0,484	940,5574	0,385	939,6465	0,360	939,9697	0,355	940,3867	0,353	940,421	0,352
2895T	55,0	946,1806	0,361	945,8133	0,357	945,9689	0,353	945,9833	0,353	945,9808	0,353	945,864	0,353
2895U	57,5	907,1808	0,375	907,0975	0,357	907,3392	0,359	907,2183	0,360	907,0933	0,359	907,054	0,359
2895V	59,4	883,0265	0,378	883,103	0,369	883,2393	0,364	883,1547	0,362	883,0214	0,361	882,944	0,361
2896A	62,3	835,0838	0,412	835,2606	0,377	835,5032	0,364	835,4442	0,366	835,4609	0,365	835,439	0,365
2896F	63,1	849,2196	0,465	848,4919	0,391	848,4053	0,372	848,4818	0,369	848,5456	0,369	848,449	0,369
2874T	72,0	752,6818	0,445	753,6251	0,399	753,4874	0,387	753,6371	0,387	753,5367	0,383	753,441	0,382
2899X	89,5	696,194	0,405	695,8889	0,392	695,6888	0,389	695,7941	0,387	695,8462	0,386	695,843	0,385
2900F	100,6	484,3325	0,434	484,8552	0,405	484,635	0,394	484,5314	0,392	484,2538	0,392	484,211	0,391
2900L	103,0	531,334	0,401	531,9518	0,395	532,1298	0,391	532,3617	0,389	532,4653	0,389	532,472	0,389
2900M	105,3	528,7659	0,405	529,6483	0,401	529,715	0,397	529,6662	0,393	529,5782	0,391	529,510	0,390
2900V	119,4	594,8982	0,588	596,0951	0,430	595,4478	0,405	594,825	0,411	594,539	0,406	594,015	0,404
2913N	140,3	527,8452	0,419	527,4169	0,407	527,5519	0,401	527,5976	0,397	527,5425	0,396	527,492	0,396
2913V	151,7	464,1454	0,442	465,6149	0,436	464,9838	0,418	464,692	0,412	464,2839	0,409	464,130	0,405
2914A	159,3	555,5115	0,464	554,427	0,429	555,2608	0,413	555,2631	0,407	555,3307	0,404	555,353	0,402
2914C	162,7	509,2527	0,526	509,5656	0,468	509,9116	0,461	509,748	0,464	510,1032	0,438	510,112	0,427
2914F	165,8	516,3839	0,635	515,3633	0,478	515,339	0,440	514,6072	0,435	513,6592	0,437	513,073	0,422
2914L	173,0	409,1542	0,805	409,5575	0,566	410,7601	0,496	410,6823	0,461	410,1523	0,443	409,984	0,432
2905T	187,0	480,7942	0,461	481,3415	0,432	481,2724	0,425	481,1936	0,421	481,2627	0,420	481,153	0,418
2919J	191,8	545,8792	0,430	546,6647	0,438	546,8272	0,435	546,6098	0,428	546,6554	0,426	546,362	0,425
2919R	199,3	455,0045	0,472	455,8369	0,451	457,2547	0,448	457,61	0,436	457,657	0,431	457,821	0,429
2920A	206,1	559,2673	0,750	559,722	0,535	558,9445	0,476	558,8537	0,453	558,8925	0,443	558,910	0,439
2920D	211,1	553,5333	0,463	552,0119	0,503	550,9696	0,459	550,8496	0,450	551,2652	0,445	550,559	0,462
2920G	215,3	497,9594	0,935	493,3515	0,554	495,0281	0,900	495,647	0,712	494,2655	0,586	495,117	0,536
2954X	221,9	502,1159	0,477	501,9881	0,457	501,8692	0,453	501,9321	0,451	501,9795	0,450	501,889	0,449
2955G	230,6	533,4942	0,510	533,0969	0,525	534,5208	0,495	534,5942	0,468	534,5107	0,462	534,294	0,458
2951Z	233,3	601,8378	0,505	601,115	0,514	599,7742	0,497	599,8373	0,473	599,7728	0,467	599,983	0,464
2951V	237,9	590,838	0,535	591,9843	0,494	592,1983	0,476	592,4204	0,501	592,5111	0,483	592,488	0,478
2951M	247,2	580,9825	0,521	581,6678	0,532	580,4977	0,511	579,7878	0,510	580,0428	0,490	579,487	0,482
2951E	252,1	528,1269	0,655	527,8148	0,613	527,4518	0,528	528,2701	0,729	528,063	0,619	528,317	0,608

### APÊNDICE I2 – Altitude Ortométrica para o receptor L1, usando a pseudodistância e taxa de 15 segundos

RN	Vetor (km)	10 min		20 min		30 min		40 min		50 min		60 min	
		$H_{GPS}$	$\sigma_{H_{GPS}}$	$H_{GPS}$	$\sigma_{H_{GPS}}$	$H_{GPS}$	$\sigma_{H_{GPS}}$	$H_{GPS}$	$\sigma_{H_{GPS}}$	$H_{GPS}$	$\sigma_{H_{GPS}}$	$H_{GPS}$	$\sigma_{H_{GPS}}$
		(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
2891R	2,6	550,5157	0,225	550,4666	0,174	550,369	0,154	550,3107	0,145	550,1736	0,143	549,876	0,142
2891V	6,9	571,1222	0,367	570,797	0,268	569,8565	0,200	569,7544	0,183	569,9943	0,178	570,289	0,173
2891Z	10,3	606,664	0,239	606,9358	0,208	606,872	0,188	606,9599	0,180	607,0055	0,176	607,136	0,175
2892L	22,2	616,0384	0,341	616,0837	0,297	616,0739	0,288	616,1233	0,281	616,2048	0,279	616,345	0,277
2892M	23,0	600,4952	0,359	600,5912	0,314	600,5238	0,290	600,4405	0,274	600,383	0,265	600,275	0,260
2892S	26,8	539,3153	0,322	539,1748	0,296	539,3496	0,289	539,3818	0,286	539,3421	0,283	539,369	0,282
2892V	33,9	669,4856	0,398	669,6474	0,354	669,861	0,331	669,8791	0,320	669,9351	0,314	669,940	0,310
2893A	36,6	661,4118	0,422	661,8302	0,365	661,9775	0,353	662,1218	0,341	662,2535	0,332	662,308	0,330
2893L	44,4	666,7055	0,413	666,5514	0,382	666,5512	0,370	666,6511	0,369	666,8386	0,369	667,079	0,363
2893P	47,4	739,9864	0,373	739,8346	0,355	739,8885	0,351	739,7839	0,350	739,482	0,352	739,278	0,353
2893R	48,2	877,3722	0,538	876,7269	0,467	876,6878	0,423	876,4875	0,397	876,4106	0,382	876,419	0,371
2895N	48,2	950,9568	0,413	950,8396	0,385	950,648	0,370	950,4759	0,365	950,4206	0,360	950,468	0,357
2895R	52,2	940,03	0,462	940,0435	0,409	940,1158	0,389	940,3551	0,377	940,4981	0,370	940,468	0,366
2895T	55,0	947,5989	0,665	947,9708	0,516	947,8677	0,441	947,6256	0,412	947,4827	0,396	947,426	0,385
2895U	57,5	908,6037	0,412	907,5866	0,378	907,6279	0,373	907,6047	0,370	907,4799	0,371	907,214	0,370
2895V	59,4	882,3439	0,547	882,4068	0,468	882,2361	0,428	881,2859	0,395	881,5353	0,388	881,786	0,386
2896A	62,3	834,9479	0,422	834,6241	0,389	834,6862	0,382	834,7532	0,378	834,8412	0,376	835,061	0,375
2896F	63,1	850,5287	0,480	850,3868	0,434	850,2085	0,416	849,9009	0,412	849,5875	0,404	849,366	0,398
2874T	72,0	754,5694	0,491	754,5133	0,431	754,0261	0,414	753,7812	0,408	753,7495	0,406	753,810	0,403
2899X	89,5	695,7555	0,527	696,0026	0,486	696,6708	0,477	696,9568	0,454	696,9999	0,431	697,135	0,420
2900F	100,6	484,4338	0,429	484,166	0,409	484,2197	0,404	484,1354	0,400	483,8513	0,400	483,584	0,400
2900L	103,0	532,144	0,555	532,3281	0,482	531,8469	0,441	531,1295	0,414	531,1594	0,407	531,379	0,404
2900M	105,3	529,5406	0,440	529,4879	0,419	529,7315	0,410	529,8046	0,406	529,8846	0,404	529,951	0,403
2900V	119,4	595,4093	0,575	595,2129	0,450	595,2569	0,434	595,428	0,430	595,4972	0,423	595,564	0,415
2913N	140,3	527,9989	0,568	528,4399	0,504	528,9463	0,477	528,9083	0,448	528,8731	0,431	528,953	0,422
2913V	151,7	463,2133	0,471	463,3627	0,431	463,3337	0,421	463,4807	0,416	463,6014	0,412	463,695	0,409
2914A	159,3	554,9485	0,490	555,1829	0,453	555,3007	0,434	555,5149	0,428	555,7225	0,423	555,903	0,421
2914C	162,7	510,9805	0,554	510,8146	0,490	510,4272	0,470	510,3398	0,450	510,0713	0,439	509,807	0,432
2914F	165,8	516,1176	0,496	516,25	0,460	516,3765	0,444	514,4789	0,496	514,6654	0,489	514,983	0,482
2914L	173,0	412,5591	0,474	412,6169	0,446	412,0123	0,467	411,5745	0,458	411,217	0,448	410,832	0,441
2905T	187,0	482,2602	0,630	483,1693	0,556	483,2402	0,496	483,0858	0,465	483,1066	0,453	483,248	0,443
2919J	191,8	546,4806	0,447	546,3362	0,434	546,3327	0,430	546,1519	0,430	546,1799	0,428	546,244	0,427
2919R	199,3	456,9143	0,605	456,4621	0,506	455,2835	0,455	455,3074	0,455	455,5332	0,454	455,732	0,450
2920A	206,1	561,1548	0,563	560,9997	0,494	560,6713	0,473	560,6054	0,459	560,813	0,452	561,119	0,447
2920D	211,1	552,2599	0,645	551,3939	0,559	550,8342	0,517	550,4602	0,495	550,1738	0,479	550,114	0,465
2920G	215,3	497,5032	0,527	497,5284	0,490	497,9365	0,474	494,944	0,645	495,8249	0,610	496,445	0,573
2954X	221,9	504,7449	0,740	504,1318	0,571	503,8412	0,512	503,8016	0,488	503,864	0,474	503,741	0,468
2955G	230,6	535,0241	0,491	535,0306	0,503	534,8601	0,476	534,5978	0,472	534,4068	0,471	534,448	0,469
2951Z	233,3	599,0034	0,512	598,5012	0,487	598,5532	0,482	598,8726	0,478	599,111	0,477	599,378	0,474
2951V	237,9	593,008	0,556	592,6878	0,507	592,8214	0,494	593,0207	0,485	593,1807	0,479	593,372	0,476
2951M	247,2	581,2373	0,664	580,2947	0,577	579,4356	0,539	578,388	0,510	578,6091	0,497	579,170	0,493
2951E	252,1	529,752	0,629	527,7557	0,646	527,4716	0,587	527,795	0,559	528,5975	0,540	529,296	0,524

## **ANEXOS**

**ANEXO A – MEMORIAL DESCRITIVO DAS RNS POSICIONADAS**

**RN: 2891-P** Altitude: 590.4483 m Classe: AP Ajust

Localização: CHAPA CRAVADA NA VIGA DE SUSTENTACAO DO LETREIRO DE CONCRETO COM O NOME DA CIDADE DE CESARIO LANGE, ENTRE AS LETRAS "O" E "L", LOCALIZADO NO CANTEIRO DO TREVO DA SP-141 COM VIA DE ACESSO A REFERIDA CIDADE; 0,69 KM ALEM DA IGREJA MATRIZ DE SANTA CRUZ EM CESARIO LANGE E 2,58 KM AQUEM DA PONTE SOBRE O RIBEIRAO ALELUIA.

**RN: 2891-R** Altitude: 549.7845 m Classe: AP Ajust

Localização: LOCALIZADO JUNTO AO MONUMENTO RODOVIARIO, LOCALIZADO NO CANTEIRO DO ENTRONCAMENTO DA SP-141 COM A SP-280, A 156 M ALEM DA PONTE SOBRE O RIBEIRAO ALELUIA E 2,74 KM ALEM DO ENTRONCAMENTO DE ACESSO A CIDADE DE CESARIO LANGE

**RN: 2891-V** Altitude: 571.8843 m Classe: AP Ajust

Localização: CHAPA CRAVADA NO PASSEIO, LADO DIREITO, EXTREMIDADE NORTE DO VIADUTO SOBRE A ESTRADA DE ACESSO A FAZENDA SAO JOAQUIM, LOCALIZADO NA ALTURA DO KM 151 DA SP-280; 2,78 KM AQUEM DA ENTRADA DE ACESSO AO SÍTIO VIEIRAS

**RN: 2891-Z** Altitude: 607.8429 m Classe: AP Ajust

Localização: CHAPA CRAVADA NA VIGA, LADO ESQUERDO, EXTREMIDADE OESTE DO VIADUTO DE RETORNO DA SP-280, LOCALIZADO A 440 M ALEM DO KM 154; 0,84 KM ALEM DO SÍTIO VIEIRAS E 2,83 KM AQUEM DO TREVO DE ACESSO AO LOTEAMENTO NINHO VERDE

**RN: 2892-L** Altitude: 617.4974 m Classe: AP Ajust

Localização: LOCALIZADO JUNTO A CERCA DE ARAME E O PORTAO DE ACESSO AO SÍTIO AVILA, LOCALIZADO NA ALTURA DO KM 167 DA SP-280; 2,30 KM ALEM DO POSTO DE GASOLINA ESTRELA CASTELO E 0,77 KM AQUEM DO VIADUTO SOBRE A VIA DE ACESSO A VILA TORRE DE PEDRA

**RN: 2892-M** Altitude: 599.3166 m Classe: AP Ajust

Localização: CHAPA CRAVADA NO PASSEIO, LADO ESQUERDO, EXTREMIDADE NOROESTE DO VIADUTO DA SP-280 SOBRE A VIA DE ACESSO A VILA TORRE DE PEDRA; 0,77 KM ALEM DO ENTRONCAMENTO DA SP-280 COM ACESSO AO SÍTIO AVILA E 1,64 KM AQUEM DA ENTRADA DO SÍTIO SANTA TEREZA.

**RN: 2892-S** Altitude: 540.3426 m Classe: AP Ajust

Localização :CHAPA CRAVADA NO PASSEIO, LADO DIREITO, EXTREMIDADE SUDESTE DO VIADUTO SOBRE A VIA DE ACESSO AO BAIRRO PEDROSOS, NO KM 172 DA SP-280; 1,96 KM AQUEM DA PONTE SOBRE O RIO BONITO.

**RN: 2892-V** Altitude: 670.1678 m Classe: AP Ajust

Localização: LOCALIZADO JUNTO A CERCA DE ARAME, NO ENTRONCAMENTO DA SP-280 COM A ESTRADA DE ACESSO A FAZENDA MOJOLAO, PROPRIEDADE DO SR. NILSON LORENCIO FE; 6,02 KM ALEM DA PONTE SOBRE O RIO BONITO E 3,56 KM AQUEM DO POSTO DE GASOLINA CASTELAO.

**RN: 2893-A** Altitude: 661.6571 m Classe: AP Ajust

Localização: LOCALIZADO JUNTO A CERCA DE ARAME, PROXIMO A UM MATA-BURRO, NO ENTRONCAMENTO DA SP-147 COM A ESTRADA DE ACESSO A FAZENDA CORREGO FUNDO, PROPRIEDADE DO SR. REINALDO CESAR JULIANO

**RN: 2893-L** Altitude: 667.1274 m Classe: AP Ajust

Localização: CHAPA CRAVADA NO PASSEIO, LADO ESQUERDO, EXTREMIDADE NORDESTE DO VIADUTO SOBRE A ESTRADA DE ACESSO A FAZENDA LIMOEIRO, A 500 M ALEM O KM 190 DA SP-280 E 2,56 KM AQUEM DO VIADUTO SOBRE A VIA DE ACESSO A PARDINHO

**RN: 2893-P** Altitude: 741.9815 m Classe: AP Ajust

Localização: CHAPA CRAVADA NO PISO, LADO DIREITO DA PORTA PRINCIPAL DA ESCOLA ALVORADA SANTO INACIO, NA RODOVIA DE ACESSO A PARDINHO; 1,72 KM ALEM DA ENTRADA DE ACESSO A FAZENDA BOM JARDIM E 1,39 KM AQUEM DA ENTRADA PARA A FAZENDA SAO PEDRO DO PARDINHO

**RN: 2893-R** Altitude: 877.4706 m Classe: AP Ajust

Localização: CHAPA CRAVADA NA VIGA DE PROTECAO DE UM ACUDE, LOCALIZADO NA ESTRADA DE ACESSO A PARDINHO; 1,66 KM ALEM DA ESCOLA ALVORADA SANTO INACIO E 2,12 KM AQUEM DA ENTRADA PARA A FAZENDA SAO PEDRO

**RN: 2895-N** Altitude: 950.9547 m Classe: AP Ajust

Localização: CHAPA CRAVADA NA VIGA DE UMA GALERIA PARA PASSAGEM DE ANIMAIS, NA RODOVIA QUE LIGA PARDINHO E BOTUCATU; 0,70 KM ALEM DO ENTRONCAMENTO DE ACESSO AO CENTRO DE PARDINHO E 1,99 KM AQUEM DA ENTRADA DE ACESSO A FAZENDA TRES BARRAS

**RN: 2895-R** Altitude: 940.7389 m Classe: AP Ajust

Localização: LOCALIZADO JUNTO A CERCA DE ARAME, NO ENTRONCAMENTO DA RODOVIA PARDINHO - SP-209 COM A ESTRADA DE ACESSO AO SITIO BARDUCCO, SITUADO NA ALTURA DO KM 12; 2,69 KM ALEM DA ENTRADA PARA A FAZENDA TRES BARRAS E 2,21 KM AQUEM DA DIVISA MUNICIPAL ENTRE PARDINHO E BOTUCATU.

**RN: 2895-T** Altitude: 947.2406 m Classe: AP Ajust

Localização: CHAPA CRAVADA NA VIGA DE UMA GALERIA PARA PASSAGEM DE ANIMAIS, LOCALIZADA A 100 M AQUEM DO ENTRONCAMENTO DA RODOVIA PARDINHO SP-209 COM UMA ESTRADA DE FAZENDA; 0,85 KM ALEM DA DIVISA MUNICIPAL ENTRE PARDINHO E BOTUCATU E 2,69 KM AQUEM DA ENTRADA PARA O LOTEAMENTO CHACARA CAMPOS ELISIOS.

**RN: 2895-U** Altitude: 907.4431 m Classe: AP Ajust

Localização: LOCALIZADO JUNTO AO MURO, PROXIMO AO PORTAO DO LOTEAMENTO CHACARA CAMPOS ELISIOS, SITUADO A 350 M ALEM DO KM 06 DA RODOVIA PARDINHO-SP-209; 3,54 KM ALEM DA DIVISA MUNICIPAL ENTRE PARDINHO E BOTUCATU E 2,63 KM AQUEM DA ENTRADA DE ACESSO A FAZENDA RECANTO DO PINHAL.

**RN: 2895-V** Altitude: 883.1940 m Classe: AP Ajust

Localização: LOCALIZADO JUNTO A CERCA DE ARAME E A PORTEIRA DE ACESSO A FAZENDA RECANTO DO PINHAL, SITUADA NA ALTURA DO KM 03 DA RODOVIA PARDINHO-SP-209; 2,63 KM ALEM DA ENTRADA PARA O LOTEAMENTO CHACARA CAMPOS ELISIOS E 2,34 KM AQUEM DA ENTRADA DE ACESSO A FAZENDA MAC.

**RN: 2896-A** Altitude: 833.9255 m Classe: AP Ajust

Localização: LOCALIZADO JUNTO A CERCA DE ARAME, LADO INTERNO, NO ENTRONCAMENTO DA SP-209 COM A ESTRADA DE ACESSO AO SITIO ARCA DE NOE (CENTRO ECOLOGICO); 2,46 KM ALEM DO ENTRONCAMENTO DA SP-209 COM A RODOVIA DE ACESSO A PARDINHO E 2,18 KM AQUEM DA PONTE SOBRE O RIO PARDO.

**RN: 2896-F** Altitude: 848.5481 m Classe: AP Ajust

Localização: CHAPA CRAVADA NA VIGA DE SUSTENTACAO DO LETREIRO DE CONCRETO COM O NOME DA CIDADE DE BOTUCATU, ENTRE AS LETRAS "O" E "T", LOCALIZADO NO CANTEIRO DO TREVO DE ACESSO A SAO MANOEL, CONCHAS E BOTUCATU.

**RN: 2874-T** Altitude: 753.9552 m Classe: AP Ajust

Localização: LOCALIZADO JUNTO A CERCA DE ARAME, LADO INTERNO, PROXIMO A PORTEIRA DE ACESSO A FAZENDA ALVORADA; 2,80 KM ALEM DA ENTRADA PARA O CONDOMINIO CHACARA BOA VISTA E 2,48 KM AQUEM DO DEPOSITO DA EMPRESA SOBRENA.

**RN: 2899-X** Altitude: 695.5964 m Classe: AP Ajust

Localização: CHAPA CRAVADA NA BASE DE UM MONUMENTO RODOVIARIO, LOCALIZADO A DIREITA DA SP-255; 1 KM ALEM DO ENTRONCAMENTO DE ACESSO A SAO MANUEL E 0,98 KM AQUEM DO ENTRONCAMENTO DE ACESSO A VILA RODRIGUES ALVES.

**RN: 2900-F** Altitude: 483.9173 m Classe: AP Ajust

Localização: CHAPA CRAVADA NA VIGA DA GALERIA PARA PASSAGEM DE PEDESTRES, LOCALIZADA A 250 M ALEM DO KM 179 E 40 M AQUEM DO TREVO DE ACESSO A CIDADE DE IGARACU DO TIETE

**RN: 2900-L** Altitude: 532.4255 m Classe: AP Ajust

Localização: CHAPA CRAVADA NA BASE DO MONUMENTO LIONS CLUBE INTERNACIONAL, LOCALIZADO NA AV. PEDRO OMETO, PROXIMO AO ENTRONCAMENTO DESTA AV. COM A SP-255, A 20 M ALEM DO MONUMENTO EM HOMENAGEM A CIDADE DE BARRA BONITA, NO PERIMETRO URBANO DESTA CIDADE.

**RN: 2900-M** Altitude: 532.2461 m Classe: AP Ajust

Localização: LOCALIZADO NO ENTRONCAMENTO DA SP-255 COM A ESTRADA DE ACESSO A SEDE DA CHACARA BELA VISTA, A 140 M AQUEM DO KM 172; 2,77 KM ALEM DO ENTRONCAMENTO DA SP-255 COM A AV. PEDRO OMETO E 2,78 KM AQUEM DO ENTRONCAMENTO DE ACESSO A VILA IGUATEMI E FAZENDA RIACHUELO.

**RN: 2900-V** Altitude: 595.5354 m Classe: AP Ajust

Localização: CHAPA CRAVADA NA BASE DO MONUMENTO, LOCALIZADO NO CANTEIRO DO ENTRONCAMENTO DA SP-255 COM A SP-304 NO ACESSO A JAU, MINEIROS DO TIETE, DOIS CORREGOS E TORRINHA, PROXIMO AO KM 156 DA SP-255.

**RN: 2913-N** Altitude: 528.5940 m Classe: AP Ajust

Localização: LOCALIZADO JUNTO A CERCA DE ARAME, LADO EXTERNO, NO ENTRONCAMENTO DA SP-304 COM A ESTRADA DE ACESSO AO SITIO DO SR. APOLONIO, A DIREITA DO REFERIDO ACESSO, 550 M ALEM DO KM 319; 2,42 KM ALEM DO ENTRONCAMENTO DA SP-304 COM ESTRADA DE FAZENDA E 2,53 KM AQUEM DO ENTRONCAMENTO DE ACESSO A FAZENDA SAO JOAO DO MATO.

**RN: 2913-S** Altitude: 465.9183 m Classe: AP Ajust

Localização: LOCALIZADO JUNTO A CERCA DE ARAME, LADO INTERNO, NO ENTRONCAMENTO DA SP-304 COM ESTRADA DE ACESSO AO SITIO SAO FRANCISCO, 86 M ALEM DO KM 327; 2,92 KM ALEM DA ENTRADA DA FAZENDA SAO JUDAS TADEU E 2,49 KM AQUEM DO ENTRONCAMENTO COM A AV. EXPRESSA SUL.

**RN: 2913-V** Altitude: 464.2323 m Classe: AP Ajust

Localização: CHAPA CRAVADA NA VIGA QUE SUSTENTA O LETREIRO DE CONCRETO, COM O NOME A CIDADE DE BARIRI, ENTRE AS LETRAS "A" E "R", NO CENTRO DO CANTEIRO DO ENTRONCAMENTO DA SP-304 COM VIA DE ACESSO A REFERIDA CIDADE; 1,31 KM ALEM DO GRUPO ESCOLAR EUCLIDES MOREIRA DA SILVA, NA CIDADE DE BARIRI E 2,56 KM AQUEM DA ENTRADA PARA O SITIO SAO JOSE.

**RN: 2914-A** Altitude: 555.6473 m Classe: AP Ajust

Localização: CHAPA CRAVADA NA BASE DO MONUMENTO RODOVIARIO, 175 M ALEM DA DIVISA MUNICIPAL DAS CIDADES DE ITAJU E BARIRI, 312 M ALEM DO KM 338; 2,36 KM ALEM DA ENTRADA DO SITIO SAPE E 1,72 KM AQUEM DA GALERIA DE PASSAGEM DE ANIMAIS

**RN: 2914-C** Altitude: 510.1373 m Classe: AP Ajust

Localização: CHAPA CRAVADA NA VIGA QUE SUSTENTA O LETREIRO DE CONCRETO COM O NOME DA CIDADE DE ITAJU, ENTRE AS LETRAS "I" E "T", NO CENTRO DO CANTEIRO DO ENTRONCAMENTO DA SP-304 COM VIA DE ACESSO A REFERIDA CIDADE; 1,74 KM ALEM DA GALERIA PARA PASSAGEM DE ANIMAIS E 2,40 KM AQUEM DA ESCOLA ESTADUAL PROFESSOR ERASTO CASTANHO DE ANDRADE, NA CIDADE DE ITAJU.

**RN: 2914-F** Altitude: 514.7454 m Classe: AP Ajust

Localização: LOCALIZADO JUNTO A CERCA DE ARAME, 6 M A DIREITA DA PORTEIRA, NO ENTRONCAMENTO DA SP-304 COM ESTRADA DE ACESSO AO SITIO BOA VISTA, 50 M AQUEM DO KM 345; 3,23 KM ALEM DO ENTRONCAMENTO DE ACESSO A CIDADE DE ITAJU E 2,04 KM AQUEM DA ENTRADA PARA O SITIO VIRADOUROS.

**RN: 2914-L** Altitude: 409.4658 m Classe: AP Ajust

Localização: CHAPA CRAVADA NO PASSEIO, LADO ESQUERDO, EXTREMIDADE NORTE DA PONTE SOBRE O RIO JACARE PEPIRA, QUE FORMA A REPRESA DE IBITINGA; 1,90 KM ALEM DO ENTRONCAMENTO DA SP-304 COM ESTRADA DE ACESSO AO SITIO SAO JOSE E 1,64 KM AQUEM DA ENTRADA PARA A FAZENDA SANTA JULIA.

**RN: 2914-R** Altitude: 448.5555 m Classe: AP Ajust

Localização: LOCALIZADO JUNTO A CERCA DE ARAME, 6 M A ESQUERDA DA PORTEIRA, NO ENTRONCAMENTO DA SP-304 COM ESTRADA DE ACESSO A FAZENDA SAO MIGUEL, 300 M ALEM DO KM 362; 2,21 KM ALEM DA PONTE SOBRE O RIO JACARE-GUACU E 2,83 KM AQUEM DO ENTRONCAMENTO DE ACESSO A CIDADE DE IBITINGA.

- RN: 2905-T** Altitude: 481.4883 m Classe: AP Ajust  
Localização: LOCALIZADO JUNTO A CERCA DE ARAME, NO ENTRONCAMENTO DA SP-304 COM ENTRADA DE ACESSO AO SITIO SAO JOAO, 20 M AQUEM DO KM 367; 1 KM ALEM DO ENTRONCAMENTO DE ACESSO A CIDADE DE ITAPOLIS E 2,18 KM AQUEM DO ENTRONCAMENTO DE ACESSO A IBITINGA.
- RN: 2919-J** Altitude: 545.9370 m Classe: AP Ajust  
Localização: CHAPA CRAVADA NA VIGA DA GALERIA PARA PASSAGEM DE ANIMAIS, 50 AQUEM DO KM 06; 2,12 KM ALEM DA ENTRADA PARA A FAZENDA SANTA ANGELICA E 0,67 KM AQUEM DA ENTRADA PARA A FAZENDA DONA BRANCA.
- RN: 2919-R** Altitude: 457.2989 m Classe: AP Ajust  
Localização: CHAPA CRAVADA NO PISO, LADO ESQUERDO, EXTREMIDADE SUDESTE DO VIADUTO SOBRE ESTRADA DE ACESSO A FABRICA DE AGUARDENTE IRMAOS MALLOSSO LTDA; 1,39 KM ALEM DA PONTE SOBRE O RIO SAO LOURENCO E 2,65 KM AQUEM DO ENTRONCAMENTO DE ACESSO A EMPRESA E COMERCIO DE FRUTAS 4J.
- RN: 2920-A** Altitude: 559.8208 m Classe: AP Ajust  
Localização: JUNTO AO ENTRONCAMENTO DA SP-333 COM A VIA DE ACESSO A TAPINAS, EM FRENTE A INDUSTRIA CUTRALE, 40 M AQUEM DA KM 180; 1,47 KM ALEM DA PONTE SOBRE O CORREGO DO TANQUINHO E 2,52 KM AQUEM DE UMA GALERIA PARA PASSAGEM DE ANIMAIS
- RN: 2920-D** Altitude: 549.4852 m Classe: AP Ajust  
Localização: CHAPA CRAVADA NA VIGA DO BUEIRO, NO CANTEIRO DO ENTRONCAMENTO DA SP-333 COM ESTRADA DE ACESSO A FAZENDA SANT'ANA; 1,68 KM ALEM DA ENTRADA PARA A FAZENDA SANTA IGNEZ E 1,11 KM AQUEM DO VT 185 DO CNG (MONTE VERDE), LOCALIZADO NO LARANJAL DA FAZENDA SANT'ANA, DE PROPRIEDADE DA FAMILIA VICENTAINER
- RN: 2920-G** Altitude: 495.3183 m Classe: AP Ajust  
Localização: CHAPA CRAVADA NA BASE DE SUSTENTACAO DO MONUMENTO RODOVIARIO LOCALIZADO NO CANTEIRO DA AV. JOAO NERY, NO PERIMETRO URBANO DA CIDADE DE TAPINAS; 1,57 KM ALEM DA GALERIA PARA PASSAGEM DE ANIMAIS E 0,38 KM AQUEM DA IGREJA SENHOR BOM JESUS NO CENTRO DE TAPINAS.
- RN: 2954-X** Altitude: 503.9149 m Classe: AP Ajust  
Localização: CHAPA CRAVADA NA SOLEIRA, LADO ESQUERDO DA PORTA PRINCIPAL DA IGREJA SAO SEBASTIAO, NA PRACA VISCONDE DE TAUNAY, NO CENTRO DA VILA AGULHA.
- RN: 2955-G** Altitude: 535.2949 m Classe: AP Ajust  
Localização: CHAPA CRAVADA NO PISO, LADO DIREITO DA PORTA PRINCIPAL DA IGREJA DE SANTA LUZIA, MATRIZ DE FERNANDO PRESTES, SITUADA NA PRACA EMYGDIO MACHADO, CENTRO DA REFERIDA CIDADE.
- RN: 2951-Z** Altitude: 600.4582 m Classe: AP Ajust  
Localização: CHAPA CRAVADA NA VIGA DO BUEIRO, LOCALIZADO NO ENTRONCAMENTO DA SP-323 COM A VIA DE ACESSO AS CIDADES DE APARECIDA DO MONTE ALTO E FERNANDO PRESTES; 2,16 KM AQUEM DO ENTRONCAMENTO DA SP-323 COM A ESTRADA DE ACESSO A FAZENDA SANTA LUZIA E PARA O BAIRRO BONSUCESSO.
- RN: 2951-V** Altitude: 596.0410 m Classe: AP Ajust  
Localização: CHAPA CRAVADA NO 4. DEGRAU DA ESCADA DO CORETO, COM A IMAGEM DE SAO CRISTOVAO, SITUADO NO FINAL DA AV. MARCIONILIO TEODORO LIMA, NO PERIMETRO URBANO DA CIDADE DE VISTA ALEGRE DO ALTO; 0,72 KM ALEM DA ESTACAO FERROVIARIA.
- RN: 2951-M** Altitude: 579.4364 m Classe: AP Ajust  
Localização: CHAPA CRAVADA NA BASE DO LETREIRO DE CONCRETO COM O NOME PIRANGI, LOCALIZADO NO CANTEIRO DO ENTRONCAMENTO DA SP-323 COM A VIA DE ACESSO A CIDADE DE PIRANGI
- RN: 2951-E** Altitude: 529.2669 m Classe: AP Ajust  
Localização: CHAPA CRAVADA NA BASE DO MONUMENTO DO DER, LOCALIZADO NO CANTEIRO DO ENTRONCAMENTO DA SP-351 COM A SP-323 DE ACESSO AS CIDADES DE PIRANGI, VISTA ALEGRE DO ALTO E MONTE ALTO; 2,72 KM AQUEM DO ENTRONCAMENTO DA ACESSO AS CIDADES DE PARAISO E MONTE AZUL.

## ANEXO B – MEMORIAL DESCRITIVO DA ESTAÇÃO PARA

RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo  
Relatório de Informação de Estação  
Estação PARA / Curitiba  
Mês Referência: Fevereiro/ 2001

### 0. Formulário

Preparado por: - Kátia Duarte Pereira (IBGE - Departamento. de Geodésia)  
Data: - 23-julho-1997  
Alteração: - 20-agosto-1999  
Atualização de firmware devido a mudança na contagem da semana GPS

### 1. Identificação da estação GPS

Nome da Estação: - Curitiba  
Ident. da Estação: - PARA  
Inscrição no Monumento: - Não há inscrição  
Código Internacional: - 91105  
Informações Adicionais: - Esta estação pertence à Rede de Referência do SIRGAS e à Rede de Densificação do IGS

### 2. Informação sobre a localização

Cidade: - Curitiba  
Estado: - Paraná

Informações Adicionais - A estação consiste em um pilar de concreto dotado de um dispositivo de centragem forçada, localizado no Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná

#### Coordenadas oficiais (SAD-69)

Latitude	-25° 26' 52.3651"	Sigma:	0.0128 m
Longitude	-49° 13' 49.7012"	Sigma:	0.0431 m
Alt.Elíp.	928.682 m	Sigma:	0.0268 m
UTM (N):	7184267.137 m		
UTM (E):	677928.377 m		
MC:	- 51		

### 3. Informações do equipamento GPS

#### 3.1 Receptor

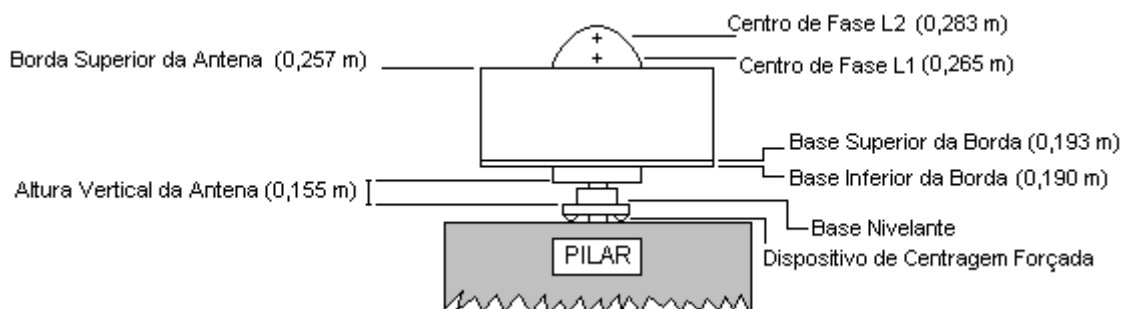
3.1.2 Tipo do Receptor - TRIMBLE 4000SSI  
Número de Série - 16744  
Versão do Firmware - 7.29  
Data de Instalação - 20-agosto-1999

3.1.1 Tipo do Receptor - TRIMBLE 4000SSI  
Número de Série - 16744  
Versão do Firmware - 7.22  
Data de Instalação - 13-dezembro-1996

#### 3.2 Antena

3.2.1 Tipo de Antena - DORNE MARGOLIN T  
Número de Série - 070178  
Altura da Antena (m) - 0.155 (distância vertical do topo do dispositivo de centragem forçada à base da antena, conforme figura abaixo)  
Data de instalação - 13-dezembro-1996

### Esquema da Antena 3.2.1



Nota - para processar em softwares que não considerem a correção automática do centro de fase, utilizar os valores referentes a L1 ou L2 da figura acima ou a média deles, dependendo da observação utilizada. Por exemplo, para processamentos de L1, a altura da antena a ser utilizada é de 0.265m; para processamentos de L2, esta altura é de 0.283m; para L1/L2 (ion free), usar 0.236 m, que corresponde a combinação linear de L1 e L2.

## 4. Rede local

Em processamento

## 5. Informações Complementares

5.1 - Para informações técnicas contatar:

Nome	- Departamento de Geodésia – DEGED/IBGE
Endereço	- Av. Brasil, 15671, CEP 21241-051, Rio de Janeiro, RJ
Telefone	- (21) 514 49 29, 514 49 86
Fax	- (21) 481-2747, 391-9028
URL	- <a href="http://www.ibge.gov.br">http://www.ibge.gov.br</a>
Contatos	- Kátia Duarte Pereira ( <a href="mailto:katiaduarte@ibge.gov.br">katiaduarte@ibge.gov.br</a> ) Paulo Roberto Alonso ( <a href="mailto:alonso@bge.gov.br">alonso@bge.gov.br</a> )

5.2 - Instituições que apoiam a RBMC

A implementação da RBMC contou com o apoio das seguintes instituições:

### Primeira Etapa

FNMA	- Fundo Nacional do Meio Ambiente
EPUSP	- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
UFPR	- Universidade Federal do Paraná
UNESP	- Universidade Estadual Paulista/Campus de Presidente Prudente
Marinha	- Capitania dos Portos/Bom Jesus da Lapa
DSG/4a. DL	- Diretoria do Serviço Geográfico do Exército/Manaus
UFV	- Universidade Federal de Viçosa
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Cuiabá e Euzébio
CEFET/UNEDI	- Centro Federal de Educação Tecnológica/Imperatriz

### Segunda Etapa

UFRGS	- Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Pró Guaíba	- Fundo Pró-Guaíba, Governo do estado do Rio Grande do Sul
URCA	- Fundação Universidade Regional do Cariri

5.3 - Para informações sobre comercialização e aquisição de dados contatar:

Nome	- Centro de Documentação e Disseminação de Informações - CDDI/IBGE
Endereço	- Rua General Canabarro, 706, CEP 20271-201, Rio de Janeiro, RJ
Telefones	- 0800 21 8181 (DDG) (21) 569-2043 ramais 268,270
Fax	- (21) 284-7690

## ANEXO C – MEMORIAL DESCRITIVO DA ESTAÇÃO UEPP

RBMC - Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo  
Relatório de Informação de Estação  
Estação UEPP / Presidente Prudente  
Mês Referência: Fevereiro/ 2001

### 0. Formulário

Preparado por - Kátia Duarte Pereira (IBGE - Departamento de Geodésia)  
Data - 23-julho-1997  
Alteração - 20-agosto-1999  
Atualização de firmware devido a mudança na contagem da semana GPS

### 1. Identificação da estação GPS

Nome da Estação - Presidente Prudente  
Ident. da Estação - UEPP  
Inscrição no Monumento - Não há inscrição  
Código Internacional - 91559  
Informações Adicionais - Esta estação pertence à Rede de Referência do SIRGAS e à Rede de Densificação do IGS

### 2. Informação sobre a localização

Cidade - Presidente Prudente  
Estado - São Paulo

Informações Adicionais - A estação consiste em um pilar de concreto dotado de um dispositivo de centragem forçada, localizado no Campus da Universidade Estadual Paulista (UNESP)

Coordenadas oficiais (SAD-69)

Latitude:	-22° 07' 09.9678"	Sigma:	0.0102 m
Longitude:	-51° 24' 28.9709"	Sigma:	0.0365 m
Alt.Elip.:	435.424 m	Sigma:	0.0227 m
UTM (N):	7553888.233 m		
UTM (E):	457915.947 m		
MC:	- 51		

### 3. Informações do equipamento GPS

#### 3.1 Receptor

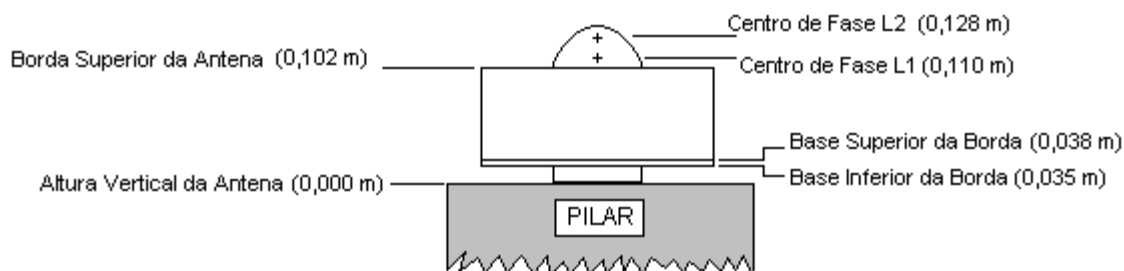
3.1.2 Tipo do Receptor - TRIMBLE 4000SSI  
Número de Série - 16683  
Versão do Firmware - 7.29  
Data de Instalação - 20-agosto-1999

3.1.1 Tipo do Receptor - TRIMBLE 4000SSI  
Número de Série - 16683  
Versão do Firmware - 7.22  
Data de Instalação - 18-dezembro-1996

#### 3.2 Antena

3.2.1 Tipo de Antena: - DORNE MARGOLIN T  
Número de Série: - 070172  
Altura da Antena (m): - 0.000 (distância vertical do topo do dispositivo de centragem forçada à base da antena, conforme figura abaixo)  
Data de instalação - 18-dezembro-1996

### Esquema da Antena 3.2.1



Nota - para processar em softwares que não considerem a correção automática do centro de fase, utilizar os valores referentes a L1 ou L2 da figura acima ou a média deles, dependendo da observação utilizada. Por exemplo, para processamentos de L1, a altura da antena a ser utilizada é de 0.110m; para processamentos de L2, esta altura é de 0.128m; para L1/L2 (ion free), usar 0.081 m, que corresponde a combinação linear de L1/ L2.

#### 4. Rede local

Em processamento

#### 5. Informações Complementares

5.2 - Para informações técnicas contatar:

Nome	- Departamento de Geodésia – DEGED/IBGE
Endereço	- Av. Brasil, 15671, CEP 21241-051, Rio de Janeiro, RJ
Telefone	- (21) 514 49 29, 514 49 86
Fax	- (21) 481-2747, 391-9028
URL	- <a href="http://www.ibge.gov.br">http://www.ibge.gov.br</a>
Contatos	- Kátia Duarte Pereira (katiaduarte@ibge.gov.br) Paulo Roberto Alonso (alonso@bge.gov.br)

5.2 -Instituições que apoiam a RBMC

A implementação da RBMC contou com o apoio das seguintes instituições:

##### Primeira Etapa

FNMA	- Fundo Nacional do Meio Ambiente
EPUSP	- Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
UFPR	- Universidade Federal do Paraná
UNESP	- Universidade Estadual Paulista/Campus de Presidente Prudente
Marinha	- Capitania dos Portos/Bom Jesus da Lapa
DSG/4a. DL	- Diretoria do Serviço Geográfico do Exército/Manaus
UFV	- Universidade Federal de Viçosa
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/Cuiabá e Euzébio
CEFET/UNEDI	- Centro Federal de Educação Tecnológica/Imperatriz

##### Segunda Etapa

UFRGS	- Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Pró Guaíba	- Fundo Pró-Guaíba, Governo do estado do Rio Grande do Sul
URCA	- Fundação Universidade Regional do Cariri

5.3 - Para informações sobre comercialização e aquisição de dados contatar:

Nome	- Centro de Documentação e Disseminação de Informações - CDDI/IBGE
Endereço	- Rua General Canabarro, 706, CEP 20271-201, Rio de Janeiro, RJ
Telefones	- 0800 21 8181 (DDG) (21) 569-2043 ramais 268,270
Fax	- (21) 284-7690

Autorizo a reprodução deste trabalho.

Presidente Prudente, 30 de agosto de 2002.

ANDRÉ LUÍS PEREIRA DE CASTRO